

EVALUASI PENYEBAB KEGAGALAN DAN PERBAIKAN STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA DENGAN BENTANG 54 m

EVALUATION OF THE CAUSES OF FAILURE AND REPAIR OF 54 M SPAN TRUSS BRIDGE STRUCTURE

Tri Handayani

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur – BPPT
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 220 Serpong, Tangerang 15314
e-mail : tri_handayani77@yahoo.com

Tanggal masuk naskah : 04/02/2013 ; Tanggal revisi : 21/03/2013 ; Tanggal persetujuan cetak : 08/04/2013

Abstrak

Pada makalah ini disajikan evaluasi dan perbaikan dari kasus kegagalan sebuah jembatan. Metode yang digunakan adalah evaluasi jembatan secara analitis yang terdiri dari pemeriksaan secara visual di lapangan, pengukuran dimensi jembatan dan pengujian mutu bahan baja. Data tersebut sebagai input dalam pemodelan struktur dengan SAP 2000 dan diperoleh kuat perlu (R_u) masing-masing batang. Perhitungan juga dilakukan terhadap kuat rencana (ϕR_n) baik batang maupun sambungan. Komponen jembatan dikatakan aman jika kuat rencana lebih besar atau sama dengan kuat perlu atau $\phi R_n \geq R_u$. Kemudian dilakukan penentuan kegagalan jembatan serta metode perbaikannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua batang dan sambungan aman sehingga penyebab kegagalan jembatan bukan karena kekuatan batang maupun sambungannya melainkan faktor pelaksanaan di lapangan yang tidak tepat yaitu kombinasi antara adanya lubang baut yang besar dan pengencangan baut yang belum mencapai gaya tarik minimumnya. Metode perbaikan jembatan yang diusulkan adalah dengan memberi dua buah pelat penguat yang dilas pada ujung batang dan dilubangi sesuai dengan posisi lubang baut yang ada agar tidak terjadi pergeseran baut.

Kata kunci : kegagalan jembatan, evaluasi jembatan, kuat perlu, kuat rencana, , metode perbaikan

Abstract

In this paper the evaluation and repair of a bridge failure are presented. The method is of analytical bridge evaluation, which consists of in-situ visual inspection, measurement of the bridge dimensions and quality test of the steel material. The data were used as input in structure modeling using SAP 2000 in order to calculate the required strength (R_u) of each structural members. Calculation were done to obtain the design strength (ϕR_n) of structural members and connections. The bridge components are in a safe condition if its design strength is greater than or equal to the required strength or $\phi R_n \geq R_u$. If not, the bridge is categorized as failed and then a repair method and strengthening shall be performed. The result showed that all of structural members and connections are in a safe condition. Bridge failure is caused by such factors as less precise execution in the field, combination of a large bolt holes and tightening bolts that have not reached the minimum tensile strength. The proposed bridge repair method is to provide two pieces of plates. The plates were welded at the end of the rod and drilled at the position of the existing bolt holes in order to avoid the bolt shifting.

Keywords : bridge failure, bridge evaluation, required strength, design strength, , repaired method

1. PENDAHULUAN

Kerusakan komponen struktur dapat terjadi selama masa konstruksi maupun setelah selesai masa konstruksi atau selama masa layan struktur, hal ini bisa terjadi antara lain karena beberapa faktor diantaranya adalah beban berlebihan (*overloading*), perencanaan yang tidak baik, penggunaan material yang tidak sesuai dengan persyaratan, kesalahan dalam pelaksanaan pekerjaan dan faktor lingkungan yang belum diantisipasi sebelumnya [1].

Latar belakang penelitian ini adalah telah terjadi kegagalan jembatan berupa lendutan yang besar pada saat dilakukan uji beban dalam rangka untuk memastikan kekuatannya. Beban yang diberikan sama dengan beban yang akan diterima oleh jembatan di lapangan. Sebelum uji beban, penyangga bawah dilepas satu persatu mulai dari ujung menuju ke tengah kecuali penyangga di posisi tumpuan, telah terjadi lendutan yang cukup besar yaitu 42,5 cm dan jika ditambah dengan penerapan chamber 25 cm lendutannya menjadi 67,5 cm. Lendutan 67,5 cm sudah melebihi batas lendutan yang diijinkan, yaitu $L/360$ atau 15 cm. Syarat ijin ini sesuai dengan SNI 03 1729 2002 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan.

Disamping lendutan juga harus diperhitungkan kekuatannya dalam hal ini adalah kekuatan masing-masing batang, karena dimungkinkan terjadi *overstress* mengingat lendutan yang terjadi cukup besar. Selain kekuatan batang perlu juga dicek sambungannya yang meliputi baut dan pelat buhul. Perlu dicek juga metode pelaksanaan perakitan jembatan karena metode yang tidak tepat juga bisa menyebabkan kegagalan jembatan.

Pada jembatan dengan struktur rangka baja, bagian yang paling mempunyai risiko tinggi adalah masalah sambungan [2]. SNI 03 1729 2002 telah mengatur mengenai sambungan termasuk sambungan jenis baut. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada sambungan baut diantaranya adalah posisi penempatan baut yang meliputi jarak antar baut, jarak tepi minimum baut maupun jarak tepi maksimum baut. Jarak tepi minimum baut disajikan pada Tabel 1. Jarak antar baut tidak boleh melebihi $15t_p$ (t_p adalah tebal pelat tertipis sambungan) atau 200 mm. Jarak tepi maksimum tidak boleh lebih dari $12 t_p$ atau 150 mm.

Tabel 1. Jarak tepi minimum

Cara Pengerjaan	Jarak Min
Tepi dipotong tangan	$1,75d_b$
Tepi dipotong mesin	$1,50d_b$
Tepi profil bukan hasil potongan	$1,25d_b$

Struktur atau komponen struktur dikatakan masih memenuhi persyaratan kekuatan jika kuat perlu masih lebih kecil atau maksimal sama dengan kuat rencana struktur, yang dihitung berdasarkan beban-beban rencana yang akan bekerja (beban mati, hidup, angin, gempa, beban khusus), atau dituliskan sesuai Persamaan 1 [2].

$$\text{Kuat perlu} \leq \text{Kuat rencana} \quad (1)$$

$$R_u \leq \phi R_n$$

Dimana R_n adalah kuat rencana, R_u adalah kuat perlu atau gaya dalam akibat beban kerja (momen, gaya aksial, gaya geser, torsi) dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan. Struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut di bawah ini. Kombinasi pembebanan dipakai pada *input software SAP 2000*.

$$1,4D \quad (2)$$

$$1,2D+1,6L+0,5(La \text{ atau } H) \quad (3)$$

$$1,2D+1,6(La \text{ atau } H)+(\gamma L \text{ atau } 0,8W) \quad (4)$$

$$1,2D+1,3W+\gamma L+0,5(La \text{ atau } H) \quad (5)$$

$$1,2D+1,0E+\gamma L \quad (6)$$

$$0,9D-(1,3W \text{ atau } 1,0E) \quad (7)$$

Dimana D adalah beban mati, L adalah beban hidup, W adalah beban angin, E adalah beban gempa, H adalah beban hujan, La adalah beban lateral lainnya. Batas-batas lendutan maksimum struktur harus sesuai dengan SNI 03 1729 2002 seperti disajikan pada Tabel 2 [2].

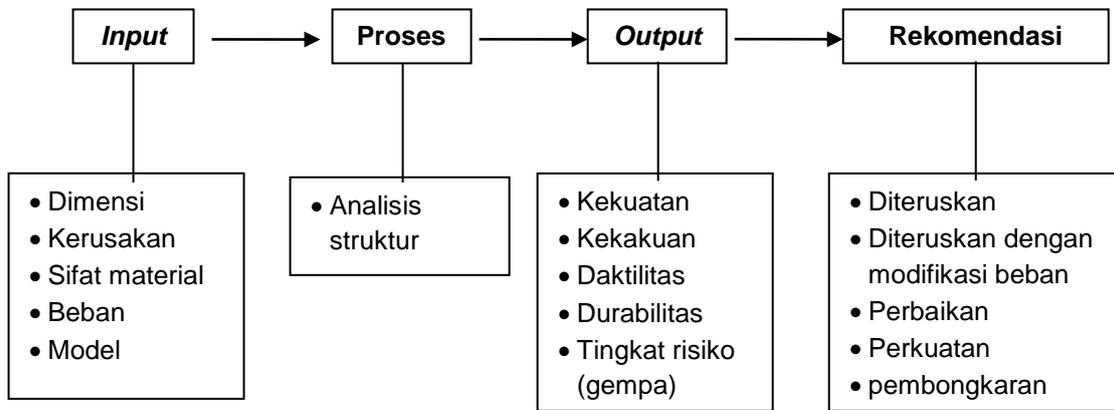
Tabel 2. Batas-batas lendutan maksimum

Komponen struktur dengan beban tidak berfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

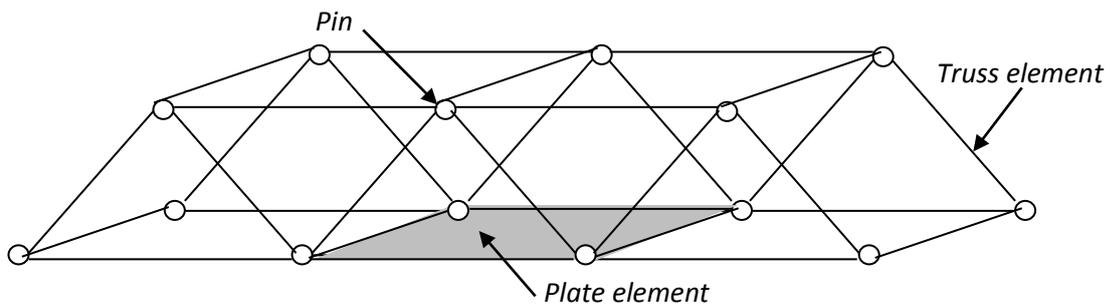
Langkah-langkah evaluasi kekuatan struktur eksisting dengan cara analitis secara umum disajikan dalam bagan seperti tertera pada Gambar 1 [3].

Dalam rangka analisis struktur perlu dilakukan penyederhanaan pemodelan struktur jembatan. Dalam pemodelan sering diberlakukan asumsi-asumsi agar permasalahan mudah diselesaikan namun tetap tidak terlalu jauh dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Jembatan rangka baja dapat dimodelkan dengan elemen *truss* seperti disajikan pada Gambar 2, dengan asumsi pada titik buhul (*joint*) sebagai hubungan sendi (*pin*). Sistem struktur dapat dimodelkan secara 2 atau 3

dimensional. Pemodelan rangka baja umumnya diasumsikan sebagai *truss element*, sedangkan lantai pada rangka baja diasumsikan sebagai *plate bending element*. Gelagar-gelagar pendukung pelat lantai yaitu *stringer* (arah memanjang) dan *cross beam* (arah melintang) digunakan *beam element (frame element)*. Tumpuan pada rangka baja diasumsikan sebagai sendi-rol. Apabila menggunakan *rubber bearing* maka bisa diasumsikan sendi-rol. Jika ingin lebih detail maka tumpuan dengan *rubber bearing* dapat dihitung sebagai tumpuan *spring* dengan nilai *k* sesuai dengan spesifikasi dari *rubber bearing* tersebut [4].



Gambar 1 : Langkah-langkah evaluasi kekuatan dengan cara analitis



Gambar 2 : Elemen pada pemodelan rangka jembatan baja

Pemodelan struktur harus memperhitungkan beberapa pembebanan yaitu beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Beban mati adalah berat sendiri jembatan ditambah dengan beban pipa yang berisi air dengan asumsi penuh. Beban hidup berasal dari beban pekerja yang melaksanakan jembatan dan perawatan jembatan. Beban gempa menggunakan peta gempa Indonesia terbaru 2010. Beban angin sesuai dengan

RSNI T 02 2005 tentang Pembebanan untuk Jembatan disajikan pada Persamaan 8 [5].

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN]} \quad (8)$$

Dimana T_{EW} adalah gaya nominal akibat beban angin, C_w adalah koefisien seret, V_w adalah kecepatan angin dan A_b adalah luas equivalen bagian samping jembatan.

Jika besarnya koefisien seret C_w adalah 1,2, kecepatan angin V_w sebesar 25 m/dtk dan luas equivalen bagian samping jembatan A_b adalah 40,5 m², maka gaya nominal akibat beban angin sebesar :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b [kN]$$

$$= 0,0006 \times 1,2 \times 25^2 \times 40,5$$

$$= 18,225 \text{ kN}$$

2. BAHAN DAN METODA

2.1. Bahan

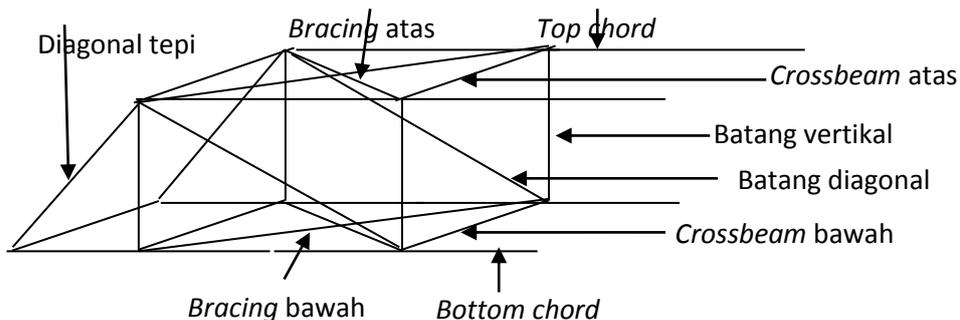
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah jembatan rangka baja yang terdiri dari profil doble siku dengan tiga macam ukuran dan profil kanal seperti tertera pada Tabel 3 dan Gambar 5 [6].

2.2. Metoda

Evaluasi jembatan dilakukan secara analitis yang meliputi kegiatan pengumpulan data baik data sekunder maupun data primer, analisis data hasil pengujian, pemodelan struktur, perhitungan kuat rencana batang dan sambungan, analisis kekuatan struktur dan penentuan metode perbaikan.

Tabel 3. Jenis profil pada bahan penelitian

Nama komponen	Jenis profil
Crossbeam atas	2L.150.150.12.12
Crossbeam bawah	2C.150.75.6,5.10
Top chord	2L.150.150.12.12
Bottom chord	2L.150.150.12.12
Batang vertikal	2L.75.75.6.6
Diagonal tepi	2L.150.150.12.12
Batang diagonal	2L.75.75.6.6
Bracing atas	2L.120.120.12.12
Bracing bawah	2L.120.120.12.12
Plat buhul	Pelat 10 mm, 12 mm
Baut	A 325Ø22



Gambar 5 : Komponen pada rangka jembatan baja

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ada dua kelompok yaitu peralatan untuk mengukur dimensi dan peralatan untuk mengetahui mutu bahan baja. Peralatan untuk mengukur dimensi terdiri dari meteran dan *caliper* (Gambar 3). Peralatan untuk mengetahui mutu bahan baja adalah *steel hardness tester* seperti disajikan pada Gambar 4.

Alat uji *hardness* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *dynapocket* yang sistem operasinya berdasarkan metode *rebound American Standard for Testing Material (ASTM A 956)*.



Gambar 3 : Caliper (jangka sorong)



Gambar 4 : Steel hardness tester

Uji *hardness* adalah menentukan besarnya kedalaman yang terjadi akibat tekanan dari penekan yang biasanya berupa intan atau bola baja yang keras terhadap benda uji. Dalamnya kerusakan benda uji ini digunakan untuk menentukan tahanan tariknya [1].

Pengujian *hardness* dilakukan terhadap semua jenis profil komponen jembatan. Profil 2L.150.150.12.12 dilakukan pengujian sebanyak 31 sampel dari komponen diagonal tepi, *top chord*, *bottom chord* dan *crossbeam* atas. Profil 2L.120.120.12.12 dilakukan pengujian sebanyak 12 sampel dari komponen *bracing* atas dan *bracing* bawah. Profil 2L.75.75.6.6 dilakukan pengujian sebanyak 22 sampel dari komponen batang tegak dan batang diagonal. Profil 2C.150.75.6.5.10 dilakukan pengujian sebanyak 13 sampel dari komponen *crossbeam* bawah. Pengujian *hardness* juga dilakukan terhadap pelat buhul sebanyak 21 sampel. Uji *hardness* terhadap baut dilakukan sebanyak 79 sampel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengukuran Dimensi

Hasil pengukuran dimensi profil siku dan kanal secara umum masih memenuhi toleransi 2 mm. Hasil pengukuran jarak antar baut, jarak tepi minimum dan jarak tepi maksimum baut disajikan pada Tabel 4. Ada lubang baut yang bentuknya bulat memanjang sehingga bagian tepi kurang dari 33 mm (jarak tepi minimum) yang berarti tidak sesuai persyaratan dan rawan terhadap sobek. Hasil pengukuran lubang baut bervariasi dari 23,03 mm sampai 25,45 mm sedangkan batas toleransi lubang baut adalah 2 mm sehingga ada lubang baut yang melebihi batas toleransi yaitu 24 mm.

3.2. Hasil Pengujian *Hardness*

Hasil pengujian *hardness* disajikan pada Tabel 5. Terdapat perbedaan hasil antara pengujian *hardness* dengan pengujian dari laboratorium, dimana hasil uji *hardness* lebih kecil dari uji laboratorium tetapi keduanya tetap lebih besar dari kuat tarik yang direncanakan yaitu 340 N/mm² untuk profil siku dan kanal serta 825 N/mm² untuk baut [7]. Hal ini disebabkan oleh adanya penempatan posisi titik uji pada bagian pelat yang tipis (tebal minimum 20 mm) sehingga benda uji bergetar dan hasil pengukuran akan lebih rendah dari yang seharusnya.

Tabel 4. Jarak antar baut, jarak tepi minimum dan jarak tepi maksimum

Ketentuan jarak baut	Persyaratan Jarak	Jarak di lapangan	Keterangan
Jarak tepi minimum			
$S \geq 1,75 d_b$	$\geq 38,5 \text{ mm}$	35 mm	Memenuhi syarat
$S \geq 1,50 d_b$	$\geq 33,0 \text{ mm}$		
$S \geq 1,25 d_b$	$\geq 27,5 \text{ mm}$		
Jarak antar baut			
$S \leq 15 t_p$	$\leq 150 \text{ mm}$	70 mm	Memenuhi syarat
$S \leq 200 \text{ mm}$	$\leq 200 \text{ mm}$		
$S \geq 3 d_b$	$\geq 66 \text{ mm}$		
$S \leq 300 \text{ mm}$	$\leq 300 \text{ mm}$		
Jarak tepi maksimum			
$S \leq 12 t_p$	$\leq 120 \text{ mm}$	35 mm	Memenuhi syarat
$S \leq 150 \text{ mm}$	$\leq 150 \text{ mm}$		

Tabel 5. Perbandingan nilai f_u dari desain awal dan hasil pengujian

Benda uji	Kuat tarik ultimit f_u (N/mm ²)		
	Desain awal	Uji <i>Hardness</i>	Uji tarik di laboratorium
Profil 2L.150.150.12	340,0	444,0	565,0
Profil 2L.120.120.12	340,0	363,0	506,0
Profil 2L.75.75.6,5	340,0	451,0	508,0
Profil 2C.150.75.6.5.10	340,0	431,0	-
Pelat buhul t = 10 mm	340,0	451,0	-
Pelat buhul t = 12 mm	340,0	450,0	-
Baut A325 Ø 22 mm	825,0	908,0	986,8

3.3. Perhitungan Eksisting Jembatan

Perhitungan eksisting jembatan meliputi perhitungan kekuatan tiap batang dan kekuatan sambungan. Hasil perhitungannya adalah semua batang penyusun rangka jembatan memenuhi syarat kekuatan (Gambar 8) dan begitu pula dengan sambungan di semua *joint*. Syarat kekakuan juga terpenuhi oleh jembatan dimana lendutan yang terjadi 14,5 cm masih lebih kecil dari syarat lendutan maksimum yaitu 15,0 cm. Jadi bisa dikatakan bahwa struktur eksisting jembatan memenuhi persyaratan atau aman.

3.4. Kerusakan pada Lubang Baut

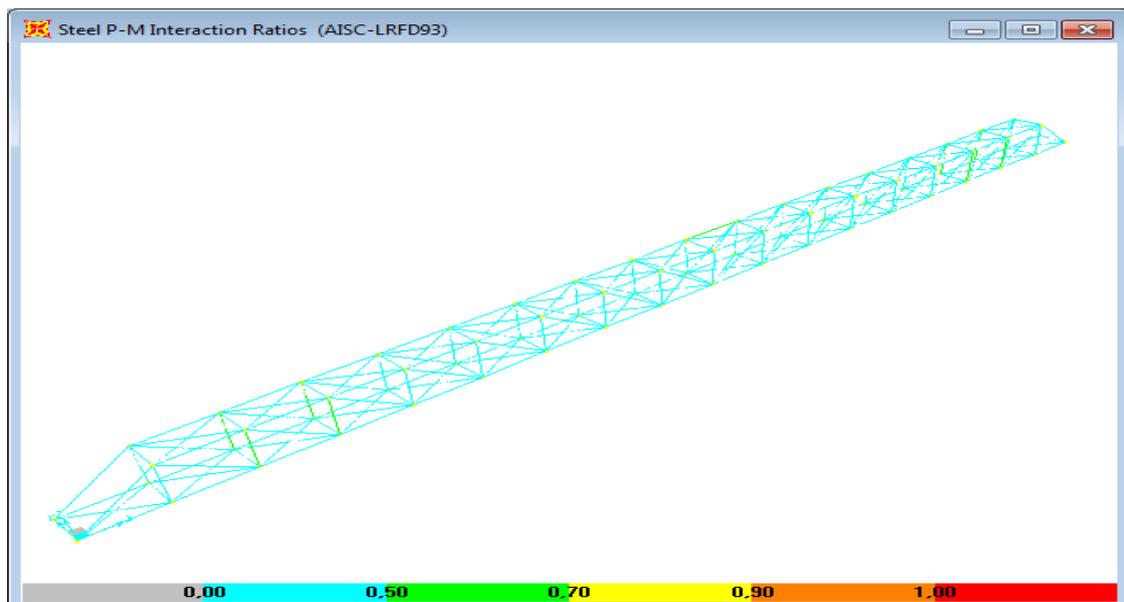


Gambar 6 : Kerusakan lubang baut

Kerusakan lubang baut yang menjadi bulat memanjang, bisa terjadi jika pelat sudah mencapai tegangan leleh ataupun fraktur namun berdasarkan perhitungan eksisting jembatan belum ada batang yang leleh ataupun fraktur. Komponen yang rusak disajikan pada Tabel 6 dengan perbandingan kuat perlu dan kuat rencana, dimana suatu komponen dikatakan aman jika perbandingan tersebut lebih kecil atau sama dengan 1.



Gambar 7 : Lubang baut sobek



Gambar 8 : *Stress capacity ratio* eksisting jembatan

Tabel 6. Kekuatan komponen yang mengalami kerusakan

Komponen	Kuat Rencana (kN)			Kuat Perlu (N_u)	Leleh $N_u / \phi T_n$	Fraktur $N_u / \phi T_n$	Tumpu N_u / R_d	Ket
	Leleh (ϕT_n)	Fraktur (ϕT_n)	Tumpu (R_d)					
B.chord 6	2339,68	2214,00	2292,44	718,25	0,31	0,32	0,31	OK
B.chord 7	2276,62	2152,79	2238,91	702,43	0,31	0,33	0,31	OK
B.chord 9	2353,74	2225,59	2315,38	705,14	0,30	0,32	0,30	OK

Tabel 6. Lanjutan

Komponen	Kuat Rencana (kN)			Kuat Perlu (N_u)	Leleh $N_u / \phi T_n$	Fraktur $N_u / \phi T_n$	Tumpu N_u / R_d	Ket
	Leleh (ϕT_n)	Fraktur (ϕT_n)	Tumpu (R_d)					
B.chord 10	2318,92	2190,55	2292,44	700,06	0,30	0,32	0,31	OK
B.chord 26	2312,86	2187,99	2269,50	797,33	0,34	0,36	0,35	OK
B.chord 27	2355,58	2227,67	2315,38	790,77	0,34	0,35	0,34	OK
B.chord 28	2333,93	2207,15	2294,35	752,49	0,32	0,34	0,33	OK
B.chord 29	2330,85	2204,39	2290,53	703,23	0,30	0,32	0,31	OK

OK : memenuhi syarat kekuatan

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa semua batang yang rusak dilihat dari segi kekuatannya aman maka kerusakan dimungkinkan pada saat pelaksanaan. Saat pelaksanaan bisa terjadi ketidakpasan lubang baut dari komponen-komponen pembentuk sambungan, baik dari profil sikunya maupun pelat buhulnya. Karena ketidakpasan lubang ini kemudian lubangnya diperbesar sedikit agar baut bisa masuk dan hal ini juga bisa terjadi pada kasus jembatan ini.

3.5. Lentutan Jembatan

Syarat lentutan sesuai SNI 03 1729 2002, untuk jembatan dengan bentang 54 m adalah 15,0 cm dan berdasarkan perhitungan eksisting jembatan lentutannya 14,5 cm yang artinya memenuhi persyaratan. Lentutan hasil perhitungan eksisting jembatan sudah memperhitungkan beban akibat berat sendiri jembatan, beban mati (pipa), beban hidup, beban angin dan beban gempa. Lentutan di lapangan adalah 67,5 cm, yang seharusnya lebih kecil dari 14,5 cm karena bebannya hanya berupa berat sendiri jembatan, sedangkan lentutan hasil perhitungan yang sudah memperhitungkan semua beban saja masih memenuhi syarat lentutan.

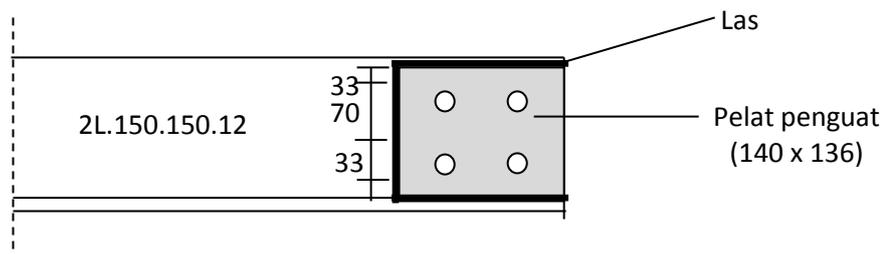
Perhitungan eksisting jembatan menunjukkan bahwa semua batang dan sambungan aman, maka lentutan yang besar dimungkinkan dari faktor pelaksanaan (*erection*) jembatan.

Baut mutu tinggi A325 diameter 22 mm harus dikencangkan hingga mencapai gaya tarik 121 kN (70%) dan setelah posisinya tepat terkait dengan *chamber* kemudian dikencangkan lagi hingga mencapai gaya tarik minimumnya 173 kN (100%). Jika pengencangan baut belum mencapai gaya tarik seperti dijelaskan di atas atau hanya merupakan kencang tangan dan kombinasi dengan adanya lubang baut yang besar maka ketika penyangga dilepas bisa menyebabkan lentutan yang besar pada jembatan dan kemungkinan seperti ini bisa terjadi pada jembatan ini.

3.6. Metode Perbaikan Jembatan

Metode perbaikan jembatan yang diusulkan adalah :

- Mengganti baut dengan diameter lebih besar disesuaikan dengan lubang baut yang ada karena mengganti baut lebih ekonomis daripada mengganti batangnya.
- Menambah dua buah pelat sebagai penguat sambungan agar baut tidak bergeser (Gambar 9).
- Melakukan pengencangan baut menggunakan alat penunjuk gaya tarik dan dikencangkan sesuai prosedur yang benar serta digunakan ring baut yang lebar untuk baut yang lubangnya bulat memanjang.



Gambar 9 : Penggunaan pelat penguat pada sambungan

4. KESIMPULAN

Sesuai dengan penjelasan dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya serta terbatas pada lokasi pemeriksaan, dari rangkaian pemeriksaan dan evaluasi yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Penyebab kegagalan jembatan bukan karena kekuatan batang dan sambungannya melainkan karena faktor pelaksanaan yang kurang tepat, yaitu kombinasi antara lubang baut yang besar dengan pengencangan baut yang belum mencapai gaya tarik minimumnya yang terakumulasi menjadi satu sehingga terjadi lendutan yang besar ketika penyangga dilepas.

Solusi perbaikan untuk jembatan agar bisa digunakan kembali diantaranya adalah dengan mengganti baut dengan diameter yang lebih besar yang sesuai dengan lubang baut yang ada, menambah dua buah pelat yang dilas pada ujung batang sebagai penguat agar baut tidak bergeser, pengencangan baut harus mengikuti prosedur yang sesuai, dari kesimpulan tersebut diatas, kami memberikan saran-saran sebagai berikut:

Untuk penentuan posisi titik uji untuk pengujian hardness diusahakan sebisa mungkin dihindari pada pelat yang tipis (tebal minimal 20 mm) agar diperoleh hasil yang mendekati dengan kenyataannya, untuk pemeriksaan terhadap lubang baut sebaiknya dilakukan secara keseluruhan sehingga diperoleh informasi yang lengkap, dan perlu lebih ditingkatkan pengawasan terhadap pelaksanaan jembatan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lewis. P.R., Reynold. K., and Gagg. C : *Forensic material Engineering*. New York : CRC Press. 2009
2. Badan Standarisasi Nasional : SNI 03 1729 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional. 2002
3. Triwiyono. A : Bahan Kuliah Evaluasi dan Rehabilitasi Bangunan Gedung. Yogyakarta. Magister Pengelolaan Sarana dan Prasarana Universitas Gajah Mada. 2009
4. Triwiyono. A. : Bahan Kuliah Evaluasi dan Rehabilitasi Bangunan Jalan dan Jembatan. Yogyakarta. Magister Pengelolaan Sarana dan Prasarana Universitas Gajah Mada, 2011
5. Badan Standarisasi Nasional : RSNI T-02-2005. Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional. 2005
6. PT. Silicon Adilaras : Nota Desain : *Detail Engineering Design* Jembatan Pipa Air Minum PDAM Kabupaten Bogor di Sungai Cisadane, Bogor. Perusahaan Daerah Air Minum Kabupaten Bogor. 2008

7. Saleh. A, Kirman, Suhartono. A : Hasil Uji Tarik Statis Spesimen Siku dan Baut Mur (Report No. 2009.C.1523). Tangerang. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur. 2009
8. Handayani.T, Sudarmadi, Amir. R : Uji Beban Jembatan Rangka Baja Bentang 54 M (Report No. 2009.C.1677). Tangerang. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur. 2009
9. Arman, Kadir. A.M, Sudarmadi, Amir. R : Uji Beban Jembatan Rangka Baja Bentang 54 M Tahap 2. Tangerang. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur. 2009
10. Ratay. R.T : *Forensic Structural Engineering Handbook*. New York. Mc Graw Hill. 2009