

Penanganan Jembatan Musi Ampera Pasca Kebakaran

Sumargo¹, Siswanto¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung

INDONESIA

E-mail: sumargo2004@yahoo.com

Abstract

Pada hari minggu tanggal 10 Oktober 2010 terjadi kebakaran pada bagian bawah jembatan pendekat arah Plaju tepatnya di bentang 2 dan 3 dari Jembatan Musi Ampera, Palembang. Api membakar kios berbahan kayu yang kemudian menjalar ke kios lain dalam waktu cepat didukung oleh kain dan pakaian menumpuk di bawah jembatan tersebut seolah menjadi bahan bakar. Kebakaran yang terjadi sekitar jam 21:45 tersebut baru berhasil dipadamkan menjelang pergantian hari tanggal 11 Oktober 2010. Akibat temperatur yang tinggi dari kebakaran tersebut menyebabkan jembatan retak-retak dan selimut beton terkelupas (spalling) bahkan pada struktur box jembatan terjadi lenturan signifikan. Hal yang sama terlihat juga pada bagian kantilever jembatan. Pada bagian atas jembatan terlihat railing berdeformasi melengkung akibat suhu tinggi dari kebakaran. Dengan adanya Sea Games pada bulan November 2011, perlu dilakukan perbaikan segera terhadap Jembatan ini dan fiber reinforced polimer (FRP) menjadi solusi. Kapasitas lentur balok tanpa FRP adalah 6462 kN-m dan dengan FRP adalah 8081,7 kN-m sehingga dengan terjadi penambahan kapasitas lentur balok sebesar 1619,7 kN-m atau 20%. Kapasitas lentur pilar tanpa FRP adalah 1801,8 kN-m dan dengan FRP adalah 2574,1 kN-m, sehingga FRP memberikan penambahan kapasitas lentur pilar sebesar 772,4 kN-m atau 43%.

Kata kunci: jembatan musu ampera, kebakaran, fiber reinforced polimer

1. PENDAHULUAN

Jembatan Musi Ampera dibangun April 1962 dan pada tanggal 30 September 1965 diresmikan pemakaiannya oleh Letjen Ahmad Yani, Gambar 1. Bagian bawah jembatan pendekat arah Palembang digunakan sebagai tempat rekreasi masyarakat sedangkan pada bagian bawah jembatan pendekat arah Plaju dipenuhi bangunan berupa kios penampungan dan penjualan pakaian bekas.

Pada hari minggu tanggal 10 Oktober 2010 terjadi kebakaran pada bagian bawah jembatan pendekat arah Plaju tepatnya di bentang 2 dan 3. Api membakar kios berbahan kayu yang kemudian menjalar ke kios lain dalam waktu cepat didukung oleh kain dan pakaian menumpuk di bawah kolong jembatan tersebut seolah menjadi bahan bakar. Kebakaran yang terjadi sekitar jam 21:45 tersebut berhasil dipadamkan saat pergantian hari menjadi Senin tanggal 11 Oktober 2010, Gambar 2.

Akibat temperatur tinggi dari kebakaran tersebut membuat jembatan retak-retak dan selimut beton terkelupas (spalling) bahkan pada struktur box jembatan terjadi sagging. Hal yang sama terlihat juga pada bagian kantilever jembatan. Lenturan tersebut dapat dilihat dari sisi samping jembatan dari pada bagian atas jembatan terlihat railing berdeformasi cukup signifikan. Untuk mendukung kegiatan SEAGAMES pada bulan November 2011, perlu dilakukan langkah cepat perbaikan dari jembatan ini sehingga diharapkan akan mengembalikan jembatan ke kondisi semula seperti sebelum terjadi kebakaran.



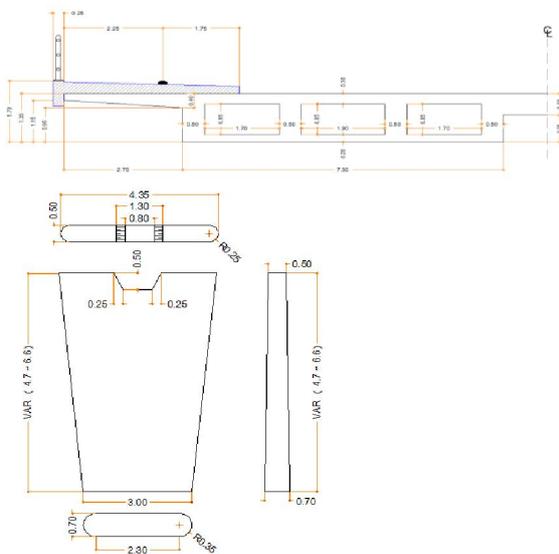
Gambar 1. Bentang Utama Jembatan Ampera



Gambar 2. Kebakaran Pada Bagian Bawah Jembatan Pendekat Arah Plaju

2. DATA JEMBATAN AMPERA

Panjang total jembatan 1177 m, lebar 22,5 m, ruang bebas vertikal 11,5 m dan Horizontal 75 m. Tipe jembatan utama berupa gelagar baja atau *plate girder*, *simple span* dan *continous span*. Tipe jembatan pendekat adalah *RC box girder continous span*. Pola bentang utama: 22m+ 2@58,5 m + 75 m + 2@58,5m + 22m. Pola bentang pendekat: 27 m + 6@30 m + 27 m (arah Plaju) dan 27 m + 30 m + 27 m (arah Palembang). Dimensi pilar dan *RC box girder* jembatan pendekat sisi Plaju diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi Pilar dan RC Box Girder Jembatan Pendekat Sisi Plaju

3. KASUS KEBAKARAN DAN INVESTIGASI

Sehubungan dengan peristiwa kebakaran yang terjadi telah dilakukan obeservasi visual, investigasi dan evaluasi kondisi jembatan pasca kebakaran untuk mengetahui kinerja jembatan sehingga dapat ditentukan rekomendasi penanganan perbaikan.

3.1 Gelagar Jembatan

Bangunan atas jembatan pendekat berupa RC box girder dan yang mengalami kondisi terparah adalah segmen kedua dan ketiga arah Plaju. Berdasarkan pemangatan lapangan terlihat retak-retak pada beton. Retak yang terjadinya pada umumnya adalah retak buaya dimana terlihat banyak pada bidang planar pada beton. Kerusakan lain yang terjadi adalah retak linear/memanjang pada box beton terutama pada bagian sudut/tepi, Gambar 4. Kerusakan berat juga terjadi pada *railing* jembatan, Gambar 5.

Kerusakan lain yang terjadi adalah selimut beton terkelupas (*spalling*) sehingga tulangan terbuka. *Spalling* diakibatkan oleh perbedaan muai antara tulangan dan beton. Tulangan baja pada suhu tinggi akan memuai lebih cepat dan menekan beton sehingga beton terkelupas. Hal ini terlihat dari dalamnya *spalling* yang mencapai selimut dan lapisan tulangan. *Spalling* terjadi baik pada bagian serat bawah yang mengalami tekan maupun tarik.

Struktur box jembatan terjadi lenturan dan hal yang sama terlihat juga pada bagian kantilever jembatan. Deformasi permanen diprediksi terjadi akibat penurunan modulus elastisitas beton dan baja serta mekanisme muai pada saat kebakaran terjadi.



Gambar 4. Retak dan *Spalling* pada RC Box Girder Sisi Plaju Pasca Kebakaran



Gambar 5. Deformasi *Railing* Arah Sumbu Lemah

3.2 Pilar Jembatan

Bangunan atas Jembatan Pendekat Musi Ampera ditopang oleh dua pilar sejajar setiap 27 meter dan 30 meter (panjang tipikal segmen jembatan). Terdapat retak dan spalling di beberapa tempat pada pilar jembatan. Retak dan spalling pada pilar diakibatkan oleh shrinkage yang terjadi karena *thermal shock* waktu proses pemadaman.

3.3 Pengamatan Visual

Berdasarkan hasil pengamatan visual dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Perubahan warna beton menjadi pink/kemerahan, diprediksikan beton terbakar pada suhu 209°C-590°C (ASTM C858/05) selama 3-4 jam. Hal ini terjadi karena proses pembakaran iron pada *silica based aggregate* dan semen.
- Terjadi pop out didaerah yang terbakar. Pop out biasanya terjadi akibat perubahan mineral khusus yang menyebabkan peningkatan volume yang dapat terjadi pada temperatur 573°C.
- Dijumpai pola retak pada beberapa lokasi yang biasa terjadi pada tempertur 540°C.

3.4 Pengujian Hammer Test dan Pundit/UPV

Nilai hammer test mempunyai rentang antara 28 MPa sampai 36 MPa pada bagian bawah box girder. Pada elemen struktur yang berada di dalam box meliputi balok T, bagian atas box dan bagian bawah box sisi dalam, relatif tidak terjadi perubahan karakteristik beton. Data yang diperoleh sekitar 46 MPa sampai 58 MPa. Berdasarkan data tersebut, dapat diprediksikan mutu beton RC box girder sebelum terjadi kebakaran adalah 58 MPa.

Pada bagian pilar nilai hammer test tercatat antara 42 MPa sampai 56 MPa dan nilai ini mendekati nilai yang didapat untuk box girder yang tidak terekspos api. Dengan demikian, untuk mutu beton pilar sama dengan mutu beton RC box girder yaitu diprediksikan 58 MPa.

Nilai cepat rambat beton yang berkisar antara 1200-1600m/s relatif lambat dan ini mengindikasikan kemungkinan hilangnya ikatan (*looses*) antara tulangan dan campuran beton.

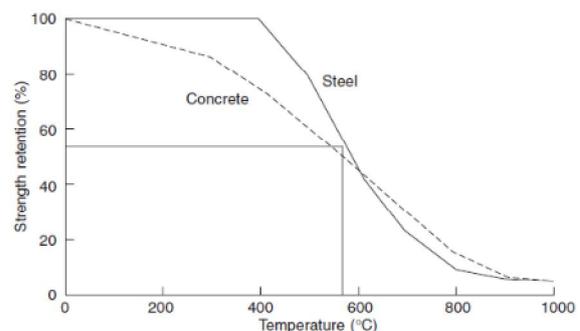
Dari hasil pengujian didapat properti material berikut: Mutu beton $f_c' = 30$ MPa untuk RC box girder dan 42 MPa untuk pilar, sedangkan tegangan leleh baja tulangan BJTP24, $\emptyset <$

13mm 240 MPa dan 400 MPa untuk BJTD40, $\emptyset \geq 13$ mm.

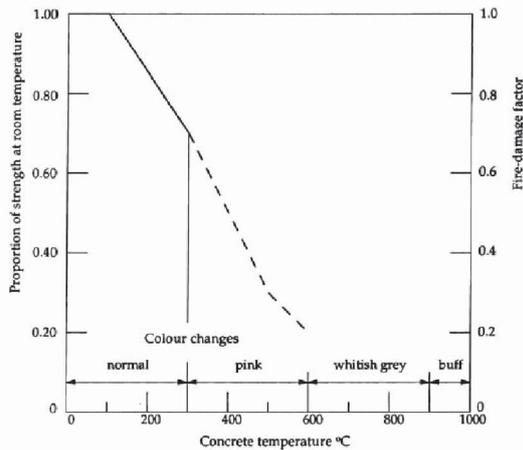
4. KAJIAN LITERATUR

Banyak faktor yang mempengaruhi kinerja beton dalam kondisi terbakar tetapi yang paling berpengaruh dan saling terkait adalah: kecepatan kenaikan temperature, kadar air, dan permeabilitas dalam beton.

Gompal (spalling) dipengaruhi oleh kadar air, permeabilitas, kecepatan pemanasan, sifat agregat, dan beban yang bekerja pada beton. Beton dengan kelembaban lebih dari 3% dari beratnya akan gompal meskipun batas ini dapat dipengaruhi oleh permeabilitas beton. Makin rendah permeabilitas makin tinggi resiko terhadap gompal dan makin tinggi temperature semakin besar juga resiko gompal. Umumnya tulangan tidak mempengaruhi gompal beton sampai setelah selimut beton terlepas, meskipun semakin tebal selimut beton, semakin besar pula resiko gompal. Penggunaan jaring baja non-struktural dalam selimut beton akan mereduksi gompal. Semua baja akan kehilangan kekuatan dengan meningkatnya temperatur. Gambar 6^[5] memperlihatkan hubungan kekuatan dan temperatur dari baja struktur dan beton. Umumnya, beban statik pada elemen struktur direncanakan mendekati 55% dari tegangan leleh. Kekuatan leleh baja pada 550°C adalah sekitar 55% dari tegangan leleh baja pada temperatur kamar. Sehingga struktur yang mendapat beban tipikal akan tetap stabil pada temperatur 550°C. Ini dinamakan sebagai temperatur kritis. Jika beban statik lebih rendah, struktur akan stabil pada temperature lebih tinggi dari 550°C. Temperatur ini jauh lebih rendah dari titik leleh baja (~1450°C) sehingga memperlambat atau mencegah bahaya akibat melemahnya baja, Gambar 7.^[4]



Gambar 6. Kekuatan sisa terhadap temperatur untuk beton dan baja



Gambar 7. Variasi Penurunan Mutu Beton Terhadap Temperatur

Tiga hal utama yang menjadi perhatian dalam mengevaluasi pengaruh kebakaran dalam struktur beton yaitu: kedalaman kerusakan (spalling) atau hilangnya kekuatan dalam matriks beton, kehilangan kekuatan tulangan, dan kerusakan struktur akibat pergerakan, penurunan, atau beban. Petunjuk untuk kehilangan kekuatan akibat temperatur bisa didasarkan pada perubahan warna dari matriks beton yang dibuat dari agregat bersilika. Pada temperature 300°C beton akan berubah menjadi warna merah muda dan pada temperature 600°C beton berubah menjadi abu-abu. Jadi dengan core berdiameter kecil akan tampak warna abu-abu di bagian luar, merah muda pada lapisan bawah berikutnya, dan selanjutnya warna beton normal, Gambar 7. Evaluasi dengan uji hammer dapat digunakan sebagai dasar penentuan daerah yang mengalami kerusakan tetapi alat ini tidak dapat mendeteksi kekuatan sisa atau dalamnya kerusakan yang terjadi. Pengujian dengan UPV (*ultrasonic pulse velocity*) dapat mengukur kedalaman kerusakan.

5. EVALUASI DAN ANALISA STRUKTUR

5.1 Pemodelan Struktur Jembatan

Pemodelan dan analisis struktur Jembatan Musi Ampera dilakukan dengan menggunakan program MIDAS-Civil, Gambar 8.

5.2 Kriteria Pembebanan

Pembebanan untuk jembatan, yaitu beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya

didefinisikan berdasarkan Standar RSNI T-02-2005 "Standar perencanaan pembebanan untuk jembatan".^[6] Beban yang ditinjau adalah: (a) Berat Sendiri, (b) Beban Mati Tambahan, (c) Beban Hidup, (d) Beban Lalu Lintas berupa beban "D" dan beban truk "T", (e) Beban Kejut (Faktor Beban Dinamis FBD), (f) Beban Rem, (g) Beban Pejalan Kaki, dan (g) Beban Temperatur, (i) Susut dan Rangkak. Jembatan Musi Ampera ini sudah mempunyai umur layan 50 tahun sehingga *creep* dan *shrinkage* sudah bekerja secara maksimum. Berikut ini koefisien *creep* dan *shrinkage* untuk elemen RC box girder yang mempunyai nilai berbeda dengan pilar, (j) Beban Gempa. Untuk beban gempa, kondisi tanah pada daerah Jembatan Pendekat Musi Ampera sisi Plaju digunakan respons spektrum pada Wilayah Gempa 5, dengan kondisi tanah lunak.^[3]

5.1 Kombinasi Pembebanan

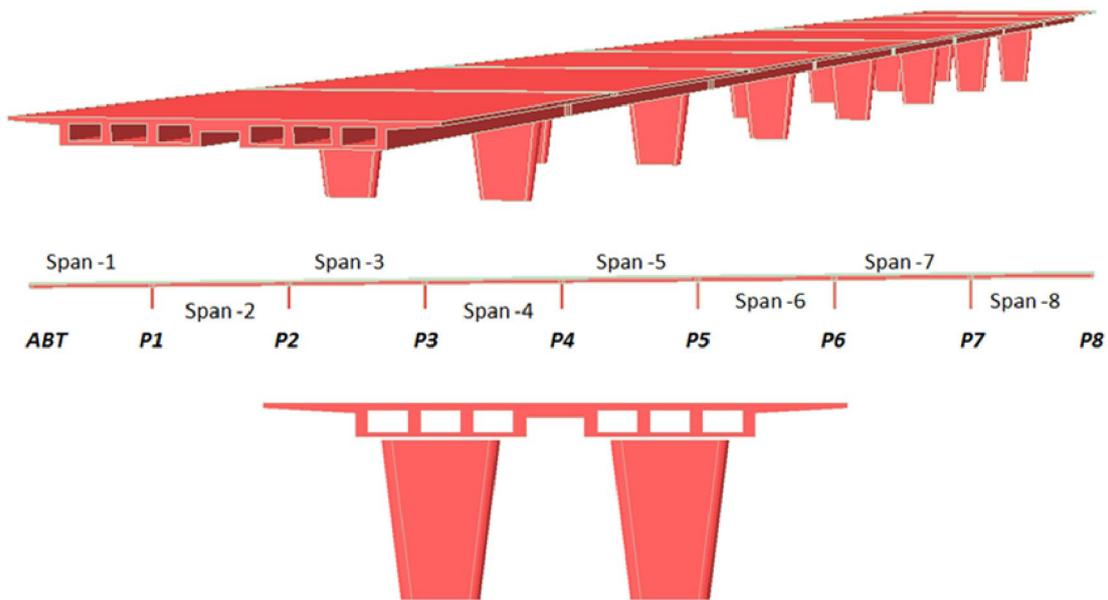
Analisis dimensi dan perencanaan elemen struktur dilakukan berdasarkan kombinasi gaya dalam akibat masing-masing pembebanan (beban tetap dan beban sementara) sesuai dengan Standar RSNI-2004 "Standar perencanaan pembebanan untuk jembatan"^[7] yaitu dengan memperhatikan kondisi layan dan kondisi ultimate. Analisa struktur mengacu pada cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT), dengan menerapkan kombinasi pembebanan pada kondisi batas ultimate, yang terdiri dari jumlah pengaruh tetap dengan satu pengaruh transient.

6. RENCANA PERBAIKAN JEMBATAN

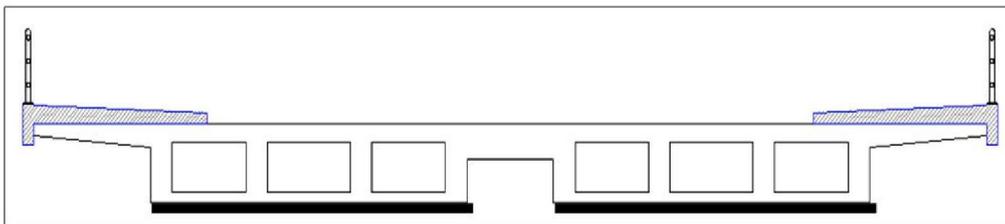
Bagian permukaan beton yang mengalami kondisi temperatur minimum 300°C diperkirakan mencapai 3cm - 4cm. Pada suhu ini beton akan mengalami pengurangan kuat tekan $\pm 20\%$ dan kehilangan bonding antara agregat dan tulangan $\pm 30\%$. Kondisi baja tulangan pada umumnya masih baik karena hanya sebagian kecil daerah yang baja tulangannya terbuka. Sebagai langkah awal perbaikan, semua bagian Pilar dan RC Box Girder yang terbakar dibersihkan, pada bagian beton yang spalling, beton yang lepas dan rusak di buang. Semua besi tulangan dan beton yang mengalami karat dibersihkan. Selanjutnya dilakukan pemasangan kembali beton untuk

mendapat selimut beton sesuai asalnya dengan bahan mortar modified cement (*non-shrinkage*). Jika terdapat retak-retak dengan lebar $> 0.1\text{mm}$ setelah diberihkan dilakukan injeksi. Untuk meningkatkan kekuatan Pilar dan RC Box Girder yang telah mengalami penurunan kekuatan akibat kebakaran, maka diberikan FRP (*Fiber Wrapping*) dari tipe serat karbon untuk box girder dan serat e-glass untuk pilar.

mutu beton pada daerah *web* dan *flange* atas RC *box girder* tidak mengalami penurunan akibat temperatur kebakaran. Untuk itu, perkuatan tidak diperlukan pada serat atas. Pada lokasi 0,25 sd 0,75 bentang serat karbon dipasang di sisi bawah gelagar box sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 9.



Gambar 8. Pemodelan Struktur Jembatan



Gambar 9. Lokasi Pemasangan Serat Karbon FRP pada Box Girder

6.1 Penentuan Arah Serat

Arah lentur elemen utama RC box girder ke arah longitudinal jembatan sehingga diperlukan FRP ke arah memanjang jembatan. Pada daerah 0,0 sd 0,25 bentang dan 0,75 sd 1,0 bentang RC box girder beton akan mengalami tarik pada data serat atas sedangkan pada daerah 0,25 sd 0,75 bentang akan terjadi tarik pada data serat bawah. Namun data *hammer test* menunjukkan

6.2 Penentuan Tebal Serat

Berdasarkan pengamatan visual dan pengujian material pasca kebakaran dapat disimpulkan:

- Berdasarkan *hammer test*, mutu beton mengalami penurunan kekuatan sekitar 40% pada RC box girder dan 20% pada pilar. Pada box bagian dalam (*web* serta slab bawah sisi dalam) dan slab atas mutu beton antara 46 MPa sd 58 MPa, sedangkan bagian slab bawah yang langsung terepos

api mutu beton antara 28 MPa sd 36 MPa. Pada bagian pilar nilai *hammer test* yang tercatat antara 42 MPa smpai 56 MPa.

- Pada temperatur 550⁰C, kuat lelah baja dapat turun 50% dan pada temperatur 835⁰C, mutu baja hanya bersisa 10%.
- Untuk itu, bisa dikatakan kinerja jembatan menurun (sekitar 40% untuk RC box girder dan 20% untuk pilar) dari kondisi sebelum terjadi kebakaran.

Untuk itu, dalam desain perbaikan/ perkuatan RC box girder dan pilar Jembatan pendekat Musi Ampera sisi Plaju dengan FRP, ada beberapa asumsi-asumsi logis yang dapat dijadikan acuan dalam penentuan tebal serat FRP, yaitu:

- a. Tebal serat FRP harus dapat meningkatkan kapasitas RC Box Girder sebesar 40% dan Pilar sebesar 20% sesuai dengan penurunan kekuatan beton dan tulangan akibat temperatur kebakaran.
- b. Tebal serat FRP ditentukan berdasarkan gaya-gaya dalam akibat beban-beban transien sesuai peraturan yang berlaku saat ini (RSNI T-02-2005). Dasar pemikiran ini timbul, dengan melihat kondisi jembatan pasca kebakaran yang retak-retak dan spalling, jembatan masih dapat berdiri dengan memikul beban struktur sesuai fungsinya. Terbukti lalu lintas pada jembatan tidak ditutup, dan ada pilar penyangga yang diberi gap sekitar ± 5 cm sampai sekarang bagian bawah tidak menyentuh pilar penyangga tersebut, seperti ditunjukkan dalam Gambar 11.

6.3 Perbaikan Spalling dan Retak

Fakta menunjukkan bahwa sebelum dilakukan perkuatan jembatan masih berdiri dengan beban lalu lintas yang dibatasi tanpa truk dan beban temperatur serta beban-beban lain-nya yang bekerja saat ini. Dengan demikian, retak dan spalling pada beberapa lokasi RC box girder maupun pilar akibat temperatur kebakaran yang besar, dengan penanganan berupa pemasangan beton baru (>0.1 mm) jembatan dapat diasumsikan sudah cukup kuat untuk memikul beban permanen.

6.4 Perbaikan dengan FRP

Perkuatan FRP pada RC box girder diasumsikan untuk menahan 40% gaya-gaya dalam akibat

beban transien dan pada pilar diasumsikan untuk menahan 20% gaya-gaya dalam akibat beban transien. Adapun yang mendasari pemikiran hal tersebut adalah:

- a. UDL dan KEL = 70% (reduksi 30% beban lalu lintas karena pembatasan dan pemindahan lalu lintas pada Jembatan Ampera ke jalan/jembatan lain jauh hari sebelum jembatan terbakar).
- b. Kondisi aktual di lapangan dengan kondisi jembatan pasca kebakaran elemen struktur jembatan masih dapat berdiri dengan beban-beban permanen (DL, SDL dan *Creep* serta *Shrinkage*) serta beban-beban transien (UDL dan KEL, Rem, Pejalan Kaki, dan Temperatur).
- c. Pemasangan beton baru pada area-area yang spalling dan injeksi pada area yang retak-retak (>0.1 mm) yang diakibatkan kebakaran, jembatan dapat diasumsikan sudah cukup kuat untuk memikul beban permanen (jika dikorelasikan dengan butir 2 di atas).
- d. Terjadi pengurangan kekuatan struktur jembatan akibat temperatur kebakaran (sebesar 40% pada RC Box Girder dan 20% pada Pilar). Untuk menjaga struktur jembatan tetap berdiri akibat penurunan kekuatan struktur tersebut:
 - Perkuatan FRP pada RC box girder cukup didesain untuk memikul 40% beban-beban akibat beban transien jembatan.
 - Perkuatan FRP pada pilar cukup didesain untuk memikul 20% beban-beban akibat beban transien jembatan.

6.5 Perkuatan Box Girder dan Pilar

Analisa perkuatan ^[1] dilakukan untuk memikul kelebihan momen positif pada (0,25-0,75) bentang. Untuk perkuatan box girder digunakan FRP jenis Mbrace carbon fiber 230/4900 300/30 ^[2] tebal 0,17 mm. Karena flens atas dari box girder tidak terekspos terhadap api secara langsung sehingga tidak perlu dilakukan pemasangan serat karbon pada daerah momen negatif yaitu pada (0 – 0,25) dan (0,75– 1,0) dari tiap bentang. Untuk perkuatan pilar digunakan material serat gelas Mbrace Fiber GE 73/3400 ^[2] dengan tebal 0,308 mm.

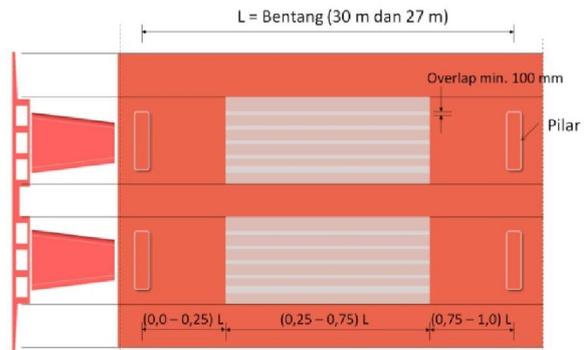
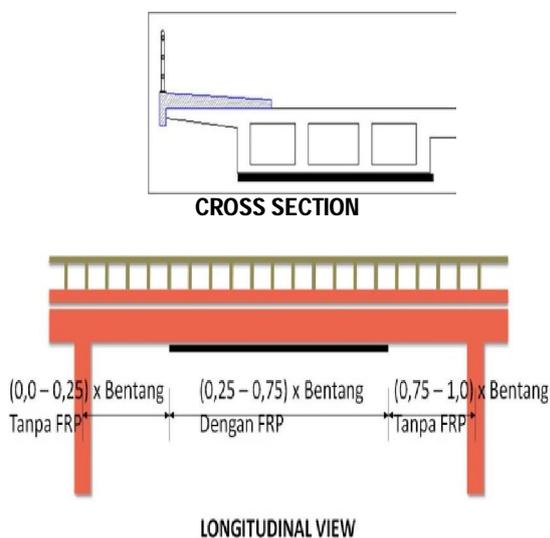
6.6 Analisa Kekuatan Lentur Pilar Dengan Perkuatan Serat e-glass

Dengan memperhatikan rentang data hasil uji hammer bahwa pilar mempunyai mutu beton 42 – 56 MPa sedangkan mutu beton sebelum terekspos api adalah 58 MPa, maka terdapat penurunan kekuatan pilar sebesar: $(56 - 42)/58 \text{ MPa} = 24\%$. Sedangkan dalam analisa diperhitungan untuk penurunan kualitas beton sebesar 40%. Dengan demikian besaran gaya aksial yang semula 871 kN menjadi $=24\% (871 \text{ kN}) = 210,2 \text{ kN} < 457 \text{ kN}$. Dengan demikian pemasangan satu lapis serat e-glas memenuhi kebutuhan aksial pilar. Pilar memberikan kapasitas momen sebesar 1801,8 kN-m untuk memikul momen ultimate sebesar 2574,1 kN-m yang berarti diperlukan peningkatan kapasitas lentur sebesar 733 kN-m. Satu lapis FRP memberikan penambahan 422,8 kN-m dan untuk 2 lapis menghasilkan 772,4 kN-m. Untuk lentur gaya yang harus ditahan oleh FRP e-glass adalah $24\% (733 \text{ kN-m}) = 177 \text{ kN-m} < 422,764 \text{ kN-m}$ dan pemasangan satu lapis Mbrace Fiber GE 73/3400 dengan tebal 0,308 mm mencukupi kebutuhan gaya aksial dan lentur.

7. METODA APLIKASI FIBER REINFORCED POLIMER

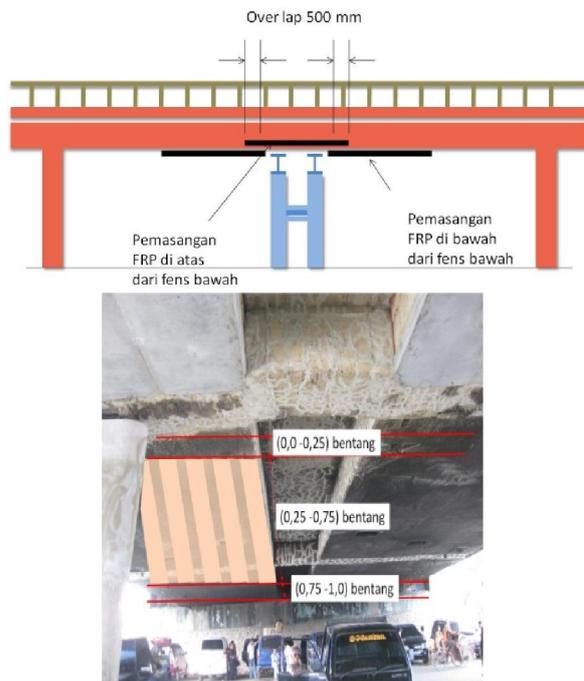
a. Pemasangan Perkuatan Box Girder

Satu lapis Tipe MBrace Fibre CF 230/4900 dipasang pada box girder untuk bagian momen positif yaitu jarak $(0,25-0,75)$ bentang dari jarak pilar-ke-pilar. Pada bagian *web box girder* tidak perlu dilakukan pemasangan, jadi cukup pada bagian bawah dari flens bawah, Gambar 10.



Gambar 10. Pandangan dari Bawah Jembatan

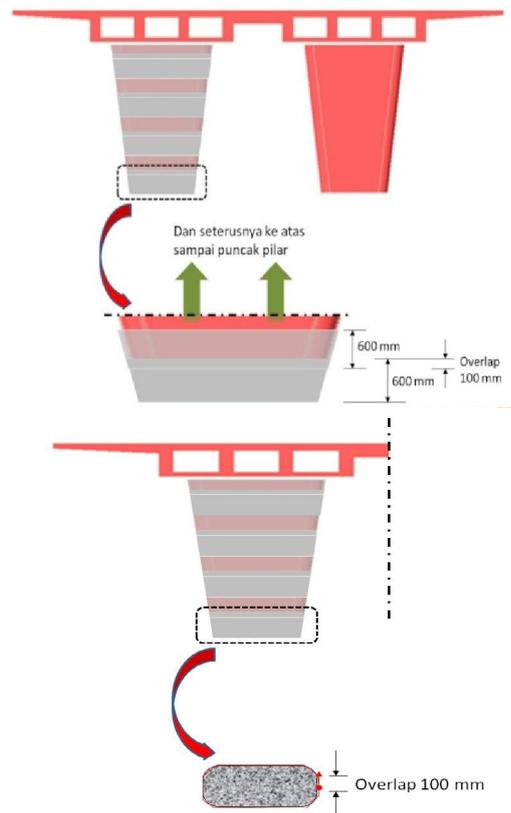
Pada segmen tertentu terdapat struktur penyangga IWF seperti pada Gambar 11 sehingga menyulitkan untuk pemasangan FRP. Untuk itu pelaksanaan pada bagian ini dapat dilakukan pada bagian atas dari flens bawah.



Gambar 11. Metoda Pemasangan FRP pada Girder

b. Pemasangan Perkuatan Pilar

Untuk pilar dilakukan pemasangan Tipe MBrace Fibre GE 73/3400 tebal 0,308 mm [2] satu lapis. Lapis pertama dipasang melingkar (*hoop-direction*) dengan overlap 100 mm dimulai dari bawah pilar ke arah atas, Gambar 12.



Gambar 12. Metoda Pemasangan FRP pada Pilar

8. KESIMPULAN

1. Kapasitas lentur balok jembatan Musi Ampera meningkat 20% dengan menggunakan FRP Tipe MBrace Fibre CF 230/4900 tebal 0,17 mm satu lapis.
2. Dengan dipasang FRP yang digunakan adalah Tipe MBrace Fibre GE 73/3400 tebal 0,308 mm FRP terjadi penambahan kapasitas lentur pilar sebesar 772,4 kN-m atau 43% satu lapis.
3. Material untuk perkuatan yang untuk mereparasi jembatan menggunakan 90% material dasar (raw material) 90% dari dalam negeri dan sisanya dari luar negeri. Teknologi material di Indonesia harus dapat diarahkan untuk memberikan solusi semacam ini, sehingga dapat diperoleh biaya lebih murah.

9. DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 440.2R-02, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures , ACI Committee 440.
2. BASF. 2010. Mbrace Fibre, Brosur BASF The Chemical Company.
3. BMS. 1992. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Design Code), BMS (Bridge Management System) 1992, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum 1992.
4. Lin_T_D, Zwiers_R_I, Burg_R_G, Lie_T_T, McGrath_R_J. 1992. Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns, Research and Development Bullentin RD101B, Portland Cement Association.
5. Newman_J. and Choo_B_S (ed.). 2003. Advanced Concrete Technology – Concrete Properties, Elsevier, New York.
6. RSNI T-02-2005, Standar Perencanaan Pembebanan Untuk Jembatan
7. SNI T-12-2004, Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.