

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian Studi Analisis Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* sebagai Pengganti Sebagian Tulangan Prategang pada Jembatan *Balanced Cantilever* adalah sebagai berikut:

1. Variasi pemasangan CFRP yang dapat menggantikan tulangan prategang adalah variasi 2c dan 2d. Variasi 2a dan 2b tidak dapat menggantikan tulangan prategang dikarenakan luas penampang CFRP,  $A_f$  yang tidak cukup. Hal ini dikarenakan luas penampang CFRP,  $A_f$  merupakan variabel yang mempengaruhi tegangan pada penampang *box girder*. Namun, karena penggunaan variasi 2d cukup boros, maka alternatif terbaiknya adalah dengan pemasangan CFRP variasi 2c.
2. Variasi pemasangan CFRP 2c dan 2d dapat mengurangi penggunaan tulangan prategang sebanyak 48 *strand* dari jumlah total 408 *strand*, atau sebanyak 11.75% dari total *strand* yang digunakan.
3. Jumlah *strand* yang dibutuhkan bergantung pada kondisi masa layan. Hal ini dikarenakan pada masa konstruksi belum mengakomodasi beban hidup, beban temperatur, efek rangkai dan susut *secondary* akibat perubahan struktur dari sistem kantilever menjadi sistem menerus tak tentu.
4. Penambahan lapis CFRP akan menyebabkan terjadinya pengurangan momen nominal penampang akibat bergesernya garis netral yang semakin jauh dari tepi tekan penampang, dan juga batasan-batasan yang disyaratkan oleh ACI 440.2R-17 seperti regangan efektif dan faktor reduksi kekuatan lentur sebagai pencegahan terjadinya kegagalan *debonding* akibat keretakan dan menjaga daktilitas penampang. Hal ini menyebabkan semakin menurunnya momen nominal penampang, sehingga penambahan lapis CFRP tidak berdampak signifikan pada struktur *box girder* jembatan.

## 5.2 Saran

Saran yang diperoleh dari penelitian Studi Analisis Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* sebagai Pengganti Sebagian Tulangan Prategang pada Jembatan *Balanced Cantilever* adalah sebagai berikut:

1. Karena penambahan lapis CFRP akan mengurangi momen nominal penampang, maka disarankan hanya melakukan pelebaran dimensi CFRP yang digunakan. Walaupun garis netral tetap akan bergeser jika dimensi CFRP diperlebar, pergeserannya tidaklah signifikan, selain itu, faktor reduksi kekuatan lentur tidak berubah signifikan, terlebih lagi, batasan ACI 440.2R-17 untuk regangan efektif CFRP tidak bergantung terhadap lebar FRP yang digunakan.
2. Jika ternyata pada kasus lainnya didapatkan bahwa penambahan lapisan CFRP masih dapat memberikan peningkatan kekuatan lentur yang signifikan, disarankan agar jumlah lapis CFRP yang digunakan tidak lebih dari 3 lapis, hal ini berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh Sumargo pada jurnal penelitian yang berjudul “Kapasitas Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Berlapis Banyak Terhadap Perkuatan Lentur Struktur Balok Beton Bertulang”, menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan CFRP lebih dari 3 lapis akan mengurangi kekuatan struktur.
3. Berdasarkan *ACI 440.2R-17*, proses pemasangan, penyambungan, dan pelapisan CFRP harus mengikuti standar yang diberikan oleh pabrik dan dilakukan oleh tenaga ahli yang handal. Hal ini patut dilakukan untuk mencegah terjadinya *debonding*, penurunan kekuatan/mutu FRP yang tidak sesuai dengan desain, dan kesalahan-kesalahan pemasangan lainnya yang dapat berakibat fatal.
4. Dapat digunakan angkur (*anchor*) berupa *mechanical fastener* ataupun *steel plates* untuk meningkatkan kapasitas dari penggunaan FRP dan juga mencegah kegagalan FRP seperti *debonding* dan *peeling* yang diakibatkan oleh instalasi FRP di lapangan yang tidak tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO-PCI-ASBI. (1997). *Segmental Box Girder Standards for Span-by-span and Balanced Cantilever Construction*.
- ACI 440.2R-17. (2018). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. Michigan: American Concrete Institute.
- Allen, Douglas G., (2011). *Evaluating the Long-Term Durability of Fiber Reinforced Polymers via Field Assessments of Reinforced Concrete Structures*. Fort Collins: Colorado State University.
- Christiawan, Ignatius. *Perkuatan (Strengthening) Struktur Beton dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Chynoweth, Matthew. (2019). *Carbon Fiber-Reinforced Polymer Systems for Concrete Structures*. Michigan: Michigan Department of Transportation Bureau of Bridges and Structures.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. No. 007/BM/2009. (2009). *Geometri Jalan Bebas Hambatan untuk Jalan Tol*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Haider, Muhammad., Batikha, Mustafa., Elhag, Taha. (2018). *Precast versus Cast in-situ in The Construction of Post-Tensioned Box-Girder Bridges: Span Effect*.
- Harries, Kent A., Kasan, Jarret. (2009). *Repair Method for Prestressed Girder Bridges*. Harrisburg: The Pennsylvania Department of Transportation Bureau of Planning and Research.
- Hoffard, T.A., Malvar, L.J. (2005). *Fiber-Reinforced Polymer Composites in Bridges – A State-of-the-Art Report*. California: Naval Facilities Engineering Command.

- Kosim, Willy., Supartono, F.X. (2020). *Analisis Jembatan Beton Prategang Box Girder dengan Metode Balanced Cantilever*. Jakarta: Universitas Tarumanegara.
- Lucko, Gunnar., Garza, J. (2003). *Constructability Considerations for Balanced Cantilever Constructions*.
- Masuelli, Martin A. (2013). *Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes*.
- Mottram, Toby J., Henderson, James. (2018). *Fiber-Reinforced Polymer Bridges – Guidance for Designers*. London: CIRIA.
- PCI Bridge Committee. (1975). *Tentative Design and Construction Specifications for Precast Segmental Box Girder Bridges*. New York: PCI Bridge Committee.
- Pimanmas, Amorn. *Analysis and Design of Balanced Cantilever Prestressed Box Girder Bridge Considering Constructions Stages and Creep Redistribution*. Sirindhorn: Thammasat University.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Purwono, Tavió., Rosyidah, A. *Peningkatan Daya Dukung dan Daktilitas Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- RSNI T-12-2004. (2004). *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sauvageot, G. (2000). *Segmental Concrete Bridges*. Boca Raton: CRC Press.
- SNI 1725:2016. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2833:2016. (2016). *Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Sumargo., Ruslan, Ujang., Ghulam, Mirza R. *Kapasitas Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Berlapis Banyak terhadap Perkuatan Lentur Struktur Balok Beton Bertulang*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Sumargo., Siswanto. *Penanganan Jembatan Musi Ampera Pasca Kebakaran*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- US. Department of Transportation. (2013). *Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual*. Washington: Federal Highway Administration.
- US. Department of Transportation. (2015). *Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Superstructures*. Washington: Federal Highway Administration.
- US. Department of Transportation. (2016). *Post-Tensioned Box Girder Design Manual*. Washington: Federal Highway Administration.
- Tuakta, Chakrapan. (2004). *Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.



