

TINJAUAN FATIK ELEMEN STRUKTUR ATAS JEMBATAN TERHADAP LHR DAN USIA RENCANA SESUAI AASHTO 2012

Fauzri Fahimuddin¹, Dio Akbar Hakim², Andi Indiandto³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Jl. Prof.Dr.G.A.Siwabessy, Kampus UI Depok 16425
fauzri.fahimuddin@sipil.pnj.ac.id, dioakbar21@gmail.com, andipnj@gmail.com

ABSTRACT

A lot of structures failure on the bridge, causes a collapsed to the bridges. The reason of the collapsed was dynamic loads that happen on the bridge. Dynamic loads make stress and relax happen at the same time. Fatigue analysis is an analysis that calculate the dynamic load that happen on the bridge, with counting the big vehicle or truck. Fatigue analysis can't analyze all the element with one step. In this research the bridge was a truss bridge with span 70 m as the main structure. In fatigue analysis, stress that used was stress that caused by dead load and stress that caused by the big vehicle or truck passing through. The value between that stresses used to call stress range. In AASHTO the value of truck that passing truck in a traffic called Average Daily Truck Traffic (ADTT). Stringer, cross beam, and main truss was the element that will be analyzed. In this structure we use category B, where ADTT is 860, Threshold is 110 MPa, A is 39,3 x 1011, and the n is 1. From stress range that happen in the structure, we can find the age and ADTT until the bridge collapse because fatigue. In the end the elements that had the lowest age and the lowest ADTT was the main truss, where it just has 27 years old left and can only take 299 truck/day. Then the bridge has to get a maintenance and repair before it gets 27 years old.

Keywords : Fatigue, age, ADTT, stress range

ABSTRAK

Banyak terjadinya kegagalan struktur pada jembatan, yang menyebabkan keruntuhan pada jembatan. Hal itu disebabkan oleh beban dinamis yang terjadi pada jembatan. Beban dinamis membuat terjadinya tegangan dan relaksasi dalam waktu bersamaan. Analisa fatik merupakan perhitungan dengan memperhitungkan beban dinamis yang terjadi pada jembatan, dengan beban dianggap sebagai kendaraan besar atau truk. Memperhitungkan kondisi fatik tidak dapat dihitung langsung untuk satu jembatan. Dalam analisa ini menggunakan jembatan dengan bentang 70 m sebagai struktur rangka atasnya. Pada Analisa fatik tegangan yang dihitung berupa tegangan akibat beban sendiri pada jembatan dan tegangan ketika dilalui oleh kendaraan besar atau truk. Perbedaan tegangan tersebut biasa disebut dengan stress range. Pada AASHTO, lalu lintas harian rata-rata (LHR) biasa disebut Average daily truck traffic (ADTT). Elemen yang dihitung berupa stringer, cross beam, dan batang rangka utama. Pada struktur ini kategori yang digunakan adalah kategori B dengan ADTT sebesar 860, threshold sebesar 110 MPa, A sebesar 39,3 x 1011 MPa³ dan n sebesar 1. Dari stress range yang didapat, maka dapat dicari umur jembatan serta ADTT hingga jembatan pada kondisi fatik. Dapat disimpulkan bahwa elemen yang mempunyai umur dan ADTT terendah adalah batang rangka utama, dengan nilai umur rencana 27 tahun dan ADTT 299 truk/hari. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa jembatan harus diberi perkuatan saat umur mendekati 27 tahun.

Kata kunci : Fatik, umur rencana, ADTT, stress range.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beban kendaraan yang melintas pada jembatan memberikan efek beban pada

elemen yang menimbulkan terjadinya tegangan kemudian relaksasi ketika kendaraan telah melintas dan kemudian timbul tegangan kembali saat ada kendaraan selanjutnya melintas dan

relaksasi kembali, dan akan terus berulang hingga masa layan jembatan.

Walaupun tegangan ini tidak selamanya ada, jika terus berulang dalam waktu yang lama dapat menimbulkan retak dan patah pada bagian tertentu (Barker and Puckett 2007).

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

Analisa fatik adalah salah satu perhitungan yang meninjau tentang kelelahan dan keruntuhan struktur. Melalui perhitungan dengan menggunakan volume kendaraan dan juga perubahan tegangan yang terjadi pada jembatan.

Dengan merencanakan analisa fatik, jembatan bisa diperkirakan dapat menahan keruntuhan jembatan dan juga keretakan pada elemen. Perhitungan fatik yang digunakan sesuai dengan AASHTO LRFD Bridge Design Spesification 2012.

Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi umur rencana dan jumlah volume kendaraan truk sesuai peraturan AASHTO LRFD Bridge Design Spesification 2012
2. Mengidentifikasi perbedaan desain dengan analisa fatik menggunakan peraturan AASHTO LRFD Bridge Design Spesification 2012 dan desain tanpa analisa fatik dengan menunjukkan hasil akhir berupa dimensi

dari perbedaan desain dengan analisa fatik dengan desain tanpa analisa fatik.

Tinjauan Pustaka

Fatik

Fatik atau kelelahan merupakan fenomena terjadinya kerusakan material karena pembebanan yang berulang-ulang, diketahui bahwa apabila pada suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik.

Kerusakan akibat beban berulang ini disebut patah lelah (*fatigue failures*) karena umumnya perpatahan tersebut terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama.

Hal-hal yang mempengaruhi dalam perencanaan menggunakan analisa fatik adalah:

- a. LHR (lalu lintas harian rata-rata) untuk kendaraan truk atau ADTT (*average daily truck traffic*) dalam suatu daerah yang akan dibangun jembatan, yang akan memengaruhi nilai siklus.
- b. Panjang struktur elemen pada jembatan. Semakin panjang elemen yang digunakan akan membuat fluktuasi akibat beban truk semakin besar.
- c. Besar kecilnya dimensi struktur yang dipakai, serta beban tetap yang ditanggung oleh struktur tersebut. Hal ini dapat mempengaruhi tegangan yang terjadi pada beban saat tidak ada kendaraan dan itu dapat berpengaruh terhadap *stress range*.
- d. Tipe sambungan yang digunakan pada struktur jembatan.

Kategori Detail

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

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

Kategori tergantung pada detail sambungan yang direncanakan. Nilai dari kategori terdapat pada AASHTO LRFD: *Bridge Design Specification* 2012.

Kategori terbagi menjadi 8 kategori. Masing-masing kategori memiliki tahanan fatik yang berbeda. Yaitu A, B, B', C, D, E, dan E', yang dimana semakin rendah kategori semakin kecil tahanan fatiknya.

Pengalaman mengindikasikan bahwa dalam proses perencanaan pertimbangan fatik untuk kategori detail A sampai B' sangat jarang. Namun demikian, kategori detail A sampai B' tetap dimasukkan dalam tabel kategori detail untuk melengkapi. Investigasi untuk kategori detail A sampai B' mungkin digunakan untuk pembangunan dalam kasus-kasus khusus.

Analisa Fatik

Analisa fatik memperhitungkan *stress-range* yang terjadi pada jembatan. *Stress-range* tersebut adalah perbedaan tegangan saat dengan beban mati dan tegangan saat truk melintas.

Stress range tersebut harus lebih kecil dari *stress range* nominal yang disyaratkan. (AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012). Didalam

perhitungan digunakan notasi-notasi sebagai berikut:

Δ : Faktor keamanan untuk fatik (Fatik-I: 1,5 & Fatik-II: 0,75)

(σ) : *Stress range* (Mpa)

$(\sigma)_n$: *Stress range* nominal untuk fatik (Mpa)

Stress range merupakan perbedaan tegangan pada saat kondisi kosong dan saat dilalui oleh beban dinamis, karena kondisi fatik dianggap terjadi saat kondisi fluktuasi akibat truk melintas.

Fatik II

Fatik II adalah *finite fatigue life*, yang dimana *stress range* dapat diperhitungkan berdasarkan populasi kendaraan truk dan umur rencana.

Dalam kondisi ini diasumsikan elemen akan mengalami fatik dengan umur rencana tertentu. (AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012). Didalam perhitungan digunakan notasi-notasi sebagai berikut:

$(\sigma)_n$: *Stress range* nominal fatik (MPa)

A : konstan kategori detail sambungan ($\text{MPa}^3/\text{ksi}^3$)

N : Jumlah dari siklus *stress range* sesuai kendaraan

Nilai N adalah siklus yang diperhitungkan berdasarkan banyaknya truk yang melintas pada satu jalur.

Dalam studi ini perhitungan dilakukan dengan memperkirakan umur rencana selama 75 tahun (AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012).

Fatik I

Fatik-I atau *infinite load-induced fatigue life* adalah kondisi dimana dianggap

beban rencana akan membuat retakan. Pada fatik-I *Stress range* nominal dianggap sama dengan *threshold*. (AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012).

Threshold merupakan batas *stress range* pada struktur. Besarnya *threshold* tergantung pada kategori. Jika *stress range* rencana melewati batas *threshold* maka jembatan akan mengalami fatik, dimana artinya jembatan akan mengalami keruntuhan.

Jika *stress range* rencana memenuhi syarat *threshold* elemen dianggap tidak akan mengalami fatik dalam jangka waktu yang sangat panjang.

Dari (AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012) maka bisa diartikan sebagai berikut:

Besarnya *threshold* tergantung sesuai dengan kategori dari suatu struktur dan sambungannya. Dimana artinya *stress range* akibat beban sendiri dan beban truk, tidak boleh melampaui *threshold*. Nilai-nilai *threshold* tersebut didapatkan dari data statistik hasil pengujian-pengujian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur berupa memodelkan bentuk struktur yang akan direncanakan untuk dibebani agar menghasilkan gaya-gaya dalam. Pemodelan struktur yang dipakai menggunakan aplikasi SAP2000.

Pembebanan

Pembebanan didapat dari nilai berat jenis dengan luasan atau volume suatu material untuk beban struktur sendiri. Untuk beban lalu lintas tergantung pada lebarnya jalur lalu lintas. Pembebanan yang direncanakan sesuai dengan SNI

1725-2016 dan RSNI T-03-2005. Menghitung pembebanan dengan cara mengalikan *tributary area* dengan berat jenis suatu struktur.

Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan dengan metode LRFD dimana beban dikalikan dengan faktor beban, serta untuk kondisi fatik beban yang dimasukkan adalah beban truk dan beban sendiri, untuk mencari perbedaan tegangan yang terjadi.

Penentuan Kategori

Penentuan kategori tergantung pada detail sambungan. Penentuan guna mendapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan untuk merencanakan fatik. Kategori yang dipakai tercantum pada AASHTO LRFD *Bridge Design Specification* 2012.

Analisa Kondisi Fatik

Pada analisa ini perhitungan yang digunakan sesuai dengan AASHTO dengan mengecek kondisi pada fatik I dan fatik II.

Pengecekan dilakukan pada setiap elemen jembatan, hal ini dikarenakan Analisa fatik tidak bisa diperhitungkan pada seluruh komponen jembatan sekaligus.

Perhitungan pada analisa fatik berupa perhitungan tegangan pada elemen yang nantinya akan menghasilkan *stress range*. Dimana pada Analisa dianggap elemen jembatan menerima perubahan tegangan ketika jembatan kosong dan jembatan dilalui oleh kendaraan besar (truk).

Besarnya nilai tegangan dipengaruhi oleh dimensi yang dipakai pada elemen jembatan tersebut.

HASIL dan PEMBAHASAN

Fatik Pada *Stringer*

Perencanaan menggunakan kategori B sesuai dengan gambar 4.5-1 Dengan *threshold* sebesar 110 MPa, nilai konstanta A $39,3 \text{ (MPa)}^3$, nilai ADTT sebesar 860, nilai $n = 1$.

Pada fatik-I *Stress range* nominal dianggap sama dengan *threshold*. *Threshold* yang diketahui untuk kategori pada *stringer* adalah 110 MPa.

Pada kondisi fatik I memiliki $= 1,5$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik I: $150,489 \leq 110 \text{ MPa} \rightarrow$ Tidak memenuhi.

Fatik II adalah *finite fatigue life*, yang dimana *stress range* nominal diperhitungkan berdasarkan populasi kendaraan.

Pada kondisi fatik II besarnya nilai fatik nominal ditentukan melalui rumus. Pada kondisi fatik I memiliki $= 0,75$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik II: $75,24 \leq 55,07 \rightarrow$ Tidak Memenuhi.

Fatik Pada *Cross Beam*

Perencanaan menggunakan kategori B yang terdapat pada gambar 4.5-1 Dengan *threshold* sebesar 110 MPa, nilai konstanta A $39,3 \text{ (MPa)}^3$, nilai ADTT sebesar 860, nilai $n = 1$.

Pada fatik-I *Stress range* nominal dianggap sama dengan *threshold*. *Threshold* yang diketahui untuk kategori pada *stringer* adalah 110 MPa.

Pada kondisi fatik I memiliki $= 1,5$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik I: $70,63 \leq 110 \text{ MPa} \rightarrow$ Memenuhi.

Fatik II adalah *finite fatigue life*, yang dimana *stress range* nominal diperhitungkan berdasarkan populasi kendaraan.

Pada kondisi fatik II besarnya nilai fatik nominal ditentukan melalui rumus. Pada kondisi fatik I memiliki $= 0,75$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik II: $35,31 \leq 55,07 \rightarrow$ Memenuhi.

Fatik Pada Rangka Utama

Kategori yang dipakai dalam menganalisa Fatik untuk rangka adalah kategori B yang tercantum pada gambit 4.5-2

Dengan *Threshold* sebesar 110 MPa, nilai konstanta A $39,3 \text{ (MPa)}^3$, nilai ADTT sebesar 860, nilai $n = 1$.

Pada fatik-I *Stress range* nominal dianggap sama dengan *threshold*. *Threshold* yang diketahui untuk kategori pada *stringer* adalah 110 MPa.

Pada kondisi fatik I memiliki $= 1,5$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik I: $156,69 \leq 110 \text{ MPa} \rightarrow$ Tidak Memenuhi.

Fatik II adalah *finite fatigue life*, yang dimana *stress range* diperhitungkan berdasarkan populasi kendaraan.

Pada kondisi fatik II besarnya nilai fatik nominal ditentukan melalui rumus. Pada kondisi fatik I memiliki $= 0,75$. Maka jika kita control pada analisa kondisi fatik II: $78,34 \leq 55,07 \rightarrow$ Tidak Memenuhi.

Pergantian Dimensi *Stringer*

Jika tetap digunakan profil IWF 450 x 200, jembatan akan mengalami kondisi fatik pada umur 30 tahun dengan ADTT sebesar 860, atau jembatan akan mampu menahan kondisi fatik hingga umur 75 tahun jika ADTT sebesar 338.

Untuk mengatasi kondisi yang tidak memenuhi dalam analisa pendekatan fatik, maka diperlukan diperbesarnya dimensi pada struktur.

Dengan mencoba perhitungan dengan menggunakan profil IWF 600 x 200 maka didapatkan *stress range* (Δ) sebesar 57,74 N/mm². Maka diperlukan kembali analisa terhadap fatik I dan fatik II.

Pergantian Dimensi Rangka Utama

Jika digunakan batang rangka dengan *H-beam* 532 x 490, jembatan akan mengalami kondisi fatik pada umur 27 tahun dengan ADTT sebesar 860, atau jembatan akan mampu menahan kondisi fatik hingga umur 75 tahun jika ADTT sebesar 299 truk/hari.

Agar dapat memenuhi kondisi fatik maka dimensi rangka harus diperbesar. Digunakan *H-beam* 532 x 490 agar bisa menahan. Dengan nilai *stress range* sebesar 65,12 N/mm².

Analisa Umur dan Volume kendaraan

Setelah dilakukan perhitungan dengan analisa fatik II, Hasil analisa terhadap umur jembatan dengan LHR tanpa fatik adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa

Struktur	Kondisi Fatik	
	Umur dengan kondisi ADTT 860 truk/hari	ADTT dengan umur rencana 75 tahun
Stringer	30 tahun	338 truk/hari
Cross Beam	285 tahun	3263 truk/hari
Rangka	27 tahun	299 truk/hari

KESIMPULAN

Setelah dilakukan berbagai analisa dapat disimpulkan bahwa:

1. Dapat disimpulkan bahwa jembatan aman hingga umur 75 tahun jika ADTT sebesar 299 truk sehari, atau jembatan mampu menahan ADTT sebesar 860 hingga umur 27 tahun.
2. Hasil perbedaan dimensi antara desain non fatik dan desain dengan fatik.

Tabel 2. Perbedaan Dimensi

Struktur	Dimensi	
	Non Fatik	Dengan Fatik
Stringer	IWF 450 x 200	IWF 600 x 200
Cross Beam	IWF 700 x 300	IWF 700 x 300
Rangka	<i>H-beam</i> 428 x 407	<i>H-beam</i> 532 x 490

Dapat disimpulkan bahwa perbedaan dimensi terjadi pada *stringer* dan batang rangka utama, dikarenakan tidak memenuhi syarat pada perencanaan kondisi fatik I & fatik II.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AASHTO, 2012. AASHTO LRFD Bridge Design Spesification. American Association of State Highway and Transportations Official, Washington, Amerika Serikat.
- [2] Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. 2016. Pembebanan Untuk Jembatan. SNI 1725-2016. Badan Standarisasi Nasional BSN, Jakarta.
- [3] Pusat Litbang Prasarana Transportasi. 2005. Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. RSNI

- T-03-2005. Badan Standarisasi Nasional BSN, Jakarta.
- [4] Barker, R.M., J.A Puckett. 2007. Design of Highway Bridges. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [5] Gurney, T. R. 1992. Fatigue Design, in Design of Highway Bridges. Barker et al. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [6] Salmon, C.G. & J.E Johnson. 1980. Struktur Baja: Desain dan Perilaku. Erlangga, Jakarta.

