

KINERJA JEMBATAN RANGKA BAJA YANG DIPERKUAT DENGAN GFRP (GLASS FIBER-REINFORCED POLYMER)

Suyadi¹⁾
Eddy Purwanto¹⁾
Ferry Taurus²⁾

Abstract

Analysis of the data in this study is focused on a comparison of the results of direct testing deflection field with SAP 2000 analysis and manual calculation of loading field and standard (RSNI T-02-2005) with a maximum deflection limit bridge.

Based on the results obtained by calculation of loading field: percentage reduction of deflection test results without the GFRP reinforcement compared to after given the GFRP reinforcement on direct testing field, SAP 2000 analysis, and manual calculation respectively, they are obtained 4.934 %, 0.7097%, and -0,6804 %. Based on the results of the calculation deflection of the loading standard: percentage reduction of deflection test results without the GFRP reinforcement compared to after given the GFRP reinforcement on SAP 2000 analysis and manual calculation respectively, they are obtained 2,0212 % and -0.17557 %. The Values of deflection are calculated still below 18.75 cm as deflection limit $L/240$.

Keywords: Deflection, GFRP Reinforcement, Noenebu Brigde.

Abstrak

Analisis data pada penelitian ini menitikberatkan pada perbandingan hasil defleksi antara pengujian langsung lapangan menggunakan *static loading test* dengan analisis SAP 2000 dan perhitungan manual terhadap pembebanan lapangan dan standar (RSNI T-02-2005) dengan batasan lendutan maksimum jembatan.

Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan lapangan diperoleh: persentase pengurangan hasil defleksi tanpa perkuatan GFRP dibandingkan dengan setelah diberikan perkuatan GFRP pada pengujian langsung lapangan, analisis SAP 2000, dan perhitungan manual secara berurutan yaitu 4,934 %, 0,7097 %, dan -0,6804 %. Berdasarkan hasil defleksi dari perhitungan pembebanan standar: persentase pengurangan hasil defleksi tanpa perkuatan GFRP dibandingkan dengan setelah diberikan perkuatan GFRP pada analisis SAP 2000 dan perhitungan manual secara berurutan yaitu 2,0212 % dan -0,17557 %. Nilai defleksi yang dihitung masih dibawah batas lendutan jembatan $L/240$ yaitu 18,75 cm.

Kata kunci: Defleksi, Perkuatan GFRP, Jembatan Noenebo.

¹Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung. Surel: adi_unila@yahoo.co.id

²Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan pembangunan yang semakin cepat di Indonesia memberikan kemajuan pada bahan dan rancangan struktur tersebut. Tetapi dengan terus berkembangnya teknologi bahan dan struktur dituntut juga pemeliharaan untuk mencegah kerusakan pada konstruksi tersebut. Kerusakan struktur tersebut banyak terjadi pada bangunan gedung, jembatan, dan lain-lain. Pada jembatan telah banyak diketahui bahwa pelat (*slab decks*) merupakan komponen struktur jembatan yang mengalami efek pembebanan secara langsung sehingga mudah mengalami kerusakan. Penyebabnya dapat dikarenakan oleh beberapa faktor diantaranya adalah penurunan kemampuan konstruksi selama pemakaian, *overloads*, amplifikasi beban dinamis akibat lemahnya pelat pendekat (*pour approach slabs*) dan lain – lain. Jembatan Noenebu yang terletak pada Kecamatan Kefamenanu Kabupaten Timur Tengah Utara (TTU) Provinsi Nusa Tenggara Timur, telah mengalami penurunan kekuatan dengan tanda-tanda kerusakan yaitu retak-retak pada pelat beton. Oleh karena itu, pihak pemerintah melakukan proses pemeliharaan jembatan dengan perkuatan pada pelat beton (Murdock dan Brook, 1999). Perkuatan pada Jembatan Noenebu menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Balaguru, Nanni and Giancaspro, 2009). *Fiber Reinforced Polymer* telah lama digunakan di negara-negara maju diantaranya di Amerika, Jepang, dan beberapa negara Eropa. Perkuatan ini telah diaplikasikan pada bangunan, jembatan, dan konstruksi-konstruksi pelabuhan maupun kilang minyak. Walaupun material ini cukup mahal, namun ada beberapa produk yang cukup terjangkau seperti *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan dari material GFRP yaitu beratnya ringan dibandingkan pelat baja, tahan terhadap korosi (*Corrosion Resistance*), tahan sinar UV (Ultra Violet), mudah dalam pelaksanaan sehingga tidak perlu menutup daerah/tempat pelaksanaan, dan lain-lain. Pada jembatan Noenebu dilakukan uji *Static Loading Test* sebelum diperkuat dan setelah diperkuat dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Dan telah mendapatkan data defleksi pada pelat jembatan.

Maksud dilaksanakannya penelitian adalah menganalisis kinerja jembatan rangka baja (Struyk dan Veen, 1990; Supriadi dan Muntohar, 2007) yang diperkuat *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) pada Jembatan Noenebu.

Tujuan dilaksanakannya penelitian adalah untuk membandingkan kinerja pelat lantai jembatan saat sebelum dan sesudah diperkuat dengan GFRP dan menganalisis kemampuan dan kinerja jembatan dengan *Static Loading Test*.

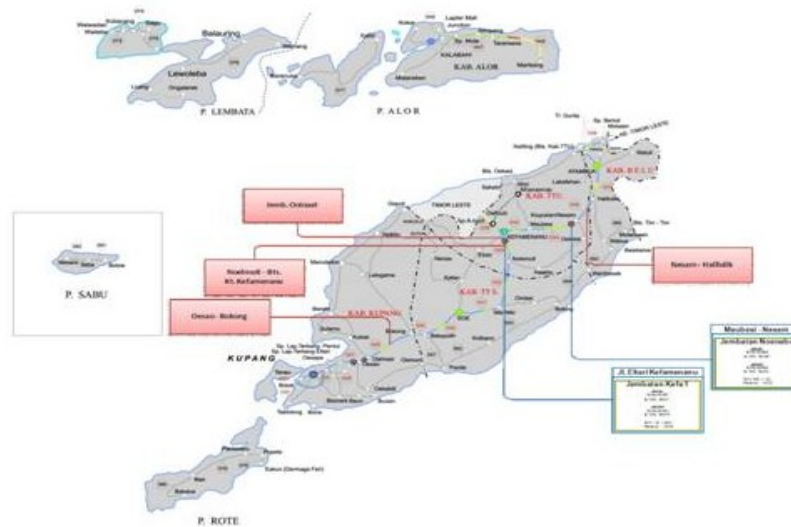
2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

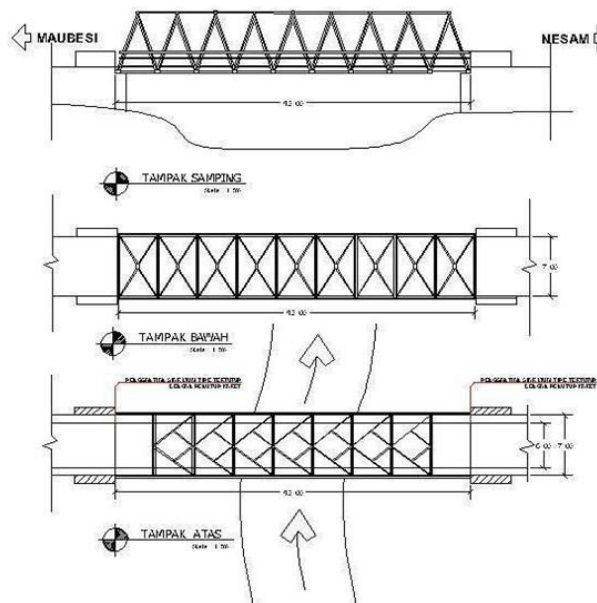
Lokasi penelitian dilakukan pada Jembatan Noenebu yang terletak pada Kecamatan Kefamenanu Kabupaten Timur Tengah Utara (TTU) Provinsi Nusa Tenggara Timur, dengan bujur -9,354223° dan lintang 124,675484° seperti pada Gambar 2 dan model jembatan Noenebu seperti Gambar 3.

Pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari :

- 1) Pengumpulan Data Primer
Data primer diperoleh dari hasil pengujian langsung lapangan dengan *Static Loading Test* menggunakan *Dial Gauge*, kondisi eksisting Jembatan.
- 2) Pengumpulan Data Sekunder
Data sekunder diperoleh dari hasil penelitian dan data kajian pada jurnal, serta studi literatur yang berhubungan dengan penelitian.



Gambar 2. Lokasi Jembatan Noenebu.

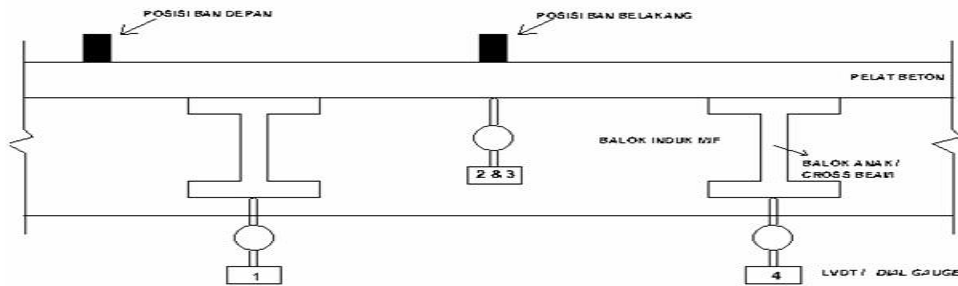


Gambar 3. Model Jembatan Noenebu.

Analisis data pada penelitian ini lebih menitikberatkan pada menganalisis dan membandingkan hasil pengujian langsung lapangan dengan metode numerik SAP 2000. Adapun analisis data yang akan dilakukan pada kajian ini adalah :

➤ Analisis Metode Pengujian Langsung Lapangan

Analisis metode pengujian langsung lapangan dimaksudkan untuk merumuskan kondisi eksisting lokasi dan menentukan besar defleksi akibat pengaruh pembebanan sebelum dan sesudah diperkuat dengan GFRP. Dengan penempatan *Dial gauge* yaitu Dial 2 dan 3 pada pelat tengah jembatan, serta defleksi 2 gelagar tengah jembatan bagian kiri yaitu dial 1 dan bagian kanan yaitu dial 4 seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pemasangan Dial Gauge pada jembatan.

➤ Analisis Metode Numerik

Analisis metode numerik dengan SAP 2000 dan perhitungan manual digunakan untuk memperoleh besar defleksi akibat pengaruh pembebanan lapangan dan berdasarkan RSNI T-02-2005 tentang pembebanan untuk jembatan.

Analisis hasil dari penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan secara langsung hasil defleksi dari sebelum dan sesudah penggunaan GFRP pada pelat beton bertulang jembatan menggunakan metode pengujian langsung dan metode numerik SAP 2000 serta perhitungan manual, kemudian menganalisisnya. Beberapa konsep penyediaan data-data yang diperoleh untuk kepentingan kajian ini disajikan dalam beberapa bentuk, yaitu :

1. Tabel; digunakan untuk menunjukkan data-data yang bersifat tabular dan terdiri dari banyak data dimasukkan ke dalam format sederhana.
2. Gambar; digunakan untuk menunjukkan kondisi atau sebuah hasil analisis dalam bentuk visual sehingga mudah dimengerti.
3. Grafik; digunakan untuk menunjukkan kondisi atau sebuah hasil analisis dalam bentuk visual dengan dilengkapi angka-angka perolehan sehingga mudah memperoleh informasi data.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Langsung Lapangan

Hasil dari pengujian lapangan lapangan dengan metode *static loading test* didapatkan defleksi pelat beton pada tengah jembatan tanpa GFRP dan dengan GFRP pada dial 2 dan 3, serta defleksi 2 gelagar tengah jembatan bagian kiri dial 1 dan bagian kanan dial 4, adapun hasil defleksi disajikan pada Tabel 1 dan 2 dibawah ini:

Tabel 1. Hasil defleksi pelat beton tanpa GFRP.

No.	Beban Isi Penuh Truk	Defleksi			
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1.	-Pengujian	7,01	7,86	7,95	7,14

Tabel 2. Hasil defleksi pelat beton dengan GFRP.

No.	Beban Isi Penuh Truk	Defleksi			
		Dial 1	Dial 2	Dial 3	Dial 4
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1.	-Pengujian	5,95	7,44	7,59	6,35

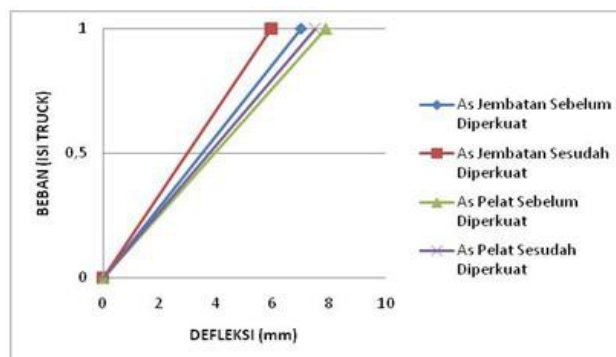
Defleksi pada pelat tengah jembatan secara parsial didapatkan dengan mengasumsi bahwa roda bekerja pada pelat dan gelagar jembatan diasumsi kaku, dan disajikan pada Tabel 3. Perbandingan beban isi penuh truk antara as jembatan sebelum dan sesudah diperkuat dengan GFRP pada dial 1 adalah 17,82 %. Sedangkan untuk perbandingan beban isi penuh truk antara as pelat jembatan sebelum diperkuat dengan GFRP digunakan rata-rata nilai defleksi dial 2 dan 3 sebesar 7,905 mm dan sesudah diperkuat dengan GFRP digunakan rata-rata nilai defleksi dial 2 dan 3 sebesar 7,515 mm, kemudian didapatkan perbandingannya sebesar 5,19 % seperti yang pada Tabel 4 dan dibuat dalam grafik pada Gambar 5.

Tabel 3. Defleksi pengujian langsung lapangan pada pelat tengah jembatan.

Pengujian langsung lapangan	Defleksi (mm)
	Pelat di tengah jembatan
Pelat Tanpa GFRP	0,83
Pelat dengan GFRP	1,365

Tabel 4. Defleksi pengujian langsung lapangan pada pelat tengah jembatan.

Beban (Isi PenuhTruk)	Defleksi (mm)	% penurunan	Keterangan
As Jembatan Sebelum Diperkuat	7,01		(Dial 1)
As Jembatan Sesudah Diperkuat	5,95	15,1213	(Dial 1)
As Pelat Sebelum Diperkuat	7,905		(Rata-rata Dial 2&3)
As Pelat Sesudah Diperkuat	7,515	4,934	(Rata-rata Dial 2&3)



Gambar 5. Grafik hubungan pembebanan dengan defleksi.

Dari hasil pengujian langsung lapangan tersebut terlihat bahwa nilai defleksi jembatan terhadap beban kendaraan secara keseluruhan mengalami defleksi yang lebih rendah setelah diperkuat dengan GFRP dibandingkan dengan sebelum diperkuat dengan GFRP. Tetapi defleksi pelat tengah jembatan secara parsial mengalami peningkatan, dikarenakan GFRP memberikan kontribusi pada pelat dan gelagar dalam jembatan.

3.2. Analisis Program SAP 2000

Hasil dari analisis program SAP 2000 dengan model 3 dimensi tanpa dan dengan GFRP pada Tabel 4. Pelat tanpa GFRP pada setiap letak dial menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan pelat dengan GFRP dan periode alami yang dihasilkan sebagai pendekatan model jembatan adalah 0,357 detik.

Tabel 4. Defleksi program SAP 2000 tanpa dan dengan GFRP.

Program SAP 2000	Defleksi (mm)			Periode Alami (detik)
	Dial 1	Dial 2	Dial 4	
Pelat tanpa GFRP	6,1186	6,172	6,0372	0,357
Pelat dengan GFRP	6,0187	6,1282	5,9365	

Perbandingan defleksi beban isi penuh truk antara as pelat jembatan sebelum diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi dial 2 sebesar 6,172 mm dan sesudah diperkuat dengan GFRP digunakan defleksi dial 2 sebesar 6,1282 mm, kemudian didapatkan persentase perbandingannya sebesar 0,7097 %.

Defleksi pada pelat tengah jembatan secara parsial didapatkan dengan mengasumsi bahwa roda bekerja pada pelat dan gelagar jembatan diasumsi kaku, dan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Defleksi program SAP 2000 tanpa dan dengan GFRP.

Program SAP 2000	Defleksi (mm)	Periode Alami (detik)
	Pelat di tengah jembatan	
Pelat Tanpa GFRP	0,0941	0,357
Pelat dengan GFRP	0,1506	

Dari hasil pendekatan analisis SAP 2000 tersebut terlihat bahwa nilai defleksi jembatan terhadap beban kendaraan secara keseluruhan mengalami defleksi yang lebih rendah setelah diperkuat dengan GFRP dibandingkan dengan sebelum diperkuat dengan GFRP dan nilai tersebut mendekati nilai defleksi pada pengujian langsung lapangan. Tetapi defleksi pelat tengah jembatan secara parsial mengalami peningkatan, dikarenakan GFRP memberikan kontribusi pada pelat dan gelagar dalam jembatan.

3.3. Perhitungan Manual

Hasil dari pendekatan perhitungan manual didapatkan defleksi pelat beton pada tengah jembatan. Hasil dari perhitungan manual dengan model 2 dimensi tanpa dan dengan GFRP pada Tabel 6. Pelat tanpa GFRP pada setiap letak dial menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan pelat dengan GFRP dan periode alami yang dihasilkan sebagai pendekatan model jembatan adalah 0,289 detik.

Tabel 6. Defleksi perhitungan manual tanpa dan dengan GFRP.

Analisis Manual	Defleksi (mm)			Periode Alami (detik)
	Dial 1	Dial 2	Dial 4	
Pelat Tanpa GFRP	4,649	7,34155	4,7541	0,289
Pelat dengan GFRP	4,6883	7,3915	4,7947	

Perbandingan defleksi beban isi penuh truk antara as pelat jembatan sebelum diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi dial 2 sebesar 7,34155 mm dan sesudah diperkuat dengan GFRP digunakan defleksi dial 2 sebesar 7,3915 mm, kemudian didapatkan persentase perbandingannya sebesar -0,6804 %.

Defleksi pada pelat tengah jembatan secara parsial analisis manual didapatkan dengan mengasumsi bahwa roda bekerja pada pelat dan gelagar jembatan diasumsi kaku, dan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Defleksi perhitungan manual pada pelat tengah jembatan.

Analisis Manual	Defleksi (mm)	Periode Alami
	Pelat di tengah jembatan	(detik)
Pelat tanpa GFRP	2,64	0,289
Pelat dengan GFRP	2,65	

Dari hasil pendekatan perhitungan manual tersebut terlihat bahwa nilai defleksi jembatan terhadap beban kendaraan secara keseluruhan mengalami defleksi yang lebih besar setelah diperkuat dengan GFRP dibandingkan dengan sebelum diperkuat dengan GFRP dan nilai tersebut mendekati nilai defleksi pada pengujian langsung lapangan. Hal ini dikarenakan GFRP menjadi beban yang membebani pelat jembatan.

3.4. Pembebanan Standar berdasarkan RSNI T-02-2005.

Hasil dari program SAP 2000 yang didapatkan dengan menggunakan pembebanan standar berdasarkan RSNI T-02-2005 pada tengah pelat dan gelagar tengah jembatan bagian kiri dan bagian kanan ditabelkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Defleksi program SAP 2000 tanpa dan dengan GFRP pembebanan standar.

Program SAP 2000	Defleksi (cm)		
	tengah gelagar kiri	tengah pelat jembatan	tengah gelagar kanan
Pelat Tanpa GFRP	7,0535	7,5203	7,0482
Pelat dengan GFRP	6,878	7,3683	6,8681

Perbandingan defleksi beban isi penuh truk antara tengah pelat jembatan sebelum diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi sebesar 7,5203 cm dan sesudah diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi sebesar 7,3683 cm, kemudian didapatkan persentase perbandingannya sebesar 2,0212 %.

Defleksi pada pelat tengah jembatan secara parsial dari hasil defleksi SAP 2000 didapatkan dengan mengasumsi bahwa roda bekerja pada pelat dan gelagar jembatan diasumsi kaku, dan disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Defleksi program SAP 2000 pada pelat tengah jembatan pembebanan standar.

Program SAP 2000	DEFLEKSI (cm)
	Pelat di tengah jembatan
Pelat Tanpa GFRP	0,47077
Pelat dengan GFRP	0,49525

Dari hasil pendekatan analisis SAP 2000 tersebut terlihat bahwa nilai defleksi jembatan terhadap beban kendaraan secara keseluruhan mengalami defleksi yang lebih rendah sete-

lah diperkuat dengan GFRP dibandingkan dengan sebelum diperkuat dengan GFRP. Tetapi defleksi pelat tengah jembatan secara parsial mengalami peningkatan dikarenakan GFRP memberikan kontribusi pada pelat dan gelagar dalam jembatan.

Hasil dari perhitungan manual yang didapatkan dengan menggunakan pembebanan standar berdasarkan RSNI T-02-2005 pada tengah pelat dan gelagar tengah jembatan ditabelkan dalam Tabel 10.

Perbandingan defleksi beban isi penuh truk antara tengah pelat jembatan sebelum diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi sebesar 7,974 cm dan sesudah diperkuat dengan GFRP digunakan nilai defleksi sebesar 7,988 cm, kemudian didapatkan persentase perbandingannya sebesar -0,17557 %.

Tabel 10. Defleksi perhitungan manual tanpa dan dengan GFRP pembebanan standar.

Perhitungan manual	Defleksi (cm)		
	tengah gelagar kiri	tengah pelat jembatan	tengah gelagar kanan
Pelat Tanpa GFRP	5,7866	7,97400	5,8524
Pelat dengan GFRP	5,8589	7,98800	5,8781

Defleksi pada pelat tengah jembatan secara parsial perhitungan manual didapatkan dengan mengasumsi bahwa roda bekerja pada pelat dan gelagar jembatan diasumsi kaku, dan disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Defleksi perhitungan manual pada pelat tengah jembatan pembebanan standar.

Perhitungan manual	Defleksi(cm)
	Pelat di tengah jembatan
Pelat Tanpa GFRP	2,13000
Pelat dengan GFRP	2,13400

Dari hasil analisis pembebanan standar dengan menggunakan analisis SAP 2000 dan analisis manual didapatkan hasil yang lebih rendah dari batas lendutan maksimum jembatan yaitu $L/240$ sebesar 18,75 cm. Hal ini menandakan bahwa lendutan jembatan yang terjadi masih aman dari batas lendutan.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. Penggunaan GFRP pada pelat beton jembatan memberikan peningkatan kekuatan penampang dan mengurangi defleksi yang terjadi. Hal ini disebabkan GFRP dan beton menjadi bahan komposit yang memiliki modulus tarik dan elastisitas yang cukup besar.
2. Kinerja pelat beton jembatan sebelum diberikan perkuatan GFRP diperoleh hasil defleksi sebesar 7,905 mm dan setelah diberikan perkuatan GFRP diperoleh hasil defleksi sebesar 7,515 mm, serta persentase penurunan yang terjadi sebesar 4,934 %. Hal ini dapat dikarenakan adanya kontribusi perkuatan GFRP dalam menahan beban tegangan tarik pada penampang pada saat pengujian *static loading test*.
3. Nilai defleksi yang didapat dari perhitungan analisis SAP 2000 dengan perkuatan GFRP pada pembebanan standar maupun pembebanan yang terjadi di lapangan lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil analisis SAP 2000 tanpa perkuatan GFRP.

4. Hasil dari perhitungan perhitungan manual dengan memodelkan jembatan sebagai rangka batang 2 dimensi dengan perkuatan GFRP diperoleh hasil lebih besar daripada tanpa perkuatan GFRP karena GFRP menjadi beban atau massa tambahan yang terjadi.
5. Lendutan atau defleksi yang terjadi akibat pembebanan lapangan dan pembebanan standar masih lebih rendah daripada nilai batas lendutan maksimum, sehingga jembatan masih aman untuk digunakan.
6. Dalam menganalisis jembatan dengan perhitungan manual didapatkan bahwa rangka batang dengan gelagar memanjang dan melintang merupakan satu kesatuan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Balaguru, P., A. Nanni and J. Giancaspro, 2009, *FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*, published in the UK by Taylor & Francis.
- Katili, I., 2008, *Metode Elemen Hingga untuk Skeletal*, Rajawali Press, Jakarta.
- Murdock, L. J., dan Brook K. M., 1999, *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi kelima, Penerbit Erlangga, Bandung.
- Supriyadi, B. dan Muntohar, A. S., 2007, *Jembatan*, Edisi pertama, Penerbit: Beta Offset
- Struyk, H. J. and Van Der Veen, 1990, *Jembatan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

