

# STUDI EVALUASI USIA FATIK SISA DAN LENDUTAN PADA JEMBATAN SOEKARNO – HATTA DI KOTA MALANG

*(Evaluation Study of Remaining Fatigue Life and Deflection  
at Soekarno – Hatta Bridge in Malang City)*

Sugeng P. Budio, Agoes SMD, Adi Wijaya  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang  
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia  
E-mail : civil@brawijaya.ac.id

## ABSTRACT

*Bridge is a kind of structure that accept cyclic load because of the traffic load. The cyclic load that continuous day by day could be the cause of collapse. It could happen even all of the strength parameter on the bridge material and structure not over the safety yield stress. This phenomenon called fatigue. The purpose of this study is evaluating of the remaining fatigue life conducted to anticipate damage. While, the deflection of the bridge could be use to measure the serviceability of the bridge. The remaining fatigue life analysis conducted by observe stress range of the bridge that happen while traffic pass the bridge. This stress data then combined with traffic's volume to get the remaining fatigue life. While, deflection could be found by experiment in the bridge. From the calculation and experiment, known that the reaming fatigue life is different for each span. It could happen because the difference of material, dimension, and truss system in each bridge produce different stress for the same loading case. After calculation we got the result that fatigue life for 40 meter span will end after 36,739 years, and for the 60 meters span the fatigue life already end 12,596 years since it built. And the deflection for 40 meter span is 4 mm and 14 mm for 60 meter span. Both still far from the initiate deflection which is 40 mm and 60 mm. Therefore we can make a conclusion that the bridge still good condition of serviceability.*

**Keywords :** *fatigue, deflection, cyclic load, truss bridge.*

## PENDAHULUAN

Jembatan adalah salah satu jenis struktur yang menerima banyak beban berulang. Di daerah perkotaan dengan volume lalu lintas tinggi, jembatan akan menerima beban berulang lebih dari 100.000 kali, sehingga kekuatan kelelahan harus diperhitungkan.

Pembebanan berulang walaupun tidak melampaui titik leleh dapat mengakibatkan keruntuhan. Fenomena ini disebut fatik. Kelelahan dapat terjadi walaupun semua kondisinya ideal, yaitu kelihatan takiknya baik, tidak ada konsentrasi tegangan akibat lubang atau takik, kondisi tegangan uniaksial, mikrostruktur daktil, dan sebagainya. (Salmon, 1980).

Hal tersebut menjadi dasar dilakukannya studi evaluasi untuk mengetahui usia fatik sisa dari jembatan

Soekarno-Hatta Malang. Jembatan ini dipilih karena lokasinya yang dekat dengan kampus Universitas Brawijaya, dan volume lalu lintas di daerah tersebut yang cukup tinggi. Sejak berdirinya pada tahun 1981 hingga saat ini dengan volume lalu lintas harian lebih dari 30.000 smp/hari (berdasarkan hasil survey terakhir), maka dapat dipastikan bahwa kekuatan fatik jembatan tersebut sudah mulai berkurang. Selanjutnya dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui sisa usia fatik dari jembatan tersebut untuk digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemeriksaan dan perawatan jembatan di masa yang akan datang.

## TUJUAN

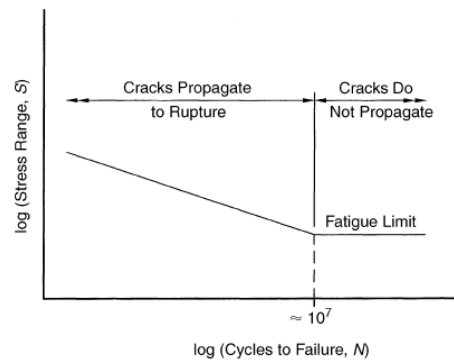
1. Mengetahui usia fatik sisa dari jembatan Soekarno-Hatta.

- Mengetahui tingkat pelayanan jembatan Soekarno-Hatta ditinjau dari lendutan eksisting.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Fatig

Fatig didefinisikan mekanisme kegagalan yang terjadi akibat formasi dan pertumbuhan retakan akibat tegangan berulang (Barker, 2007). Tegangan berulang ini terjadi karena kendaraan yang melintas di atas jembatan pada tempat-tempat yang telah ditentukan secara berulang-ulang dari waktu ke waktu. Fatig adalah penyebab yang paling umum dari kegagalan struktur baja, yang sebagian besar berdasarkan fakta bahwa masalah tersebut tidak dikenali pada tahap desain. Desain yang baik penting untuk mendapatkan suatu struktur dengan kekuatan fatig yang tinggi. Perhatian yang cukup dalam pemilihan sambungan dan detail dan pengetahuan tentang kebutuhan beban layan dapat hamper menghilangkan resiko kegagalan, sedangkan pengabaian faktor ini bisa menjadi sebuah bencana. (Gurney, 1992). Kekuatan fatig bukanlah konstanta material seperti tegangan leleh atau modulus elastisitas. Kekuatan fatig tergantung khususnya pada konfigurasi sambungan yang bersangkutan dan secara realistis hanya bisa didapatkan secara eksperimen. Hasil dari tes biasanya di plot dalam grafik log N (siklus) dan log S (jangkauan tegangan). Pada setiap titik dari kurva S-N, nilai tegangan adalah kekuatan fatig dan jumlah siklus adalah usia fatig pada tingkat tegangan tersebut. Perhatikan bahwa pada saat jangkauan tegangan menurun sampai pada suatu nilai tertentu, nilai siklus sampai dengan tak terhingga dapat diaplikasikan tanpa menyebabkan kegagalan. Batas tegangan ini dinamakan batas fatig. (Barker, 2007).



**Gambar 1.** Kurva S-N khas untuk sambungan las

Sumber : *Design of Highway Bridges*, 2007

### Beban fatig

Kekuatan fatig secara khusus terhubung dengan jangkauan tegangan beban hidup (*the range of live-load stress*) dan jumlah dari siklus tegangan di bawah kondisi beban layan. Karena sebagian besar truk tidak melebihi batas beban yang diijinkan, akan berlebihan apabila digunakan model beban hidup secara penuh. Ini berarti akan digunakan lebih sedikit beban untuk memperkirakan jangkauan tegangan beban hidup (Barker, 2007).

### Kategori detil

Kategori detil digunakan untuk mengelompokkan komponen dan bagian detil yang mudah dipengaruhi oleh beban fatig berdasarkan daya tahan fatig masing-masing (Barker, 2007).

Detil yang tidak diklasifikasi harus dianggap sebagai kategori detil paling rendah dari detil serupa, kecuali dapat dibuktikan dengan pengujian atau analisis dan pengujian bahwa kekuatan fatiknya lebih besar.

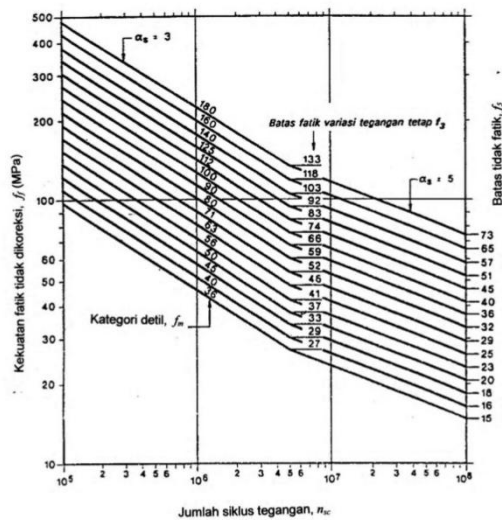
Kategori detil untuk tegangan geser harus ditentukan untuk tiap detil relevan dalam struktur.

### Kurva S-N

Kurva S-N secara umum digunakan untuk mengekspresikan perilaku fatig, dimana jumlah siklus menuju kegagalan  $N$  diplot dengan siklus

parameter tegangan  $S$  seperti amplitudo tegangan atau jangkauan tegangan. Garis horizontal berhubungan dengan batas fatik (Xanthakos, 1994).

Setelah diketahui kategori desain mana yang sesuai dengan kondisi eksisting jembatan, maka kategori desain tersebut dapat diplot pada kurva  $S-N$ . Dengan demikian akan didapatkan batasan jangkauan tegangan dan jumlah siklus menuju kegagalan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Data-data tersebut untuk kemudian dapat digunakan untuk menentukan usia fatik sisa dari jembatan yang diteliti.



Gambar 24 Kurva S-N untuk tegangan biasa

**Gambar 2.** Kurva S-N  
Sumber : RSNI T-03-2005

## METODE

### Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Gambar rencana dan kondisi eksisting Jembatan Sukarno-Hatta
2. Data lalu lintas
3. Data tegangan
4. Data lendutan
5. Data literatur yang berhubungan dengan analisis struktur jembatan

## Metode Analisis

Metode yang digunakan untuk mendapatkan usia fatik sisa adalah sebagai berikut : menghitung volume lalu lintas tertinggi, menghitung lintas harian truk rata-rata untuk 1 lajur, dan melakukan percobaan untuk mendapatkan data regangan jembatan. Perhitungan tegangan yang terjadi pada batang yang diuji berdasarkan data regangan dari percobaan. Selanjutnya mengeplot tegangan hasil perhitungan ke dalam kurva S-N dan mendapatkan nilai  $N$  (jumlah siklus sampai usia fatik habis) serta menghitung usia fatik sisa untuk masing-masing bentang jembatan.

Sedangkan untuk perhitungan lendutan adalah sebagai berikut: menghitung awal dengan menggunakan software STAAD Pro untuk mendapatkan nilai perkiraan besar lendutan. Selanjutnya melakukan percobaan untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada masing-masing bentang jembatan, membandingkan antara lendutan hasil percobaan dengan lendutan pada software, untuk kemudian dianalisis apakah besar lendutan tersebut masih memenuhi kondisi batas yang disyaratkan.

## Variabel Analisis

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah desain jembatan, beban lalu lintas yang melintas di atas jembatan.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya lendutan dan besar tegangan yang terjadi.

### Pemilihan Kategori Detil

Pada kasus jembatan Soekarno-Hatta, selisih regangan yang akan ditinjau adalah pada bagian batang jembatan, dengan demikian tabel-tabel yang mungkin digunakan adalah tabel-tabel yang berhubungan dengan bentuk dan sambungan pada batang dalam sistem rangka jembatan. Dengan demikian didapatkan bahwa kategori detil yang mungkin digunakan dan adalah detil kategori nomor 160, yaitu kategori untuk produk giling maupun dibentuk. Kategori detil ini dipilih karena bagian yang akan diukur jangkauan regangannya adalah bagian batang dari sistem rangka batang, dengan mengasumsikan bahwa kekuatan sambungan lebih besar daripada kekuatan batang. Kemudian setelah diperhatikan dari tipe sambungan/ las yang digunakan, maka kategori detil 160 adalah yang paling sesuai untuk digunakan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Lalu Lintas

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa kondisi jalan yang paling padat terjadi pada pukul 06.00 – 06.05 WIB. Pada jam tersebut volume lalu lintas dari semua pendekatan berada pada titik paling tinggi. Dengan demikian waktu puncak yang digunakan untuk menentukan jam puncak adalah waktu tersebut.

Data volume kendaraan yang melintas sebagai berikut:

Low Vehicle	=1323.0 smp/jam
Heavy Vehicle	= 20.8 smp/jam
Motor Cycle	= <u>1764.9 smp/jam</u>
Total kendaraan (n)	=3108.7 smp/jam

Persentase truk yang melintas setiap harinya dibandingkan dengan volume lalu lintas total adalah :

Jumlah total truk	= 1409,2 smp/jam
Vol. total kendaraan	= 93962,2 smp/jam

$$\text{persen truk} = \frac{1409,2}{93962,2} \times 100\% = 1,499\%$$

$$\text{LHR} = \frac{3108,7}{0,08} = 38.858,75 \text{ smp/hari}$$

$$\text{volume truk} = 1,499\% \times 38.858,7 = 582,7841 \text{ smp/jam}$$

$$\text{jumlah truk} = \frac{582,7841}{1,3} = 448,2955 \text{ truk} \cong 450 \text{ truk}$$

Karena yang digunakan untuk perhitungan usia sisa fatik adalah  $ADTT_{SL}$  (volume harian lalu lintas truk untuk satu lajur) maka dicari persentase lajur yang paling besar.

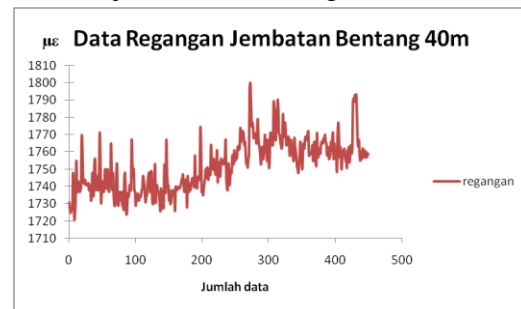
$$\text{Lajur kiri (belok kiri dan terus)} = (436+18) / 1084 = 41,8819\%$$

$$\text{Lajur kanan (belok kanan)} = 630 / 1084 = 58,1181\%$$

$$\text{Sehingga digunakan lajur kanan, } ADTT_{SL} = 58,1181\% \times 448,2855 = 260,54 \text{ truk} \cong 261 \text{ truk}$$

#### Jangkauan Tegangan untuk Masing-masing Bentang Jembatan

a. Pada jembatan bentang 40 meter:



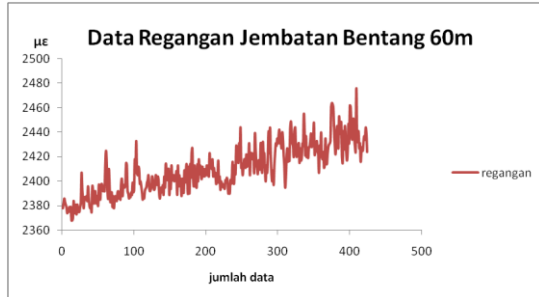
**Gambar 1.** Data Regangan Jembatan Bentang 40 m

Dari data **Gambar 1** di atas, yang didapatkan dari percobaan, didapatkan regangan pada saat beban hidup bekerja pada jembatan adalah sebagai berikut  $\Delta \epsilon = (1800 - 1721) \times 10^{-6} = 79 \times 10^{-6}$ . Diketahui bahwa  $\Delta \epsilon = \frac{\Delta f}{E}$ ; maka  $\Delta f = \Delta \epsilon \times E$ , sehingga didapatkan jangkauan tegangan yang

bekerja pada jembatan bentang 40 m adalah:

$$\Delta f_{40} = (79 \times 10^{-6}) \times 2 \times 10^5 = 15,8 \text{ MPa}$$

b. Pada jembatan bentang 60 meter:



**Gambar 2.** Data Regangan Jembatan Bentang 60 m

Dari data **Gambar 2** di atas, yang didapatkan dari percobaan, didapatkan regangan pada saat beban hidup bekerja pada jembatan adalah sebagai berikut

$$\Delta \varepsilon = (2476 - 2368) \times 10^{-6} = 108 \times 10^{-6}$$

Diketahui bahwa  $\Delta \varepsilon = \frac{\Delta f}{E}$ ; maka  $\Delta f = \Delta \varepsilon \times E$ , sehingga didapatkan jangkauan tegangan yang bekerja pada jembatan bentang 60 m adalah:

$$\Delta f_{60} = (108 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^5) = 21,6 \text{ MPa}$$

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai  $\Delta f_{akhir}$  adalah jangkauan regangan yang terjadi selama satu hari. Untuk itu, nilai jangkauan regangan awal tersebut dikonversikan menjadi nilai jangkauan regangan dalam satu hari sebagai berikut :

$$\Delta f_{40} = 15,8 \text{ MPa} \times 6 = 94,8 \text{ MPa}$$

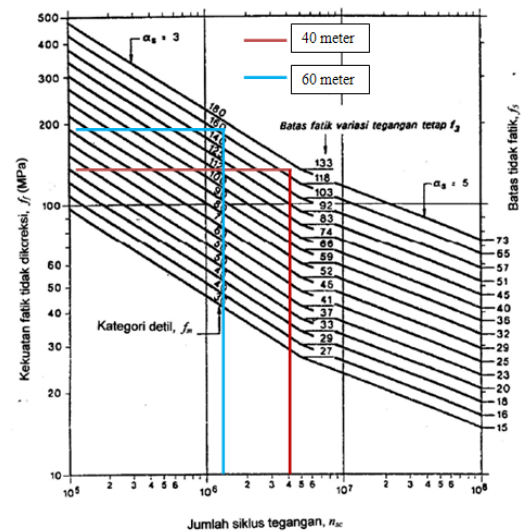
$$\Delta f_{60} = 21,6 \text{ MPa} \times 6 = 129,6 \text{ MPa}$$

Nilai inilah yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan nilai jangkauan regangan akhir yang akan diplot dalam kurva S-N untuk mendapatkan usia fatik sisa dari jembatan.

$$\Delta f_{akhir} = \varphi \times k \times \Delta f;$$

$$\Delta f_{40 \text{ akhir}} = 1,3 \times (100 + 16)\% \times 94,8 \text{ MPa} = 142,9584 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{60 \text{ akhir}} = 1,3 \times (100 + 16)\% \times 129,6 \text{ MPa} = 195,4368 \text{ MPa}$$



**Gambar 3.** Plotting pada kurva S-N

Selain dari **Gambar 3**, di atas secara perhitungan dapat pula dicari kapanakah usia fatik habis untuk masing masing bentang. Bentang 40 meter:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1, \text{ atau usia fatik habis saat}$$

$$n_i = N_i$$

$$n_{40} = N_{40}$$

$$n_{40} = (365) \times (t_{40}) \times n \times (\text{ADTT}_{\text{SL}}) = (365) \times (t_{40}) \times 1,0 \times (261 \text{ truk/hari})$$

$$3,5 \times 10^6 = 95.265 \times t_{40}$$

$$t_{40} = 36,739 \text{ tahun}$$

Bentang 60 meter:  $\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$ , atau usia fatik habis saat  $n_i = N_i$

$$N_{60} = N_{60}$$

$$N_{60} = (365) \times (t_{60}) \times n \times$$

$$(\text{ADTT}_{\text{SL}}) = (365) \times (t_{60}) \times 1,0 \times (261 \text{ truk/hari})$$

$$1,2 \times 10^6 = 95.265 \times t_{60}$$

$$T_{60} = 12,596 \text{ tahun}$$

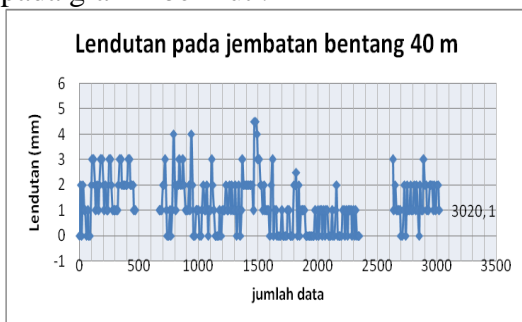
### Tingkat Pelayanan Berdasarkan Lentutan Eksisting

Jembatan didesain sedemikian rupa agar lentutan akibat beban hidup ditambah beban *impact* tidak melebihi 1/800 panjang bentang. Namun untuk jembatan di daerah perkotaan yang sebagian juga digunakan oleh pejalan kaki, lentutan tidak boleh melebihi

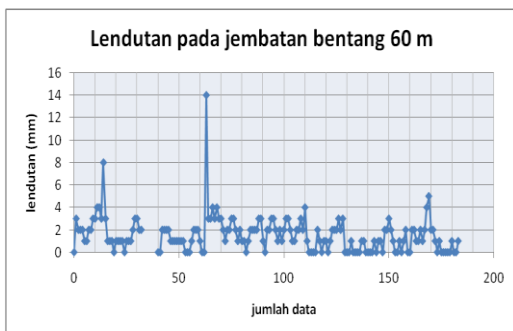
1/1000 panjang bentang (Xanthakos, 1994).

Untuk jembatan Soekarno – Hatta akan digunakan kriteria defleksi = 1/1000 panjang bentang, karena letaknya yang berada di wilayah perkotaan dan ada trotoar yang disediakan untuk para pejalan kaki. Dengan demikian, lendutan batas yang diijinkan untuk masing-masing bentang adalah: bentang 40 meter:  $(1/1000) \times 4000 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$  ; bentang 60 meter =  $(1/1000) \times 6000 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$

Dari percobaan didapatkan data rekapitulasi lendutan yang digambarkan pada grafik berikut :



**Gambar 4.** Rekapitulasi data lendutan eksisting jembatan bentang 40 meter



**Gambar 5.** Rekapitulasi data lendutan eksisting jembatan bentang 60 meter

Lendutan maksimum untuk jembatan bentang 40 meter adalah  $\pm 4$  mm, dan untuk bentang 60 meter berkisar 14 mm. Sementara batas lendutan yang diijinkan adalah 40 mm untuk jembatan bentang 40 meter, dan 60 mm untuk jembatan dengan bentang 60 meter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa

jembatan tersebut masih memenuhi syarat kegunaannya (*serviceability*).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan :

1. Jembatan Soekarno-Hatta, baik bentang 40 meter maupun 60 meter, sudah tidak memiliki sisa usia fatik. Karena dengan kondisi lalu lintas seperti saat ini, umur fatik untuk jembatan bentang 40 meter hanya 5,2 tahun, sedangkan untuk jembatan bentang 60 meter hanya 1,2 tahun. Sementara jembatan Soekarno Hatta sudah berdiri selama lebih dari 20 tahun.
2. Ditinjau dari tingkat pelayanan berdasarkan lendutan, kedua bentang jembatan masih memenuhi syarat. Karena keduanya belum melebihi lendutan batas sebesar 4 cm (untuk jembatan bentang 40 meter) dan 6 cm (untuk jembatan bentang 60 meter).

## SARAN

1. Untuk perhitungan volume lalu lintas sebaiknya memperhatikan pertumbuhan pergerakan kendaraan untuk dapat memperoleh hasil yang lebih baik.
2. Diperlukan pengamatan lebih lama dan jumlah data regangan yang lebih banyak agar didapatkan proyeksi regangan yang lebih baik.
3. Amati pengaruh perubahan suhu terhadap perubahan regangan.
4. Metode pengukuran lendutan perlu lebih disempurnakan, karena yang dapat diamati dalam percobaan ini hanya lendutan arah sumbu y (arah atas-bawah), sedangkan lendutan ke arah lain (misal: ke samping) tidak dapat teramati dengan baik.
5. Diperlukan kalibrasi/pengujian alat pengukur lendutan lebih lanjut di laboratorium agar bisa didapatkan hasil pengukuran yang lebih akura

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2005. *Pembebanan Untuk Jembatan*. RSNi T-02-2005. Badan Standarisasi Nasional BSN, Jakarta
- Anonim. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. RSNi T-03-2005. Badan Standarisasi Nasional BSN, Jakarta
- Anonim. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta
- Anonimous. *Build a Model of a Truss Bridge*.  
[http://www.eecs.usma.edu/bridge\\_contest/pdfs/la1.pdf](http://www.eecs.usma.edu/bridge_contest/pdfs/la1.pdf), diakses tanggal 23 Januari 2009
- Barker, R.M., J.A Puckett. 2007. *Design of Highway Bridges*. John Wiley & Sons, Inc, New York
- Gurney, T. R. 1992. *Fatigue Design*, in *Design of Highway Bridges*. Barker et al. John Wiley & Sons, Inc, New York
- Kuhn, B., et al. 2007. *Assessment of Existing Steel Structure : Recommendation for Estimation of the Remaining Fatigue Life*. Office of Official Publication of the European Communities, Luxembourg
- Potma, A.P. & Fries, De J.E. 1953. *Konstruksi Baja, Teori Perhitungan dan Pelaksanaan*. Pradnya Paramitha, Jakarta
- Salmon, C.G. & J.E Johnson. 1980. *Struktur Baja : Desain dan Perilaku*. Erlangga, Jakarta
- Xanthakos, Petros P. 1994. *Theory and Design of Bridges*. John Wiley & Sons, Inc, New York