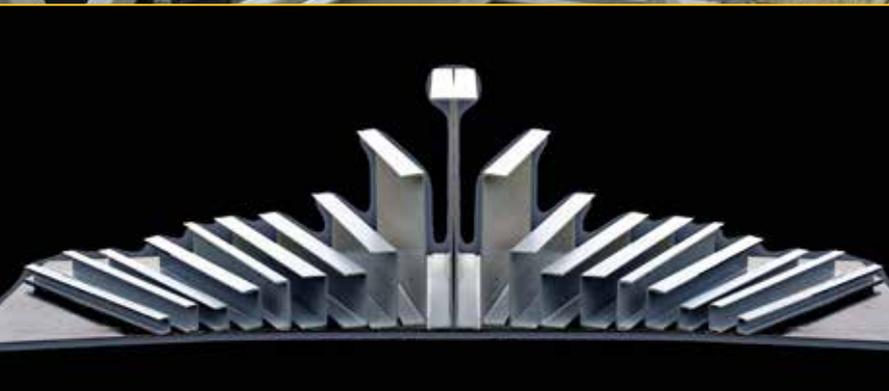




● Winarputro Adi R.

TEKNOLOGI JEMBATAN SEMENTARA BERBAHAN DASAR MATERIAL KOMPOSIT



TEKNOLOGI JEMBATAN SEMENTARA BERBAHAN DASAR MATERIAL KOMPOSIT



Penyusun
Winarputro Adi R.



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum
www.pusjatan.pu.go.id

TEKNOLOGI JEMBATAN SEMENTARA BERBAHAN DASAR MATERIAL KOMPOSIT

Winarputro Adi Riyono
Desember, 2012

Cetakan Ke-1 2012, 60 halaman
© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Cover Luar :
Foto atas : <http://www.ettechtonics.com>. Foto bawah : http://www.bombayharbor.com/Company/1952/General_Composites_P_Ltd.html dan <http://composite.okorder.com/product/>

No. ISBN : 978-602-8256-87-2
Kode Kegiatan : 13-PPK2-00-1107-F12
Kode Publikasi : TR-64/ST/2012

Kata kunci : jembatan sementara, FRP, pultrusi

Ketua Program Penelitian:

N. Retno Setiati, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Ketua Sub Tim Teknis:

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto, Puslitbang Jalan dan Jembatan

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2012, pada paket pekerjaan Penyusunan Naskah Ilmiah Kajian Jembatan Sementara (Jembatan Bailey).

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Kementerian Pekerjaan Umum
Badan Penelitian dan Pengembangan
Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264 Ujungberung – Bandung 40293

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id



Puslitbang Jalan dan Jembatan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan di Indonesia dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi, dan nilai-nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan dukungan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS & SUB TIM TEKNIS

Tim Teknis

Prof.(R).DR. Ir. M.Sjahdanulirwan, M.Sc.
Ir. Agus Bari Sailendra, MT
Ir. I Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc
DR. Ir. Dadang Mohammad, M.Sc
DR. Ir. Poernornosidhi, M.Sc
DR. Drs. Max Antameng, MA
DR. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc
Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng.Sc
Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Prof.(R).DR. Ir. Furqon Affandi, M. Sc
Ir. GJW Fernandez
Ir. Joko Purnomo, MT
Ir. Soedarmanto Darmonegoro
Ir. Lanny Hidayat, M.Si
Ir. Moch. Tranggono, M.Sc
DR. Ir. Djoko Widayat, M.Sc
Redrik Irawan, ST., MT.
DR. Ir. Didik Rudjito, M.Sc
DR. Ir. Triono Jumono, M.Sc
Ir. Palgunadi, M.Eng, Sc
DR. Ir. Doni J. Widiatono, M.Eng.Sc
Ir. Teuku Anshar
Ir. Gandhi Harahap, M.Eng.Sc

Ir. Yayan Suryana, M.Sc
DR. Ir. Rudy Hermawan, M.Sc
Ir. Saktyanu, M.Sc
Ir. Herman Darmansyah
Ir. Rachmat Agus
DR. Ir. Hasroel, APU
DR. Ir. Chaidir Amin, M.Sc
Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE. Ph.D
Kemas Ahmad Zamhari
Dr. Ir. Mochammad Amron, M.Sc
Djoko Mujanto

Sub Tim Teknis

Prof.(R).Ir. Lanneke Tristanto
Ir. Rahadi Sukirman
Herbudiman, ST., MT.
Abinhot Sihotang, ST., MT.
Ir. Samun Haris, MT.
DR. Made Suangga
DR. Aswandy
Ir. Ahmad Yunaldi

Kata Pengantar

Indonesia merupakan Negara dengan potensi rawan bencana baik itu gempa, longsor, banjir, dan sebagainya. Salah satu dampak dari bencana yaitu kerusakan jembatan eksisting atau terisolirnya suatu daerah di wilayah pedalaman. Oleh sebab itu diperlukan suatu konstruksi yang secara cepat dapat dirakit untuk menghubungkan daerah yang terisolir. Salah satu upaya penanganan yaitu dengan teknologi jembatan sementara.

Jembatan sementara yang selama ini dibuat berbahan dasar baja yang relatif berat dan dibutuhkan alat berat untuk instalasi. Hal tersebut menginspirasi diperlukan suatu teknologi bahan yang dapat mengakomodir kemudahan pelaksanaan jembatan sementara khususnya di lokasi yang terpencil. Oleh karenanya diperkenalkan teknologi material berbahan dasar komposit yaitu *Fiber Reinforced Polimer (FRP)*.

Pada buku ini dibahas *state of the art* teknologi struktur jembatan sementara dan teknologi material komposit yang diharapkan dapat memberikan wacana baru dalam hal pengembangan jembatan sementara. Namun demikian, mengingat ilmu pengetahuan yang terus berkembang, diharapkan masukan dari semua pihak terhadap buku ini guna penyempurnaan ke depan.

Akhir kata kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penulisan buku ini.

Bandung, Desember 2012

Winarputro Adi Riyono
Penyusun

Daftar Isi

Puslitbang Jalan dan Jembatan	iii
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	viii
Bab 1 Pendahuluan	11
Latar Belakang	11
Bab 2 Teknologi Jembatan Sementara dan Bahan Komposit	15
Jembatan Sementara	15
Material komposit	23
Keunggulan komposit	30
Kekurangan komposit	31
Aspek biaya pada struktur berbahan FRP	31
Metode penyambungan bahan komposit	32
Perbandingan karakteristik material komposit dengan material lainnya	33
Profil komposit yang ada di pasaran di Indonesia	35
Pengujian material komposit	37
Bab 3 Prosedur Instalasi Jembatan Sementara	43
Instalasi Jembatan Bailey	43
Instalasi Jembatan FRP	46
Bab 4 Model Jembatan Sementara	51
Konsep jembatan sementara berbahan FRP beserta alternatif sistem sambungan	53
Bab 5 Kriteria Desain Jembatan Sementara	55
Bab 6 Perbandingan Biaya Konstruksi Jembatan FRP dengan Jembatan Lainnya	59
Daftar Pustaka	60

Daftar Gambar

<i>Gambar 1.</i> Jembatan sementara berupa kayu log (Shepherd; 2005)	16
<i>Gambar 2.</i> Jembatan Bailey di Banjar Sari Kab. Magelang	17
<i>Gambar 3.</i> Jembatan Bailey di Sereka, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan	18
<i>Gambar 4.</i> Tipikal penampang untuk Jembatan Bailey 1 lajur (Shepherd; 2005)	19
<i>Gambar 5.</i> Jembatan Bailey generasi keempat (Delta Bridge) produk Mabey	20
<i>Gambar 6.</i> Penampang Unibridge dengan lantai baja dan jalur pejalan kaki	20
<i>Gambar 7.</i> Unibridge lajur tunggal dek baja (Shepherd; 2005)	21
<i>Gambar 8.</i> Unibridge dua lajur untuk jembatan permanen (Shepherd; 2005)	21
<i>Gambar 9.</i> Hubungan pin pada Unibridge	22
<i>Gambar 10.</i> Bagian hubungan pin setelah disambung	22
<i>Gambar 11.</i> Fly Over Bridge	23
<i>Gambar 12.</i> Susunan dasar serat pada komposit (MFGC; 2003)	24
<i>Gambar 13.</i> Strand roving (http://www.sz-wholesaler.com)	25
<i>Gambar 14.</i> Woven roving (http://sinofuwang.en.made-in-china.com)	25
<i>Gambar 15.</i> Woven fabrics (http://fabricgraphicsmag.com)	26
<i>Gambar 16.</i> Surfacing mat (http://www.fiberglass-mat.com)	26
<i>Gambar 17.</i> Metode hand lay-up	28
<i>Gambar 18.</i> Filament winding	28
<i>Gambar 19.</i> Proses pultrusi	29
<i>Gambar 20.</i> Serat fiber dan resin memasuki preformer	29
<i>Gambar 21.</i> Serat fiber dan resin memasuki cetakan profil (die)	30
<i>Gambar 22.</i> Jenis sambungan dengan bahan perekat (Tuakta ;2005)	33
<i>Gambar 23.</i> Fiber Beam	36
<i>Gambar 24.</i> Grating fiber	36
<i>Gambar 25.</i> Dimensi sampel uji tarik (ASTM D638)	37
<i>Gambar 26.</i> Spesimen FRP untuk diuji tarik (produksi PT. Intec Persada)	38

<i>Gambar 27.</i> Hasil uji tarik coupon fiberbeam dengan beberapa perlakuan benda uji	39
<i>Gambar 28.</i> Dokumentasi pengujian	40
<i>Gambar 29.</i> Hasil uji tarik coupon fiberbeam dengan perpanjangan grip.....	40
<i>Gambar 30.</i> Hubungan tegangan-regangan coupon fiber beam	41
<i>Gambar 31.</i> Contoh prosedur instalasi jembatan Bailey	44
<i>Gambar 32.</i> Contoh prosedur instalasi jembatan Bailey (lanjutan).....	45
<i>Gambar 33.</i> Alternatif mobilisasi komponen jembatan FRP (ettechtonics.com).....	46
<i>Gambar 34.</i> Instalasi jembatan sementara FRP (ettechtonics.com).....	47
<i>Gambar 35.</i> Proses instalasi jembatan sementara FRP (ettechtonics.com).....	47
<i>Gambar 36.</i> Contoh detailing perletakan dan sambungan segmen (splices) (sumber : ettechtonics.com).....	48
<i>Gambar 37.</i> Jembatan berbahan dasar FRP untuk lalu-lintas ringan (ettechtonics.com).....	50
<i>Gambar 38.</i> Model jembatan FRP berbentuk gelagar (ettechtonics.com)	52
<i>Gambar 39.</i> Model struktur jembatan sementara FRP	52
<i>Gambar 40.</i> Alternatif sistem sambungan utama pada jembatan.....	53
<i>Gambar 41.</i> Perbandingan biaya konstruksi jembatan (sumber : Kendal,2010).....	58

Daftar Tabel

<i>Tabel 1</i> Perbedaan thermoset dan thermoplastic	27
<i>Tabel 2</i> Perbandingan karakteristik material fiber/komposit dengan material lain (MFGC; 2003).....	34
<i>Tabel 3</i> Karakteristik Fiber Beam	35
<i>Tabel 4</i> Karakteristik Grating	37
<i>Tabel 5</i> Dimensi Spesimen (mm)	38

Bab 1

Pendahuluan

Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang rawan akan bencana baik itu gempa, tsunami, longsor, banjir, letusan gunung berapi dan sebagainya. Bencana tersebut dapat mengakibatkan daerah yang awalnya terhubung menjadi terisolir. Terkadang daerah yang terisolir merupakan wilayah pedalaman yang sangat sulit dijangkau oleh transportasi umum. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu infrastruktur darurat yang dapat menghubungkan dua daerah yang terpisah tersebut. Infrastruktur tersebut yaitu berupa jembatan sementara. Jembatan sementara sesuai dengan namanya bersifat sementara karena hanya digunakan saat tertentu saja. Namun demikian, jembatan sementara dapat juga dibuat sebagai jembatan yang permanen.

Jembatan sementara seperti jembatan Bailey memiliki elemen yang relatif berat dan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk instalasi. Padahal untuk keperluan darurat, dibutuhkan infrastruktur yang mudah dan cepat dalam proses instalasi. Dari sisi material tentunya diperlukan teknologi material ringan sehingga dapat dibawa dan dirakit oleh manusia, kemudian dari sisi sistem struktur harus dapat mengakomodasi proses

instalasi yang cepat dan memiliki kapasitas yang besar. Sehingga diharapkan melalui penelitian jembatan sementara ini, dapat diperoleh teknologi struktur jembatan sementara yang ringan, cepat dalam proses instalasi dan memiliki kapasitas yang cukup besar.

Salah satu usaha untuk menghubungkan dua daerah yang terpisah pasca bencana yaitu dengan menggunakan konstruksi jembatan sementara. Jembatan tersebut biasanya bersifat sementara yang digunakan saat tanggap darurat. Namun, hingga saat ini jembatan sementara harus dibangun dengan menggunakan alat berat

oleh karena elemen jembatan yang cukup berat. Terkadang terdapat permasalahan bahwa daerah yang terisolir berada di wilayah pedalaman sehingga menyulitkan alat berat untuk mobilisasi. Oleh karena itu diperlukan teknologi jembatan yang ringan namun cukup kuat untuk dilalui kendaraan pasca bencana. Diharapkan dengan adanya buku ini dapat memberikan informasi perihal perkembangan terkini (state of the art) teknologi jembatan sementara yang ringan dan memiliki kinerja yang baik untuk memikul lalu-lintas ringan misalnya pejalan kaki dan sepeda motor. ■



Bab 2

Teknologi Jembatan Sementara dan Bahan Komposit

Jembatan Sementara

Jembatan sementara adalah jenis jembatan yang diperuntukkan untuk keperluan yang sifatnya tidak permanen. Keperluan yang tidak permanen dapat berarti beberapa hal yang dapat disebutkan sebagai berikut :

- ▶ Keperluan tanggap darurat pasca bencana seperti longsor, banjir, gempa dan sebagainya yang menyebabkan ketiadaan akses jalan.
- ▶ Keperluan melewati lalu-lintas berat (beban non standar) yang akan melalui jembatan eksisting.
- ▶ Keperluan pengalihan lalu-lintas selagi jembatan baru dalam masa konstruksi.
- ▶ Kebutuhan melewati alat berat untuk keperluan *logging*.



Gambar 1. Jembatan sementara berupa kayu log (Shepherd; 2005)

Jembatan sementara awalnya berupa jembatan pejalan kaki yang terbuat dari kayu log yang melintas di atas sungai. Bahkan hingga saat ini kayu log yang melintas di atas saluran atau sungai kecil adalah salah bentuk jembatan sementara yang umum dijumpai di seluruh dunia (*Gambar 1*).

Jembatan sementara merupakan alternatif yang banyak digunakan sebagai salah satu infrastruktur untuk pengalihan arus lalu-lintas dalam keadaan darurat. Jembatan sementara dapat terbuat dari berbagai macam material seperti baja, kayu, maupun fiber. Penggunaan jembatan ini sangat efektif pasca kejadian longsor atau jembatan runtuh, sambil dilakukan perbaikan maupun penggantian jembatan lama.

Jembatan sementara memiliki kelebihan antara lain ; waktu pemasangan yang cepat dan struktur yang cukup kuat untuk menampung beban lalu-lintas walaupun dengan kapasitas yang terbatas. Selain itu, oleh karena sifatnya “knock down” maka struktur jembatan sementara dapat dibongkar/dilepaskan dengan mudah untuk digunakan di tempat lain.

Aplikasi di bidang militer merupakan penggunaan paling awal dan banyak digunakan untuk jembatan sementara. Sebagai contoh *floating bridge* dengan panjang 3 km dibangun di kerajaan Claudius (37 AD) dan *pontoon bridge* yang digunakan oleh kerajaan Persia untuk melintas Selat Bosporus (500 BC).



Gambar 2. Jembatan Bailey di Banjar Sari Kab. Magelang

Jembatan Bailey

Jembatan sementara yang paling populer digunakan yaitu Jembatan Bailey yang dikembangkan oleh Sir Donald Coleman Bailey pada masa Perang Dunia II. Jembatan Bailey hingga saat ini digunakan sebagai standar jembatan sementara di dunia. Tipikal bentuk jembatan sementara dapat dilihat pada *Gambar 2* dan *Gambar 3*. Konsep jembatan Bailey yaitu berupa struktur rangka sederhana yang terbuat dari komponen standar yang dapat secara mudah dimobilisasi dan dirakit oleh tentara pada kondisi perang. Jembatan sementara didesain supaya dapat dibawa dalam suatu wadah/boks dan tidak membutuhkan kendaraan khusus untuk diangkut.

Spesifikasi umum jembatan sementara yaitu berkaitan dengan strukturnya yang berupa modular dan bentuk strukturnya yang sederhana. Secara fitur, jembatan sementara dapat dijabarkan sebagai berikut :

- ▶ Panel rangka mudah difabrikasi dengan *top* dan *bottom chords* yang simetris.
- ▶ Hubungan antar panel menggunakan pin
- ▶ Lantai dihubungkan dengan menggunakan baut
- ▶ Perletakan berupa sendi
- ▶ Panel rangka tunggal dapat diangkut dengan 6 orang



Gambar 3. Jembatan Bailey di Sereka, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

Jembatan Bailey seperti pada *Gambar 3* diperuntukkan untuk dilalui lalu-lintas kendaraan perusahaan minyak dan gas. Spesifikasi teknis jembatan tersebut yaitu sebagai berikut :

Nama : Jembatan Sereka

Tipe jembatan : Jembatan Bailey (DSRH2*)

Lokasi : Desa Sereka, Kab. Musi Banyuasin, Sumatera Selatan

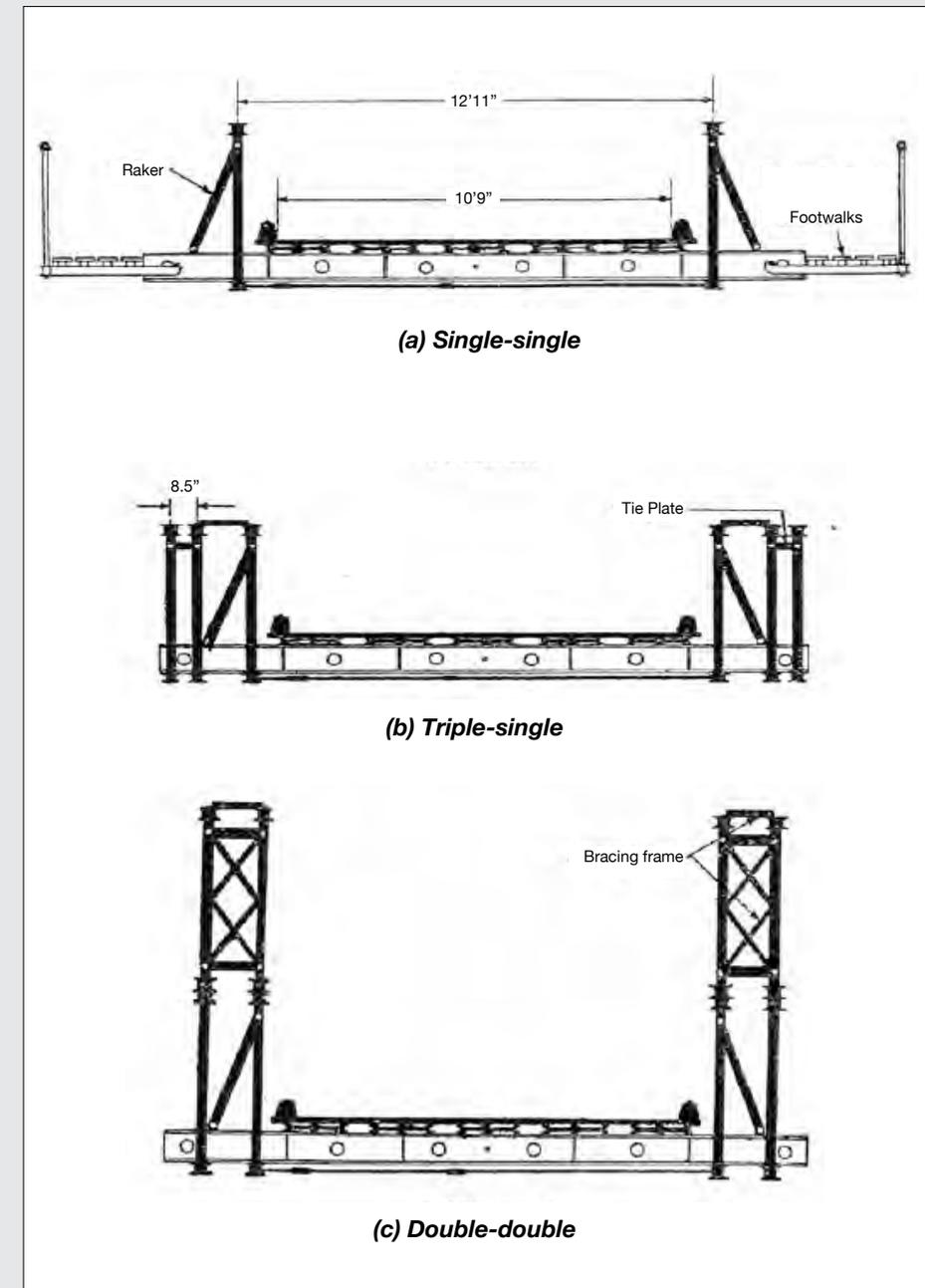
Sistem struktur : Rangka baja

Jumlah bentang : 2 bentang

Panjang : 2 @ 15,24 m = 30,38 m

Lebar jalur : 4,2 m

Spesifikasi bahan umumnya berupa baja dengan kuat leleh minimum 350 MPa dan pin memiliki kuat leleh minimum sebesar 1000 MPa. Berikut diperlihatkan beberapa tipikal penampang jembatan Bailey dengan bentang antara 6,1 m sampai dengan 61 m (*Gambar 4*).



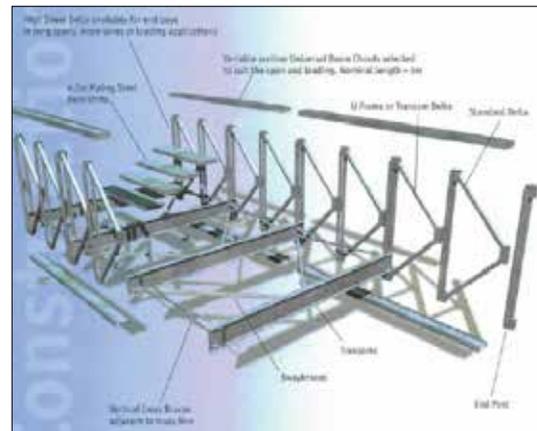
Gambar 4. Tipikal penampang untuk Jembatan Bailey 1 lajur (Shepherd; 2005)

Saat ini Jembatan Bailey diproduksi oleh Mabey Group yaitu jembatan generasi keempat dengan teknologi *launching* yang canggih dengan bentang mencapai 60 m (*Gambar 5*).

Unibridge

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang alat berat yang memiliki mobilitas dan kapasitas yang tinggi dan keinginan untuk instalasi jembatan yang singkat, munculah teknologi jembatan system unibridge. Konsep utamanya yaitu berkaitan dengan proses instalasi yang singkat baik untuk jembatan sementara atau permanen. Fitur jembatan “konsep unibridge” dapat dijabarkan sebagai berikut :

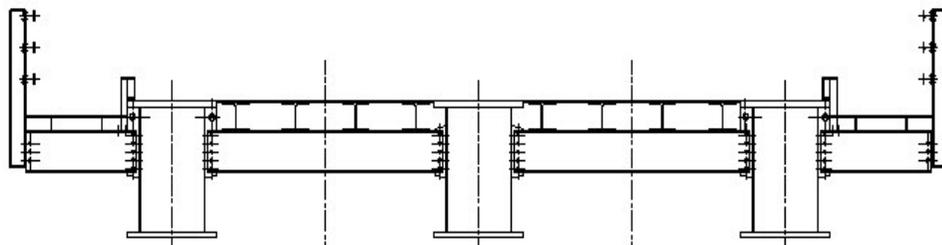
- ▶ Material lantai = baja, beton, atau kayu tergantung kebutuhan
- ▶ Jumlah lajur = 1 lajur atau 2 lajur lalu-lintas
- ▶ Footways = jalur pejalan kaki berada di luar jalur kendaraan



Gambar 5. Jembatan Bailey generasi keempat (*Delta Bridge*) produk Mabey

- ▶ Panjang bentang = 11,6 s/d 46,4 m untuk jembatan jalan raya dan 23,2 untuk jembatan rel kereta api.
- ▶ Kepala jembatan dan fondasi (standar)
- ▶ Waktu perakitan = 12 jam untuk satu bentang jembatan, 1 lajur

Gambar 6 menunjukkan tipikal penampang untuk jembatan baja *Unibridge* untuk dilalui 2 lajur lalu-lintas dengan 2 lajur pejalan kaki.



Gambar 6. Penampang *Unibridge* dengan lantai baja dan jalur pejalan kaki



Gambar 7. *Unibridge* lajur tunggal dek baja (*Shepherd; 2005*)

Gambar 7 memperlihatkan jembatan sementara lajur tunggal yang dibuat sementara jembatan permanen di sebelahnya dibangun. Lapis permukaan pada lantai baja

diberi tambahan *epoxy anti-skid compound*. Selanjutnya *Gambar 8* menunjukkan *Unibridge* sebagai jembatan permanen dengan sistem lantai beton pracetak.



Gambar 8. *Unibridge* dua lajur untuk jembatan permanen (*Shepherd; 2005*)



Gambar 9. Hubungan pin pada Unibrige



Gambar 10 Bagian hubungan pin setelah disambung

Agar proses instalasi menjadi lebih cepat, maka diperlukan system sambungan yang sederhana seperti *pin connection* pada hubungan struktur utama. Hubungan pin juga diterapkan pada jembatan Bailey serta Unibrige. *Gambar 9* dan *Gambar 10* memperlihatkan *close up* pada sambungan pin pada jembatan utama.

Fly Over Bridge (FOB)

Fly Over Bridge (FOB) merupakan salah satu tipe jembatan sementara yang diproduksi oleh PT. Waagner Biro Indonesia untuk perlintasan angkutan barang dan atau peralatan berat yang beban gandarnya melebihi Jumlah Berat Bruto (JBB) maksimum yang ditentukan pada jembatan (*Gambar 11*). *Fly Over Bridge* ini berfungsi sebagai jembatan khusus yang dipasang di atas jembatan eksisting, yang bertujuan agar jembatan eksisting tidak menerima beban langsung akibat pembebanan truk. Sistem strukturnya berupa modul-modul baja yang dihubungkan dengan menggunakan pin. Oleh karena terbuat dari baja dengan beban dan kekakuan yang besar maka diperlukan alat berat saat proses instalasinya.



Gambar 11. Fly Over Bridge

Material komposit

Material komposit (atau komposit) adalah suatu jenis bahan hasil rekayasa yang terdiri dari dua komponen atau lebih dimana sifat masing-masing bahan berbeda antara satu dengan yang lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit).

Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah karena berkurangnya jumlah komponen dan

baut-baut penyambung. Kekuatan tarik dari komposit serat karbon lebih tinggi daripada semua paduan logam.

Salah satu jenis material komposit yaitu *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang terdiri atas matriks resin polimer yang diperkuat dengan serat gelas atau serat karbon. Kekuatan dan kekakuan dari komponen komposit tergantung dari tipe, orientasi, jumlah, dan lokasi serat yang ada.

Serat dan resin

Serat sebagai tulangan

Sebagian besar kekuatan material komposit berada pada tipe, jumlah, serta

susunan dari seratnya. *E-glass* adalah serat yang paling umum digunakan untuk penulangan komposit. Sifatnya kuat, memiliki tahanan panas yang baik, dan properti elektrik yang tinggi. Untuk kebutuhan kinerja yang lebih tinggi, *S-glass* memberikan tahanan panas yang lebih tinggi dan memiliki kuat tarik 30% lebih tinggi dibanding dengan *E-glass*.

Adapun serat lain yang memiliki kapasitas tinggi yaitu serat karbon (*graphite*). Serat ini memiliki karakteristik berat yang ringan dengan kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi. Seperti diketahui, modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu material. Kekakuan serat karbon setara dan bahkan melampaui kekakuan baja. FRP atau komposit juga memiliki ketahanan yang baik terhadap fatik. Kegunaan utama dari serat karbon yaitu untuk pembuatan badan

pesawat terbang dan luar angkasa dimana beratnya yang ringan menjadi karakteristik utama yang diperlukan. Penggunaan serat karbon sangat terbatas untuk aplikasi yang komersial dan biasanya digunakan untuk peralatan olah raga.

Aramid atau *aromatic polyamide fibers* (Kevlar® atau Twaron®) memiliki kekuatan tinggi dan kepadatan rendah (lebih rendah 40% daripada serat gelas). Serat ini dapat dicampur pada polimer dan digunakan untuk aplikasi tahan benturan termasuk anti peluru. Serat alami seperti *sisal*, *hemp*, dan *flax* telah digunakan untuk berbagai jenis aplikasi dengan kebutuhan kekuatan yang rendah. Penggunaannya terbatas pada aplikasi yang tidak membutuhkan tahanan terhadap kelembapan. Susunan serat gelas dan bagaimana serat disusun menentukan kekuatan struktur komposit.

Unidirectional Fiber Orientation	Percentage of fiberglass reinforcement increases in direction of fiber orientation		Reinforcement types Continuous strand roving Processes : Continuous pultrusion, compression moulding
Bidirectional Fiber Orientation			Reinforcement types : Continuous strand roving, woven fabrics, woven roving Processes : Filament winding, compression moulding, hand layup
Multidirectional Fiber Orientation			Reinforcement types : Chopped strands, continuous, chopped strand mat triaxial fabric Processes : Compression and injection moulding, spray-up, pressure bag, preform

Gambar 12 Susunan dasar serat pada komposit (MFGC; 2003)

Terdapat 3 susunan dasar penulangan serat yaitu satu arah (*unidirectional*), dua arah (*bidirectional*), dan acak (*multidirectional*). Susunan satu arah memberikan kekuatan terbesar dalam arah seratnya. Serat satu arah dapat dibentuk menerus atau selang-seling tergantung dari ketersediaan bahan dan proses yang digunakan. Susunan selanjutnya yaitu serat dua arah (biasanya membentuk sudut 90° antara serat satu dengan yang lainnya). Untuk susunan serat acak memberikan kekuatan yang relatif sama dalam semua arah.

Bentuk penulangan

Penulangan dengan serat tersedia dalam beberapa bentuk dasar untuk memberikan fleksibilitas biaya, kekuatan, kompatibilitas dengan resin, dan kebutuhan proses. Apapun bentuk akhirnya, semua serat awalnya berupa kawat (filamen) tunggal. Susunan beberapa kawat dapat membentuk *strand*. Permukaan *strand* dirawat untuk menjaga kualitas serat dan memberikan kompatibilitas dengan resin. Setelah proses perawatan, *strand* akan diproses menjadi berbagai macam bentuk profil komposit. Beberapa bentuk penulangan serat dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. *Continuous Strand Roving*

Bentuk dasar penulangan serat yaitu berupa *strand* utuh yang digulung secara melingkar pada silinder sebelum



Gambar 13 Strand roving (<http://www.sz-wholesaler.com>)

diproses. Gulungan menerus biasanya dipotong untuk proses *spray-up*, *preform*, atau *sheet moulding compound*.

b. *Woven Roving*

Woven yang dibuat dengan cara anyaman menerus adalah jenis serat berbentuk lembaran yang diproduksi dalam beberapa ukuran lebar, tebal, dan berat. Serat tipe ini umumnya digunakan untuk tank dan bodi/rangka kapal dimana membutuhkan kekuatan yang tinggi.



Gambar 14 Woven roving (<http://sinofuwang.en.made-in-china.com>)

c. *Woven Fabrics*

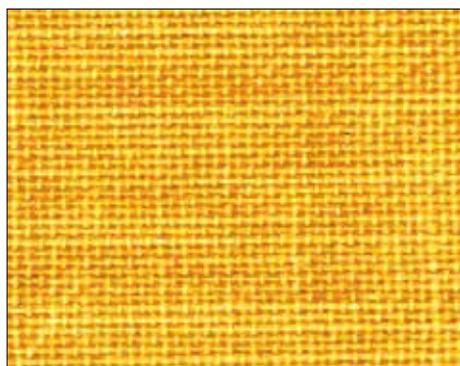
Woven fabrics terbuat dari benang-benang serat dan memiliki tekstur lebih halus dibandingkan dengan *woven roving*.

d. *Reinforcing Mat*

Reinforcing mat dapat terbuat dari serat kawat menerus dengan pola melingkar atau dengan serat kawat yang dipotong.

e. *Surfacing Mat*

Komponen serat ini berupa lembaran serat tipis terbuat dari monofilamen dan tidak digunakan untuk sistem tulangan komposit. Surfacing mat biasanya digunakan untuk penutup permukaan lapisan komposit. Material ini juga digunakan pada lapisan dalam profil komposit untuk fungsi anti korosi.



Gambar 15 *Woven fabrics*
(<http://fabricgraphicsmag.com>)

Sistem resin

Matriks atau resin adalah komponen utama lain dari produk komposit. Terdapat 2 jenis resin yang umum digunakan untuk produk komposit yaitu *thermosets* dan *thermoplastics*.

a. *Thermoset resin*

Polimer untuk proses *thermosetting* biasanya berbentuk cair atau solid dengan titik lebur rendah yang dengan mudah menyatu dengan serat atau pengisi (filler) saat proses perawatan. Resin jenis ini akan mengalami pengerasan akibat reaksi kimia dan terawat oleh katalis dan pemanasan. Resin yang biasa digunakan untuk produk komposit yaitu tipe *unsaturated polyester* yang cocok digunakan untuk segala jenis proses pencetakan komposit. Resin berbentuk polyester lebih mudah saat *handling*,



Gambar 16 *Surfacing mat*
(<http://www.fiberglass-mat.com>)

Tabel 1 Perbedaan *thermoset* dan *thermoplastic*

No.	Thermoset	Thermoplastics
1.	Dibentuk dari polimerisasi kondensasi dan jaringan struktur 3 dimensi	Dibentuk dari polimerisasi sehingga diperoleh rantai polimer yang panjang tanpa ikatan satu sama lain
2.	Tidak lunak/mencair saat dipanaskan	Menjadi lunak/cair saat dipanaskan
3.	Tidak dapat dibentuk atau digunakan kembali	Dapat dibentuk atau digunakan kembali
4.	Biasanya keras dan lebih getas	Biasanya lunak dan kurang getas
5.	Tidak dapat dibentuk kembali dari limbah	Dapat dibentuk kembali dari limbah
6.	Tidak dapat larut pada hampir semua pelarut	Dapat larut pada pelarut yang cocok

biaya rendah, stabilitas dimensi, keseimbangan antara properti mekanikal, kimia, dan elektrik. Polyester bisa dibuat tahan terhadap asam, alkali lemah dan larutan organik. Resin tipe *thermoset* bersifat irreversible. Tidak direkomendasikan untuk digunakan dengan bahan alkali kuat. Contoh lain termoset resin yaitu *vinylesters*, *epoxy*, *polyurethanes*.

b. *Thermoplastic resin*

Polimer tipe *thermoplastic* dapat melunak dan menjadi cair bila dipanaskan dan memadat bila didinginkan. Prosesnya bersifat *reversible* sehingga memungkinkan limbahnya dapat digunakan kembali tanpa memberikan efek samping pada produk akhir. Resin *thermoplastics* memberikan kecepatan dalam proses pencetakan karena tidak dibutuhkan reaksi kimia selama

proses perawatan. Contoh resin *thermoplastic* yaitu *polypropylene* dan *polyethylene*.

Metode pencetakan komposit

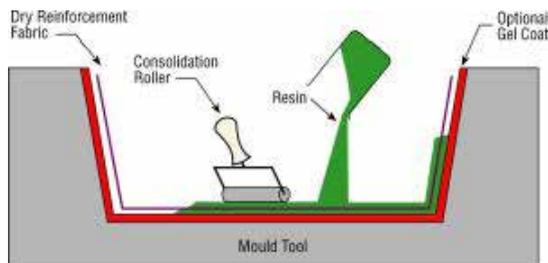
Proses pencetakan komposit mengalami perkembangan dari masa ke masa. Sistem pencetakan dibuat dengan pengembangan dalam hal kontinuitas proses dan otomatisasi agar menghasilkan hasil yang seragam dan mempercepat waktu produksi. Sistem pencetakan mengalami perkembangan mulai dari sistem konvensional *hand lay up* hingga proses pultrusi.

a. *Hand lay-up*

Metode ini adalah metode yang paling awal dalam proses fabrikasi produk komposit. Metode *hand lay up* umumnya digunakan untuk produksi komposit

dalam jumlah yang tidak banyak. Prosesnya secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Gel coat* disemprotkan pada cetakan untuk memperoleh permukaan yang baik
2. Setelah *gel coat* mengering kemudian letakkan penulangan serat atau *woven roving* pada cetakan.
3. Tuangkan resin, ratakan, dan padatkan dengan menggunakan *roller*
4. Lapis tambahan berupa mat atau *woven roving* pada permukaan untuk membentuk ketebalan



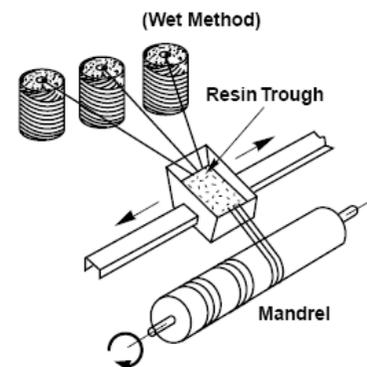
Gambar 17. Metode hand lay-up

b. *Filament winding*

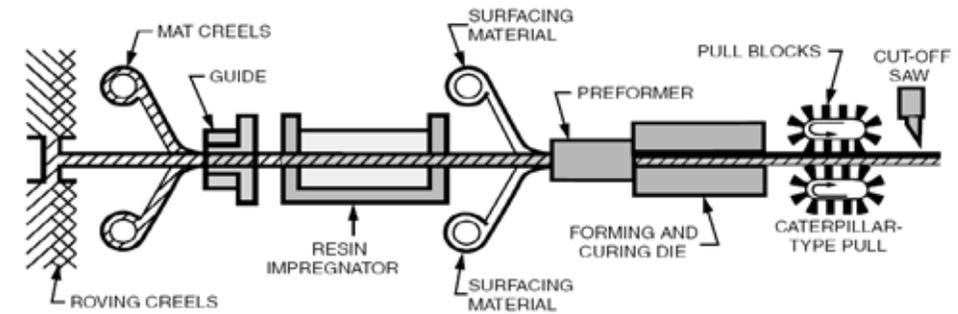
Metode ini yaitu metode dengan menganyam benang-benang fiber yang diberi resin pada sebuah mandrel yang berputar. Proses ini memberikan kontrol yang maksimum untuk peletakan fiber dan keseragaman struktur. Proses pemberian resin dapat dilakukan saat proses *winding* atau sebelumnya.

c. *Pultrusi*

Pultrusi adalah proses fabrikasi penampang komposit secara menerus. Bahan untuk pembuatan FRP yaitu resin, filler, bahan aditif, serta serat. Proses pultrusi



Gambar 18. Filament winding



Gambar 19. Proses pultrusi

dilakukan dengan cara menarik bahan tersebut secara menerus dengan mesin penarik. Dalam prosesnya, komponen serat akan dicampur dengan resin hingga jenuh di bak resin dan selanjutnya ditarik menuju cetakan profil. Di dalam cetakan profil (*die*), resin akan mengeras oleh karena pemanasan dan menjadi kaku. Secara umum proses pultrusi dapat dilihat pada *Gambar 19*.

Resin menyatu dengan serat polimer serta larutan lain yaitu filler,

pigmen, katalis, serta aditif lainnya. Resin dibuat sedemikian sehingga dapat dengan optimal menyatu dengan serat polimer. Setelah melalui bak resin, serat polimer diarahkan dan dibentuk secara bertahap pada bagian *preformer* (*Gambar 20*). *Preformer* adalah sekelompok *moulding* yang membentuk dan memeras sebagian resin pada komposit sebelum memasuki cetakan profil (*die*). Di dalam cetakan profil, proses reaksi *thermosetting* terjadi dan material



Gambar 20. Serat fiber dan resin memasuki preformer

komposit akan mengalami pengerasan dan siap untuk dilakukan pemotongan profil (*Gambar 21*).

Setelah melalui cetakan profil, profil yang telah jadi dengan panjang tertentu dipotong dengan alat pemotong. Hal yang perlu diperhatikan adalah pada saat mendinginkan profil komposit sebelum dipegang untuk proses penarikan.



Gambar 21. Serat fiber dan resin memasuki cetakan profil (*die*)

Keunggulan komposit

Material yang berbasis FRP atau komposit memiliki beberapa keunggulan dan karakteristik yang perlu dipertimbangkan dalam proses desain. Adapun keunggulan komposit adalah sebagai berikut :

1. Tahan korosi (*corrosion resistance*)
Komposit atau FRP tidak mengalami karat dan tahan terhadap serangan bahan kimia industri ataupun rumah tangga. Kinerja ini telah dibuktikan dengan banyak diaplikasikannya teknologi komposit untuk proses kimia dan industri pengolahan air. Ketahanan terhadap korosi memberikan umur yang panjang dan pemeliharaan yang kecil pada aplikasi bawah laut seperti kapal layar, dinding air laut, dan *platform* bangunan lepas pantai.
2. Kekuatan tinggi dan beratnya ringan
Material komposit memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi melebihi aluminium atau baja. Kekuatan yang tinggi utamanya tarik dan beratnya ringan membuat material komposit adalah pilihan yang rasional bila dibutuhkan struktur yang ringan seperti komponen untuk industri transportasi.
3. Stabilitas dimensi
Material komposit memiliki kestabilan dimensi yang tinggi terhadap pengaruh fisik, lingkungan, dan suhu.

4. Mengurangi penggunaan alat produksi
Satu buah cetakan (*moulding*) FRP dapat menggantikan beberapa alat produksi dalam pembuatan baja.

5. Memiliki karakteristik insulasi listrik / non konduktif

Bahan komposit secara umum tidak memiliki sifat penghantar listrik sehingga dapat digunakan untuk sistem insulasi listrik atau *circuit breaker* pada perumahan.

6. Tidak diperlukan proses *finishing* yang besar

Bahan komposit bisa diberikan pigmen warna saat pencampuran bahan atau diberi lapis coating sebagai bagian dari proses pencetakan sehingga pada akhirnya tidak diperlukan pekerjaan pengecatan. Hal ini tentunya akan lebih efektif dan efisien dari sisi biaya untuk pembuatan komponen yang besar seperti tabung silinder.

Kekurangan komposit

Kekurangan atau hambatan aplikasi penggunaan material komposit adalah berkaitan dengan biaya. Meskipun proses manufaktur material komposit dapat dibuat menjadi lebih efisien, namun material mentahnya tetap masih terlalu mahal. Material komposit masih belum bisa secara total menggantikan material konvensional seperti

baja, tetapi dalam banyak kasus kita memiliki kebutuhan akan hal itu. Tidak diragukan, dengan teknologi yang terus berkembang, penggunaan baru dari material komposit akan bermunculan.

Aspek biaya pada struktur berbahan FRP

Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan struktur berbahan dasar komposit (FRP) dikategorikan menjadi biaya jangka pendek dan jangka panjang. Biaya jangka pendek meliputi biaya bahan, biaya fabrikasi, dan konstruksi. Hingga saat ini memang biaya jangka pendek untuk struktur FRP masih lebih tinggi dibandingkan dengan bahan konvensional. Oleh karena itu, untuk pertimbangan ekonomis dibutuhkan produksi massal dan menerus dalam proses pembuatannya misalnya *pultrusion* atau *filament winding*. Komponen berbahan ringan dan berbentuk modular dapat mengurangi biaya konstruksi. Misalnya dengan bahan yang ringan maka dapat mempermudah ereksi atau instalasi, transportasi, dan tidak diperlukan sewa alat berat.

Biaya jangka panjang struktur berbahan dasar FRP menjadi lebih kompleks untuk dievaluasi karena melibatkan berbagai jenis biaya tidak terduga seperti, pemeliharaan, dekonstruksi, dan biaya pembuangan. Salah satu teknik untuk perhitungan biaya

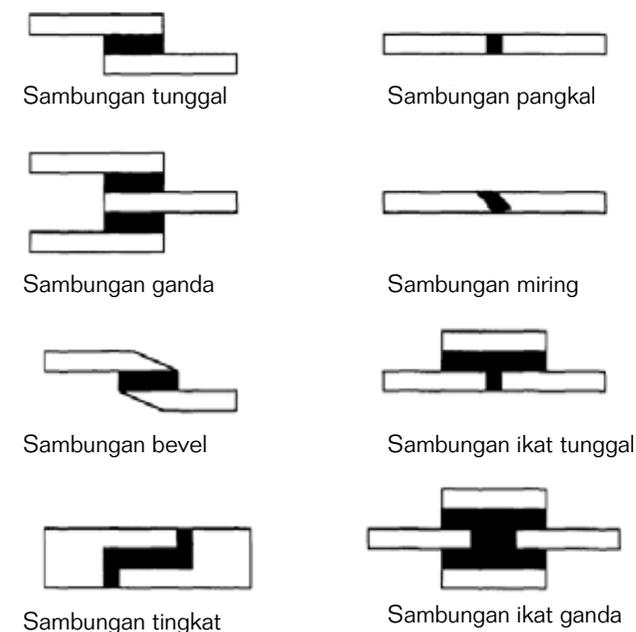
pekerjaan yaitu *Whole of Life* (WOL) yang terdiri atas biaya awal, biaya pemeliharaan, biaya operasional, biaya penggantian dan perbaikan, dan pembuangan sepanjang umur pekerjaan tersebut. Seiring dengan pentingnya konservasi lingkungan, maka biaya jangka panjang menjadi hal penting. Oleh karenanya *sustainability* menjadi salah satu kriteria dalam pemilihan material konstruksi.

Metode penyambungan bahan komposit

Beberapa komponen FRP dapat disambung satu sama lain untuk transfer beban atau untuk mengakomodasi pergerakan diantara komponen yang disambung. Dikenal dua jenis sambungan yaitu sambungan mekanik dan sambungan dengan bahan perekat (*adhesive bonding*). Sambungan mekanik untuk komposit pada dasarnya sama dengan pada sambungan baja. Secara umum, sambungan dibuat dengan membuat dua komponen *overlapping* satu sama lain kemudian dibuat lubang dan disambung dengan baut. Bila digunakan sekrup, maka diperlukan ring metal karena bahan komposit kurang kuat dalam menahan gaya geser. Sambungan mekanik memiliki beberapa keuntungan

yaitu : tidak diperlukan persiapan permukaan; perbaikan dapat dilakukan tanpa merusak material; inspeksi dapat lebih mudah dibandingkan dengan sambungan dengan bahan perekat. Namun demikian, sambungan mekanik dapat menyebabkan konsentrasi tegangan. Hal ini sangat penting karena bahan komposit tidak memiliki kemampuan redistribusi saat mengalami kegagalan. Kemudian bila tidak diproteksi dengan baik, bagian lubang sambungan dapat mengalami kerusakan akibat pengaruh lingkungan.

Jenis sambungan selanjutnya yaitu sambungan dengan bahan perekat. Pada sambungan ini maka antara komponen yang disambung direkatkan dengan menggunakan bahan perekat khusus. Secara umum mekanisme transfer gaya berupa mekanisme geser. Beberapa jenis sambungan dengan menggunakan bahan perekat dapat dilihat pada *Gambar 22*. Sambungan ini memiliki beberapa keuntungan yaitu : distribusi tegangan yang lebih merata oleh karena bahan perekat yang tersebar pada area tertentu; dapat digunakan pada sambungan dengan permukaan tidak rata. Namun, diperlukan persiapan permukaan sebelum diberikan perekat khusus, waktu perawatan yang lebih lama, serta sulitnya pemeriksaan setelah proses perekatan selesai.



Gambar 22. Jenis sambungan dengan bahan perekat (Tuakta ;2005)

Perbandingan karakteristik material komposit dengan material lainnya

Sebagai gambaran perbandingan properti material berbahan dasar FRP dan material metal lainnya dapat dilihat pada *Tabel 2*. Terlihat bahwa bila dirata-rata maka berat jenis metal (baja) adalah 4 hingga 8 kali berat jenis FRP, kemudian kuat tarik (tensile strength) berkisar antara 20 persen hingga setara dengan baja. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan antara

kekuatan dengan berat yang sangat tinggi menjadikan keunggulan utama dari FRP.

Selanjutnya karakteristik elongasi FRP hanya 5% hingga 25% dari elongasi metal. Ini mengindikasikan daktilitasnya lebih rendah dibandingkan bahan metal seperti baja. Sifat lainnya yang memberikan keunggulan FRP yaitu daya hantar listrik yang sangat rendah (sekitar 6% hingga 40% konduktivitas metal). Untuk karakteristik lainnya secara lengkap yaitu elongasi, kuat lentur, *flammability*, absorpsi, serta konduktivitas dapat dilihat pada *Tabel 2*.

Tabel 2 Perbandingan karakteristik material fiber/komposit dengan material lain (MFGC; 2003)

No	Properti	fiber glass	specific gravity	density	tensile strength	tensile modulus	elongasi	flexural strength	flexural modulus	compress strength	flammability	thermal conductivity
	Unit	%	lb/in ³	10 ³ psi	10 ⁶ psi	%	10 ³ psi	10 ⁶ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	UL-94	BTU/hr/ft ² /F/in
	Metode Uji	D790	D792	D638	D638	D638	D638	D790	D790	D695	UL-94	C177
A. Fiber Reinforced Thermoset												
1	Polyester (Pultrusi)	22	1.69	0.061	30	2.5	-	30	1.6	30	-	1.5
2	Polyester (woven roving)	50	1.64	0.059	37	2.25	1.6	46	2.25	27	V-0	1.92
3	Epoxy (filament winding)	80	2.08	0.075	80	4	1.6	100	5	45	V-0	-
B. Fiber Reinforced Thermoplastic												
1	Polypropylene	20	1.04	0.037	6.5	0.54	3	8.3	0.52	25	HB	8.4
2	Nylon 6	30	1.37	0.049	23	1.05	3	29	1.2	24	HB	5.8-11.4
3	Polycarbonate	10	1.26	0.045	12	0.75	9	16	0.6	14	V-1	4.6
C. Metal												
1	ASTM A-606 HSLA cold rolled steel	-	7.75	0.28	65	30	22	-	-	65	-	25
2	AISI 304 stainless steel	-	8.03	0.29	80	28	40	-	-	80	-	9.4
3	2036-T4 wrought aluminium	-	2.74	0.099	49	10.2	23	-	-	49	-	92



Profil komposit yang ada di pasaran di Indonesia

Fiber Beam

Fiberbeam diproduksi oleh PT. Intec Persada sebagai komponen struktur gording pada kuda-kuda atap. Contoh fiberbeam dapat dilihat pada Gambar 23. Spesifikasi teknis fiberbeam yaitu sebagai berikut :

a) Resin: Orthophthalic/ isophthalic unsaturated polyester resin

Resin mengandung crosslinker yang memberikan backbone tahan terhadap lingkungan korosif dan zat kimia dengan kekerasan dan kekuatan tinggi. Crosslinker terdiri dari Styren Monomer dan Methyl Methacrylate (MMA). MMA berfungsi memberikan ketahanan terhadap cuaca (UV matahari).

b) Reinforcement serat gelas : continuous roving dan chop strand mat (CSM) yang dilengkapi dengan Silane Coupling Agent khusus sehingga terjadi bonding yang kuat dengan resin kekuatan tinggi.

c) Aditif khusus: Alumina yang berfungsi meningkatkan ketahanan terhadap UV dan beban dinamik/ kelelahan (fatigue), serta menghambat nyala api (flame retardant).

d) Aditif tambahan: Substituted Benzotriazoles “Tinuvin 327” berfungsi sebagai UV inhibitor

Fiber Beam ini diproduksi dengan menggunakan metode pultrusi. Karakteristik umum dapat dilihat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Karakteristik Fiber Beam

Karakteristik	Nilai	Unit	Metode Uji
Berat jenis	1,8	Ton/m ³	ASTM D792-2000
Tensile strength	396	MPa	ASTM D638
Tensile modulus	20,6	GPa	ASTM D638
Flexural strength	526	MPa	ASTM D790
Flexural modulus	19,8	GPa	ASTM D790
Barcol hardness	>50	barcol	ASTM D2583-2001

(sumber : PT. Intec Persada)



Gambar 23. Fiber Beam

Dengan melihat kuat tarik serta modulus elastisitas tariknya, maka dapat dikatakan bahwa fiber beam memiliki sifat getas.

Jenis ukuran profil :

Ada tiga macam ukuran profil C, yakni:

tinggi x lebar x panjang kuping x tebal

(1) 125 mm x 50 mm x 20 mm x 7 mm.

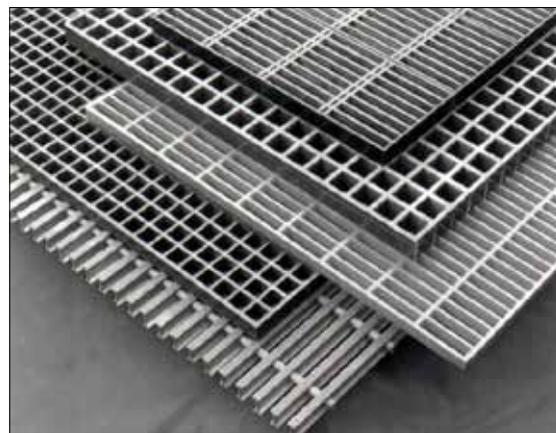
(2) 125 mm x 50 mm x 20 mm x 9 mm.

(3) 150 mm x 50 mm x 20 mm x 7 mm.

Grating fiber

Grating fiber diproduksi sebagai komponen struktur lantai pada pabrik atau *platform*. *Grating fiber* merupakan rangkaian batang-batang FRP yang disusun sedemikian sehingga memiliki kekakuan seperti lantai struktur. Contoh *grating fiber* dapat dilihat pada *Gambar 24*. *Grating fiber* ini dapat dimanfaatkan sebagai struktur lantai jembatan sementara.

Karakteristik *grating fiber* dapat diperlihatkan pada *Tabel 4*. Terlihat bahwa karakteristiknya relatif sama dengan fiber beam yang diproduksi PT. Intec Persada.



Gambar 24. Grating fiber

Tabel 4 Karakteristik Grating

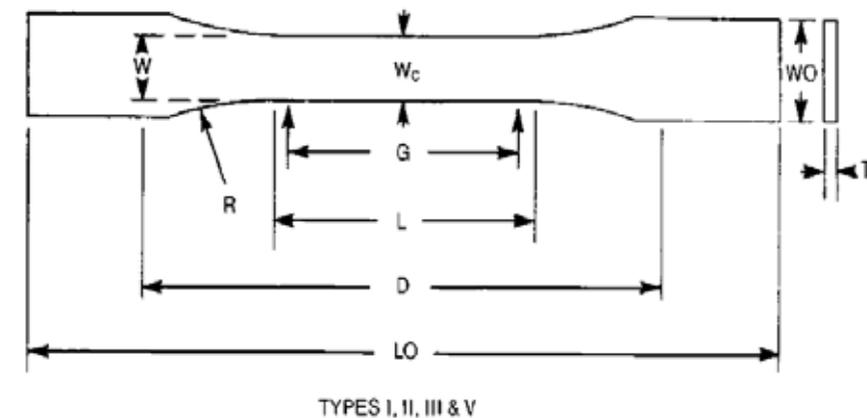
Karakteristik	Nilai	Unit	Metode Uji
Berat jenis	2	Ton/m ³	ASTM D792
Tensile strength	400 - 465	MPa	ASTM D638
Tensile modulus	17,5 - 32	GPa	ASTM D638
Flexural strength	400 - 450	MPa	ASTM D790
Flexural modulus	16,5 - 31,5	GPa	ASTM D790
Barcol hardness	45 (min)	barcol	ASTM D2583

(sumber : PT. Ori Polytec Composites)

Pengujian material komposit

Untuk mengetahui karakteristik mekanik material FRP maka dilakukan serangkaian uji laboratorium. Pengujian laboratorium yang dilakukan mencakup uji tarik yang ada di pasaran. Pengujian tarik FRP menggunakan standar ASTM D 638-03 "*Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*".

Pengujian tarik profil komposit



Gambar 25. Dimensi sampel uji tarik (ASTM D638)

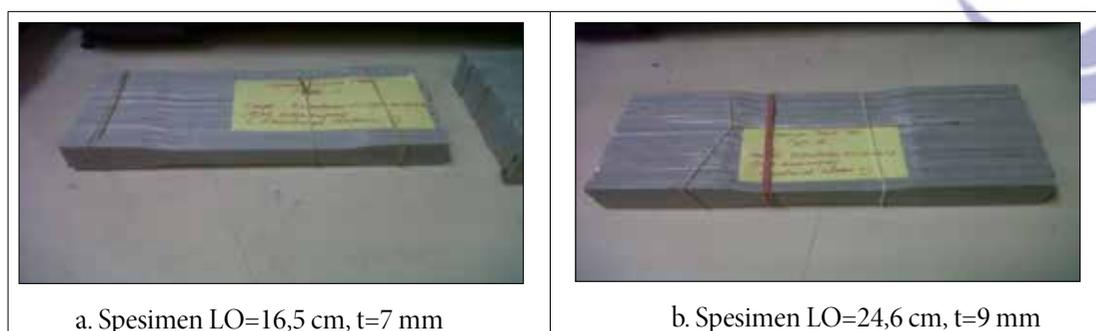
Untuk profil dengan T=7mm dan T=9 mm maka dimensi mengikuti *Tabel 5* sebagai berikut.

Tabel 5 Dimensi Spesimen (mm)

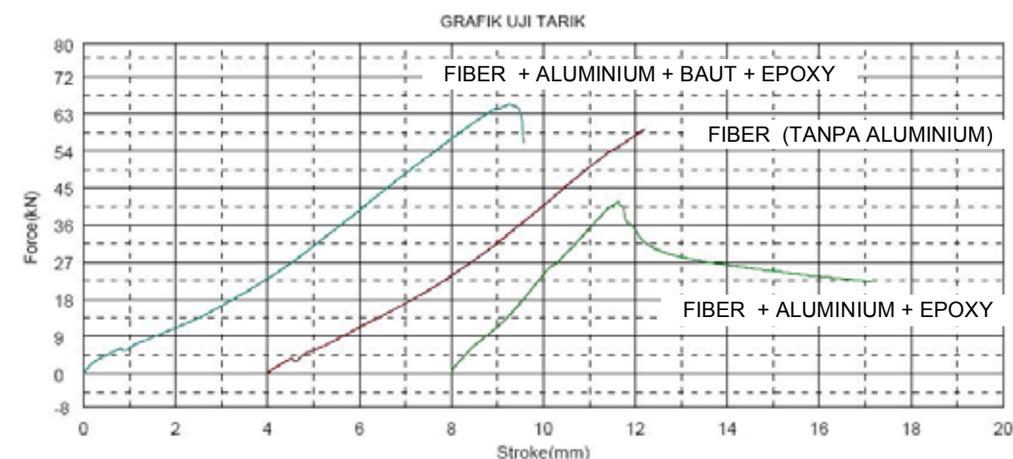
Dimensi	T=7	T=9
	Tipe I	Tipe III
W (Width of narrow section)	13	19
L (Length of narrow section)	57	57
WO (Width overall)	20	30
LO (Length overall)	165	246
G (Gage length)	50	50
D (Distance between grip)	115	115
R (Radius of fillet)	76	76

Sumber : ASTM D638 "Standard Testing Method for Tensile Properties of Plastics"

Spesimen FRP yang digunakan untuk uji tarik dapat dilihat pada *Gambar 26*. Jumlah spesimen uji dipersiapkan minimum masing-masing 5 (lima) buah baik untuk T=7 mm atau T=9 mm sesuai dengan persyaratan ASTM D638. Untuk penelitian ini, disiapkan sampel 6 buah untuk masing-masing ukuran spesimen.



Gambar 26. Spesimen FRP untuk diuji tarik (produksi PT. Intec Persada)



Gambar 27. Hasil uji tarik coupon fiberbeam dengan beberapa perlakuan benda uji

Spesimen uji pada awalnya langsung diuji tarik tanpa adanya aluminium, kemudian sampel kedua diperkuat dengan aluminium dan epoxy, dan sampel terakhir sama seperti sampel kedua hanya diperkuat lagi dengan baut pada bagian grip. Hasil pengujian ketiga sampel fiberbeam dapat dilihat pada *Gambar 27*.

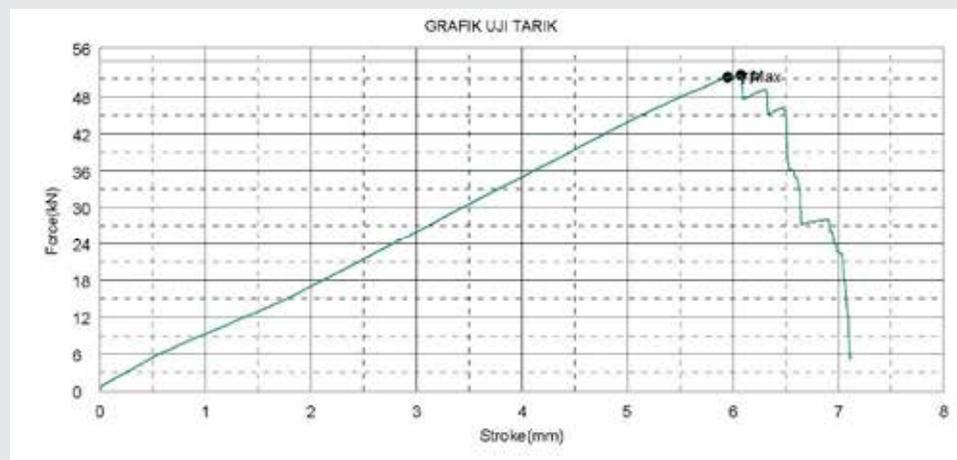
Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel uji pertama mengalami kegagalan pada bagian ujung-ujung grip saat beban mencapai 59 Ton (347 MPa). Oleh karena itu sampel diuji lagi dengan diberikan perkuatan berupa aluminium pada ujung-ujung grip. Setelah diuji ternyata epoxynya kurang memberikan lekatan yang kuat pada sampel fiber sehingga terjadi slip pada beban 40 Ton (244 MPa). Setelah itu sampel uji dimodifikasi lagi dengan perlakuan sama seperti sampel dua tapi diperkuat dengan

baut pada ujung-ujung grip dengan harapan akan meningkatkan kuat geser pada bagian grip. Hasilnya sampel mengalami kegagalan pada beban 64,5 Ton (383 MPa). Nilai tegangan 383 MPa mendekati dengan spesifikasi pabrik produsen fiberbeam (400 MPa). Namun, moda kegagalan masih berada di lokasi yang tidak diharapkan yaitu pada ujung-ujung grip. Dengan hasil ini maka sampel akan diuji lagi dengan memperpanjang grip sehingga memperluas bidang kontak grip dengan sampel uji sehingga diharapkan sampel akan mengalami kegagalan pada bagian terlemah. Beberapa dokumentasi saat pengujian dan kondisi sampel setelah diuji dapat dilihat pada *Gambar 28*.

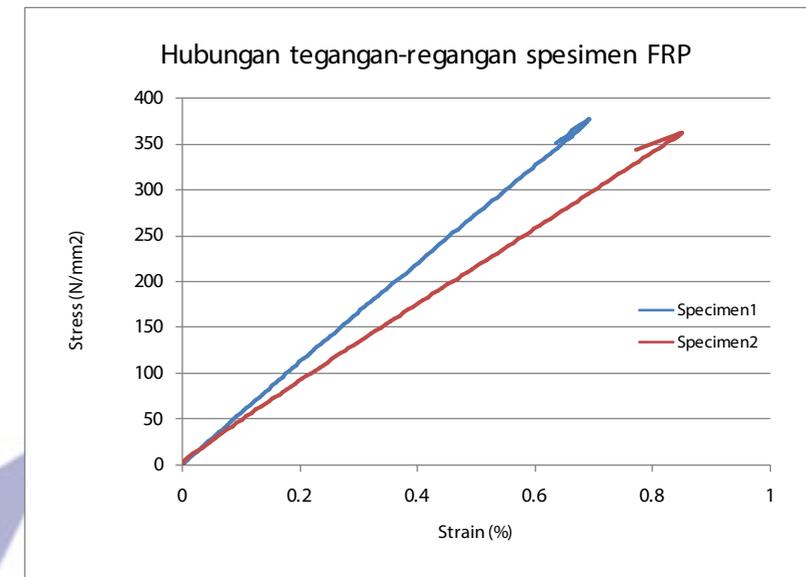
Setelah dilakukan perpanjangan bidang grip, dimensi sampel uji menjadi 30,8 cm. Panjang bagian yang dipegang (grip) yang semula ± 5 cm menjadi ± 10 cm.



Gambar 28. Dokumentasi pengujian



Gambar 29. Hasil uji tarik coupon *fiberbeam* dengan perpanjangan grip



Gambar 30. Hubungan tegangan-regangan coupon *fiber beam*

Seperti terlihat pada *Gambar 29*, coupon *fiberbeam* berperilaku dominan elastik hingga pada akhirnya mengalami keruntuhan pada beban 51 kN atau bila dikonversi sesuai dengan dimensi penampang uji setara dengan tegangan 420 MPa. Adapun perkiraan regangan saat kondisi runtuh yaitu dengan panjang awal sebesar gauge length 50 mm kemudian terdapat perpanjangan sampel uji hingga runtuh yaitu ± 6 mm maka dapat dikatakan regangan saat kondisi runtuh yaitu 12%. Perilaku tersebut dapat dikatakan getas (brittle) dengan bagian plastis yang sangat rendah sehingga perlu dilakukan modi-

fikasi komposisi campuran *fiberbeam* atau penyesuaian angka keamanan (safety factor) bila profil komposit ini akan digunakan untuk struktur bangunan.

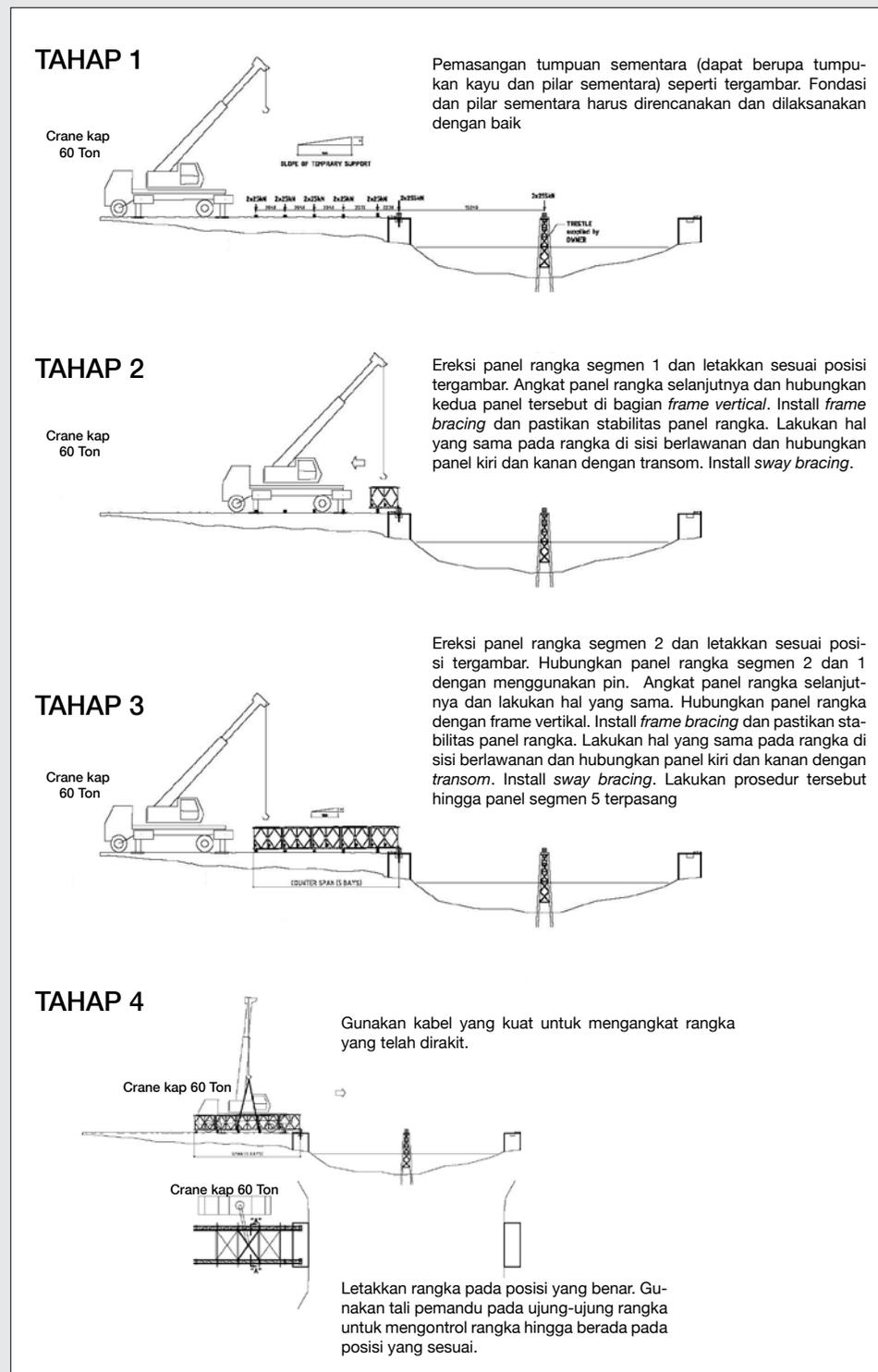
Pengujian selanjutnya yaitu pengujian tarik yang dilengkapi dengan instrumentasi berupa strain gauge sehingga dapat diperoleh riwayat regangan selama pembebanan tarik. Setelah dilakukan pengujian, diperoleh grafik hubungan tegangan-regangan seperti pada *Gambar 30*. Berdasarkan *Gambar 30* dapat diperlihatkan perilaku FRP yang dominan elastik dan runtuh pada tegangan ± 360 MPa. ■

Bab 3

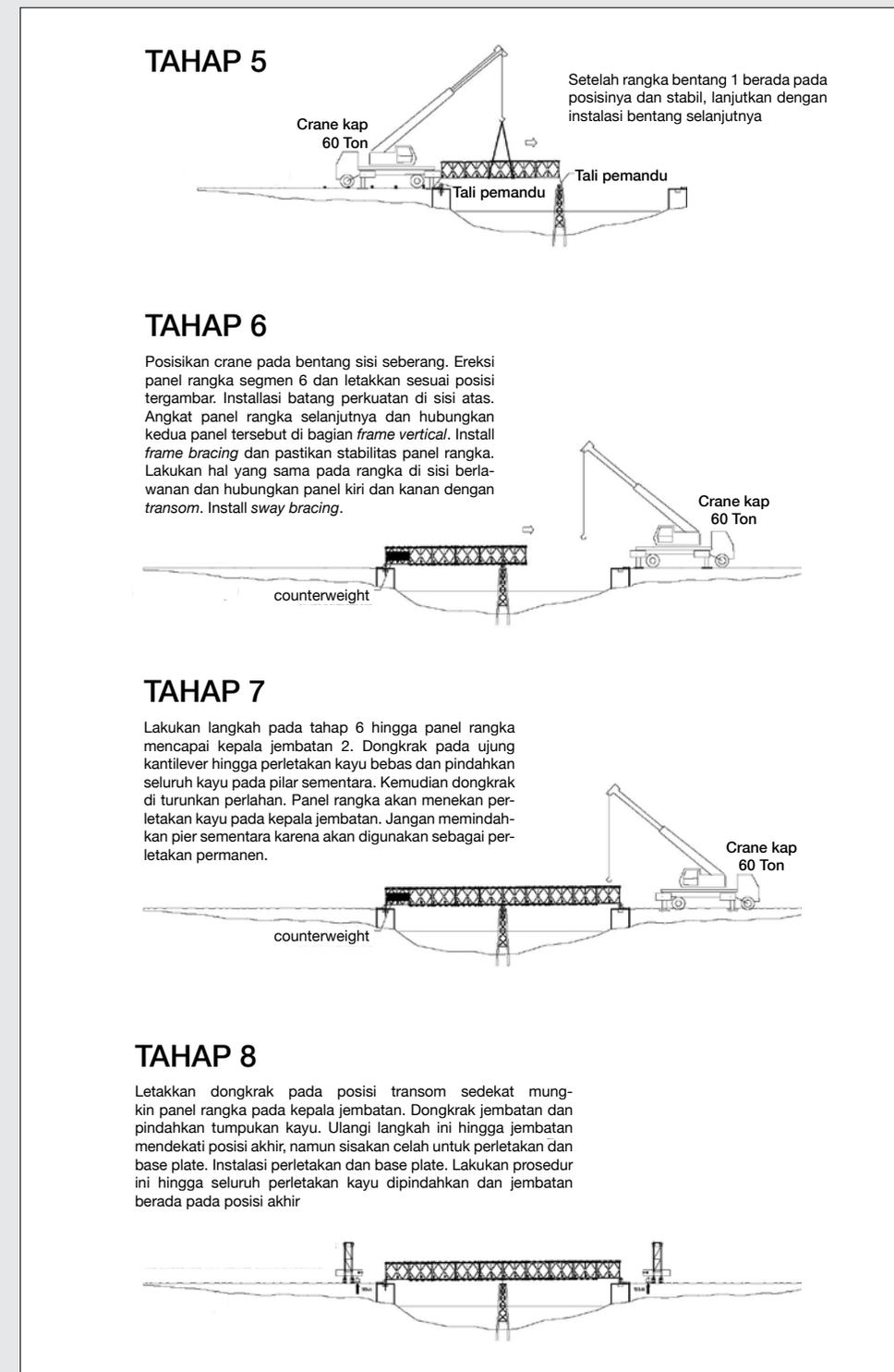
Prosedur Instalasi Jembatan Sementara

Instalasi Jembatan Bailey

Proses ereksi jembatan Bailey dapat digunakan dengan menggunakan tenaga manusia atau dengan menggunakan alat berat. Dengan menggunakan tenaga manusia tentunya membutuhkan personil yang cukup besar oleh karena beratnya bahan. Biasanya bila digunakan tenaga manusia maka dibagi dua tim yaitu tim *unloading* bahan dan tim perakitan. Selanjutnya yaitu proses instalasi dengan menggunakan alat berat yaitu *crane*. Secara umum prosedurnya yaitu dengan merakit segmen jembatan dan kemudian dihubungkan antar segmen. Setelah satu bentang jembatan selesai, maka jembatan diangkat dengan menggunakan *crane* dengan kapasitas yang sesuai dengan beban yang diangkat. Prosedur instalasi dengan bantuan *crane* dapat dilihat pada *Gambar 31* hingga *Gambar 32*.



Gambar 31. Contoh prosedur instalasi jembatan Bailey



Gambar 32. Contoh prosedur instalasi jembatan Bailey (lanjutan)

Instalasi Jembatan FRP

Berbeda dengan jembatan sementara yang terbuat dari bahan baja, jembatan berbahan dasar FRP memungkinkan dibawa oleh dua atau tiga orang saja dalam bentuk komponen parsial (*Gambar 33b*). Mobilisasi komponen yang lebih sederhana menjadi salah satu kelebihan jembatan berbahan dasar FRP. Komponen profil jembatan FRP dapat dibawa utuh sebagai 1 jembatan, secara parsial (segmen), atau dengan satuan komponen. Pemilihan ini tergantung dari tingkat kesulitan menuju lokasi jembatan dan ketersediaan sumber daya. Beberapa alternatif mobilisasi dapat dilihat pada *Gambar 33*.

Untuk mobilisasi 1 jembatan utuh (*Gambar 33a*) maka jembatan akan dibawa menuju tempat yang terdekat dengan lokasi jembatan dan dibutuhkan *crane* untuk menurunkan jembatan. Metode ini membutuhkan biaya paling tinggi oleh karena harus ada sewa truk dan sewa alat berat. Kemudian untuk alternatif kedua yaitu dirakit secara parsial (*Gambar 33b*). Untuk jenis ini jembatan telah tersedia dalam bentuk segmen. Dibutuhkan pekerja dalam jumlah banyak untuk mengangkat rangka. Mobilisasi secara parsial tidak cocok bila kondisi lapangan tidak rata (bergelombang).



a . Utuh 1 jembatan



b. Parsial



c. satuan komponen

Gambar 33. Alternatif mobilisasi komponen jembatan FRP (ettechtonics.com)

Metode yang umum digunakan yaitu jembatan dikirim dalam bentuk komponen-komponen kecil (*Gambar 33c*). Komponen tersebut bisa diturunkan oleh 2-3 orang pekerja. Oleh karena tidak dibutuhkan alat berat untuk menurunkan komponen, maka tidak perlu ada koordinasi waktu antara keda-

tangan komponen dengan waktu instalasi jembatan. Umumnya jembatan dengan bentang pendek hingga 13 m dapat dikerjakan oleh 3 orang dalam waktu kurang dari 1 hari. Contoh proses instalasi jembatan sementara dapat dilihat pada *Gambar 34* dan *Gambar 35*.



a .Mobilisasi komponen



b. Perakitan

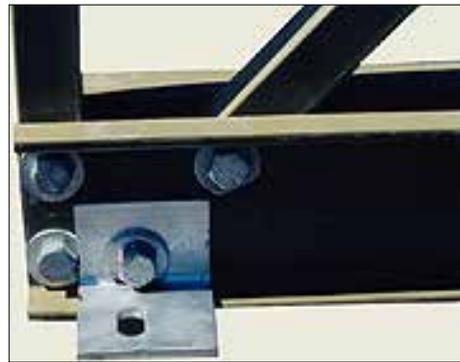


c. Instalasi lantai

Gambar 34. Instalasi jembatan sementara FRP (ettechtonics.com)



Gambar 35. Proses instalasi jembatan sementara FRP (ettechtonics.com)



a. Perletakan



b. Sambungan segmen

Gambar 36. Contoh detailing perletakan dan sambungan segmen (splices)
(sumber : ettechtonics.com)

Untuk menghubungkan jembatan dengan pondasi (kepala jembatan) dapat digunakan perletakan berupa *mounting clips* dengan bahan *stainless steel* (*Gambar 36a*). Sebuah angkur dibutuhkan untuk menghubungkan *mounting clips* dengan pondasi. Tentunya diameter dan jumlah angkur akan tergantung dari beban rencana yang bekerja. Kemudian bila terdapat sambungan antar segmen maka dapat digunakan pelat penyambung dengan contoh seperti pada *Gambar 36b*. ■





Gambar 37. Jembatan berbahan dasar FRP untuk lalu-lintas ringan
(ettechtonics.com)

Bab 4

Model Jembatan Sementara

Model jembatan sementara berbahan dasar FRP dapat berupa sistem rangka seperti pada *Gambar 37* ataupun berupa sistem gelagar (*Gambar 38*). Untuk sistem rangka dapat dimobilisasi dengan cara diangkat utuh menggunakan alat berat ataupun secara parsial dengan menggunakan tenaga manusia.

Jembatan pada *Gambar 37* merupakan jembatan FRP yang berdiri di atas jalan rel eksisting dan terletak di Minnesota, AS. Adapun spesifikasi umum jembatan tersebut yaitu sebagai berikut :

- ▶ Panjang & lebar : 90 m dan 4,7 m
- ▶ Beban hidup rencana : 100 psf (4,78 kPa) atau
- ▶ Tinggi sandaran : 1,35 m
- ▶ Sambungan : baut baja galvanis A307



Gambar 38. Model jembatan FRP berbentuk gelagar (ettechtonics.com)

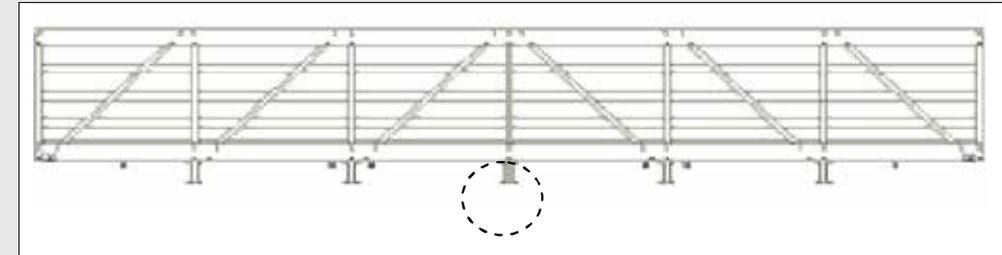
Tipe selanjutnya yaitu tipe gelagar seperti pada *Gambar 38*. Jembatan tersebut berupa jembatan pedestrian dengan bentang 10 m dan lebar 1 m. Beban hidup rencana yaitu 4 kPa.

Konsep jembatan sementara berbahan FRP beserta alternatif sistem sambungan

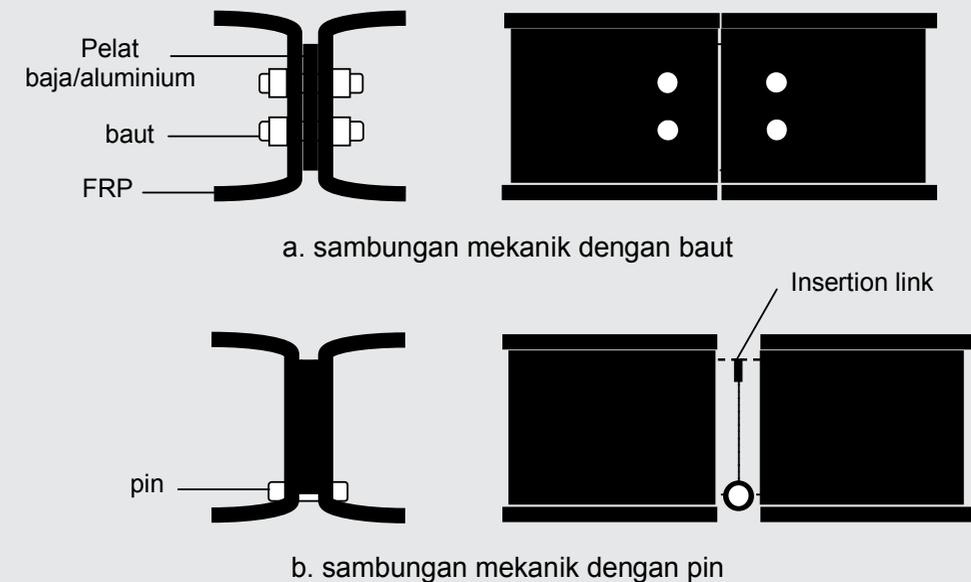
Jembatan dengan berbahan dasar fiber diusulkan berupa rangka karena dapat dibentuk dengan beberapa elemen batang sedemikian sehingga kuat menahan gaya tekan dan tarik. Disamping itu elemen batang dapat direncanakan agar memungkinkan untuk dibawa manusia

dengan mudah (handcarry). Usulan model jembatan berbahan dasar FRP dapat dilihat pada *Gambar 39*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu berkaitan dengan sistem sambungan serta durabilitas bahan FRP. Pada sistem sambungan FRP dibuat agar elemen penyambung memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan yang disambung sehingga pada bagian sambungan diberi tambahan pelat baja atau aluminium maupun pin sebagai sistem sambungan. Sambungan mekanik dengan menggunakan baut dapat dilihat pada *Gambar 40a* kemudian untuk sambungan mekanik dengan menggunakan pin dapat dilihat pada *Gambar 40b*. ■



Gambar 39. Model struktur jembatan sementara FRP



Gambar 40. Alternatif sistem sambungan utama pada jembatan

Bab 5

Kriteria Desain Jembatan Sementara

Berkaitan dengan perencanaan jembatan sementara maka perlu ditetapkan suatu kriteria teknis yang harus dipenuhi dalam perencanaan baik menyangkut pembebanan dan kriteria layan (*serviceability*). Berikut adalah kriteria desain umum berdasarkan AASHTO yang dapat dijadikan pedoman perencanaan jembatan sementara.

a. Beban hidup merata

Jembatan dengan bentang kurang dari 50' direncanakan dengan beban hidup 85 psf (4,07 kPa) dan untuk jembatan dengan bentang lebih dari 50' direncanakan dengan beban hidup 60 psf (2,87 kPa).

b. Beban kendaraan

Beban kendaraan ditentukan sesuai dengan kriteria dari Pemilik Pekerjaan. Bila Pemilik pekerjaan tidak memberikan kriteria kendaraan maka dapat digunakan beban truk sesuai dengan AASHTO standard *H-truck*. Beban hidup kendaraan tidak digunakan bersamaan dengan beban hidup pedestrian.

c. Beban gempa

Beban gempa ditentukan sesuai dengan peraturan gempa yang berlaku.

d. Pendekatan dengan Metode Tegangan Ijin

Metode tegangan ijin dapat digunakan untuk perencanaan elemen struktur. Berikut disajikan tipikal angka keamanan ultimit untuk jembatan FRP.

Tarik	: 2,5
Tekan	: 2,5
Geser	: 2,5
Lentur	: 2,5
Daya dukung ujung	: 2,5
Sambungan	: 3

e. Kriteria *serviceability*

Terhadap beban servis maka berikut kriteria defleksi dan vibrasi jembatan FRP

Defleksi ijin LL : $l/240$

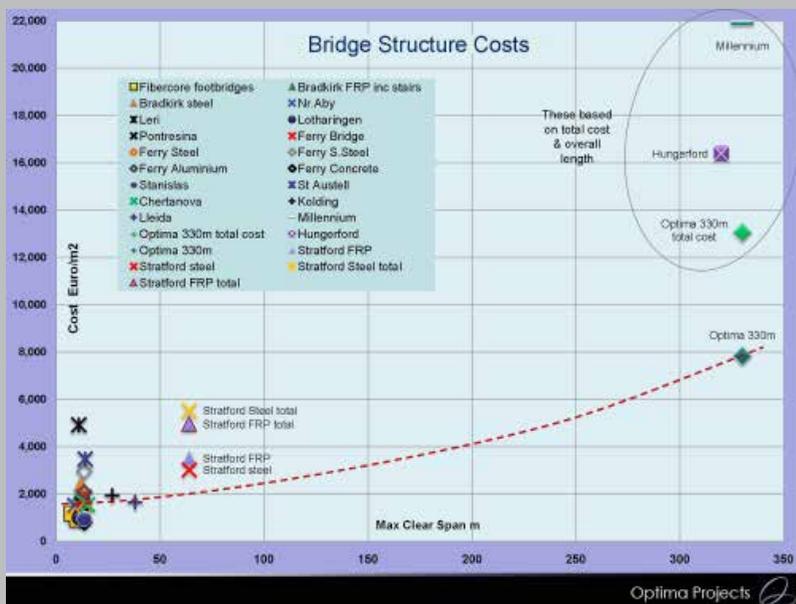
Frekuensi natural vertikal (f_n) :
> 5 Hz (tanpa LL)

Frekuensi natural horizontal (f_n) :
> 3 Hz (tanpa LL) ■





(a) biaya struktur jembatan konvensional untuk berbagai macam material



(b) biaya struktur jembatan panjang untuk berbagai macam material

Gambar 41. Perbandingan biaya konstruksi jembatan (sumber : Kendal,2010)

Bab 6

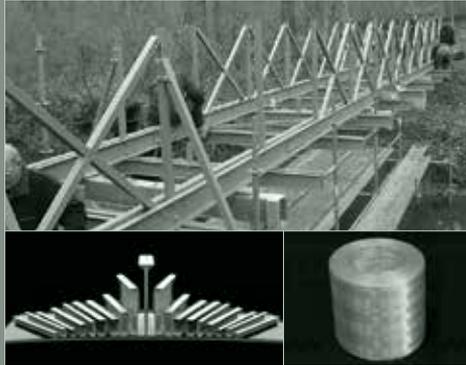
Perbandingan Biaya Konstruksi Jembatan FRP dengan Jembatan Lainnya

Selain sisi teknis, tentunya sebuah pekerjaan konstruksi perlu juga dilihat aspek ekonomisnya. Kajian ekonomis dilakukan dengan mengambil contoh beberapa jembatan FRP yang telah dibangun dengan beberapa jembatan konvensional bahan beton atau baja dengan kriteria desain yang sama.

Sebagai contoh pada *Gambar 41a* memperlihatkan perbandingan beberapa jembatan dengan beberapa jenis bahan termasuk FRP. Terlihat pada jembatan seperti jembatan Bradkirk yang terbuat dari FRP memiliki biaya yang lebih ekonomis dibanding baja. Selanjutnya untuk jembatan panjang untuk pejalan kaki seperti jembatan Optima dengan panjang 330 m yang terbuat dari CFRP yang memberikan hasil bahwa biaya instalasi jembatan akan lebih rendah bila bangunan atas jembatan dibuat dari bahan FRP (*Gambar 41b*). ■

Daftar Pustaka

- NCHRP 20-07 Task 244, 2009 "LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges".
- ET Techtonics, Inc "Proposed AASHTO Guide Specifications for the Design of FRP Pedestrian Bridges".
<http://ettechtonics.com>, diunduh Juni 2012.
- Shepherd, B., (2005), "Bridges to go – Temporary bridge structure", Australian Small Bridges Conference 2005.
- Strongwell (2003), "Extren DWB Design Guide", Bristol, VA, USA.
- Acrow bridges (2009), "Temporary Detour Bridges may be right for your project- Economic overview".
- MFGC, (2003), "Designing with Fiber Reinforced Plastics/Composites".
- Tuakta, C (2005), "Use of Fiber Reinforced Polimer Composites in Bridge Structure", MIT Thesis.
- Kendall, D (2010), "Development in FRP Bridge Design".
- Headquarter Department of Army, (1986), Field Manual No 5-277, "Bailey Bridges".
- Gambar continuous strand roving, <http://www.sz-wholesaler.com>, diunduh Juni 2012.
- Gambar woven roving, <http://sinofuwang.en.made-in-china.com>, diunduh Juni 2012.
- Gambar woven fabrics, <http://fabricgraphicsmag.com>, diunduh Juni 2012.
- Gambar surfacing mat, <http://www.fiberglass-mat.com>, diunduh Juni 2012.



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN JALAN DAN JEMBATAN
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kementerian Pekerjaan Umum
www.pusjatan.pu.go.id