



PENURUNAN NILAI STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN RANGKA BAJA

Lanneke Tristanto

RINGKASAN

Penurunan nilai struktur berdasarkan evaluasi eksperimen tes dinamik menuju kepada teori tingkat kerusakan yang aktual.

Teori kerusakan sangat erat hubungannya dengan spektra pembebanan dan analisis tegangan pada mana prediksi sisa kekuatan struktur diandalkan.

Mengingat bahwa regangan dan tegangan jembatan meningkat akibat efek dinamik, peningkatan tersebut menyebabkan batas variasi tegangan lebih tinggi dan kerusakan lebih besar pada jembatan.

Pendekatan kerusakan struktural oleh identifikasi parameter dinamik struktur jembatan merupakan tujuan pokok yang dibahas dalam laporan ini.

SUMMARY

The decrease of structural rate is based on evaluation of experimental dynamic testing as an approach to the actual damage rating theory.

The damage rating theory is closely related to the loading spectrum and stress analysis which dominate the prediction of remaining structural strength.

Strains & stresses of the bridge increase by dynamic effects, leading to higher stress Range variation & damage of the bridge

The Approach of structural damage by using dynamic parameters of the bridge structure is the main subject to be discussed in this report

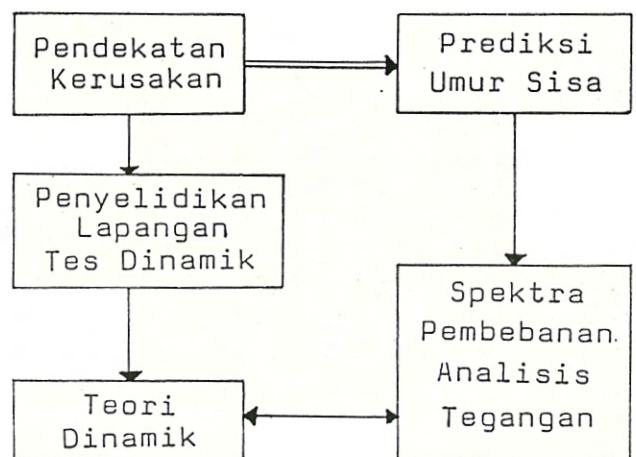
I. PENDAHULUAN

Tes dinamik jembatan sebagai eksperimen lapangan memberikan data yang meliputi butir-butir berikut:

- a. Perkiraan kapasitas beban jembatan berdasarkan data frekuensi resonansi - kekakuan struktural jembatan
- b. Perkiraan kelelahan struktur jembatan berdasarkan data karakteristik pembebanan - siklus ganda atau 'bycyclic loading'

Pelaksanaan tes dinamik sederhana adalah dengan eksitasi beban pada sistim struktural dan pengukuran respons pada kedudukan tertentu sebagai titik pengamatan.

Peranan penyelidikan lapangan dan tes dinamik dapat lebih dijelaskan dalam suatu bagan alir analitik dari hubungan kekuatan sisa umur jembatan dengan data lapangan dalam Gambar 1.

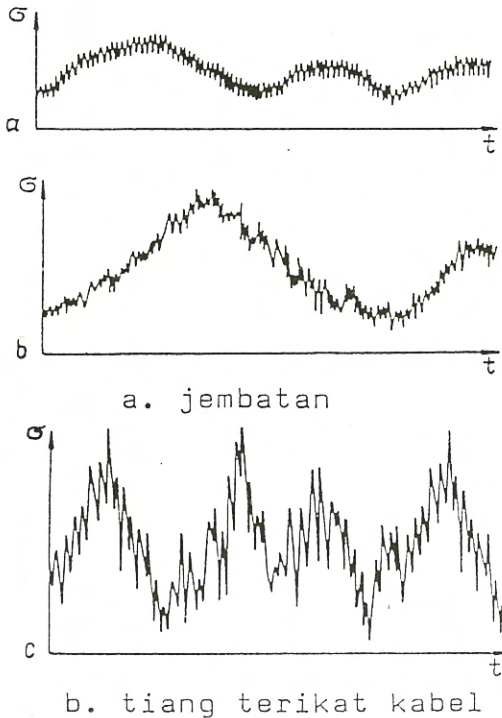


Gambar 1. Bagan alir analitik untuk -penurunan nilai struktur-

II. PREDIKSI UMUR SISA PADA PEMBEBANAN SIKLUS GANDA

2.1. Karakteristik Pembebanan Siklus Ganda

Pembebanan siklus ganda 'bicyclic' sering terjadi pada jembatan dan struktur lain seperti kapal terbang - kapal laut - gelagar keran pengangkat - badan reaktor - mesin turbin gas - tiang terikat kabel - dalam gambar 2.



Gambar 2. Tipikal Pembebanan 'Bicyclic'

Pembebanan siklus ganda (gambar 3) mempunyai komponen dengan nilai kecil tetapi frekuensi lebih tinggi yang ditambah pada siklus frekuensi rendah utama - untuk berbagai jenis getaran struktur.

Parameter dinamik dari getaran siklus ganda dinyatakan sebagai perbandingan:

a. Perbandingan amplitude

$$\sigma_{ah}/\sigma_{as}$$

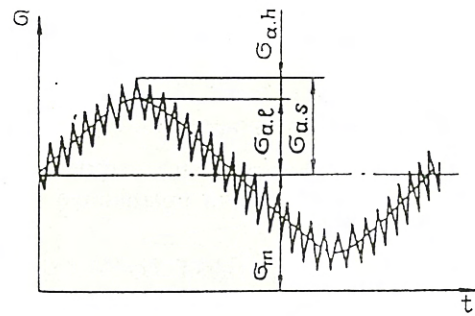
b. Perbandingan frekuensi

$$f_h/f_l$$

Dalam hal perbandingan amplitude dan/atau frekuensi yang meningkat, umur lelah 'fatigue life' menurun.

Dalam hal perbandingan amplitude dan/atau frekuensi yang sangat kecil, umur lelah meningkat pada pembebanan siklus ganda - karena serupa dengan siklus tunggal.

Nilai perbandingan yang lazim terjadi pada struktur dan bagiannya diberikan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Skema Pembebanan "Bicyclic"

Elemen struktur dan bagian struktur	Perbandingan mungkin	
	amplitude σ_{ah}/σ_{as}	frekuensi f_h/f_l
1. Gelagar utama dan ikatan pengaku gelagar jembatan kereta api	0.05-0.25	* 30 - 100
2. Struktur tiang metal untuk radio dan tilpun	0.1 - 0.5	* 1.5 - 150
3. Gelagar keran pengangkat	0.01-0.25	10 - 1000
4. Elemen mesin pengembangan tenaga	0.03-0.5	100 - 1000
5. Turbin hidrolik	0.1 - 0.5	2.5 - 150
6. Mesin penggilingan profil baja	0.01-0.5	15 - 30
7. Rantai pemotong dari pemotongan batu bara	0.1 - 0.5	15 - 20
8. Perlengkapan dan stabilisator dari kapal terbang	0.03-0.5	1.5 - 5000

*Catatan : Data diatas berdasarkan pengukuran setempat di beberapa jenis instalasi . Untuk jembatan dapat diperoleh nilai perbandingan yang lebih besar.

Tabel 1. Perbandingan amplitude dan frekuensi pada komponen yang dibebani secara "bicyclic"

2.2. Prediksi Umur Sisa Struktur

Hipotesa Miner hanya sesuai untuk daerah bersiklus rendah pada perbandingan f_h/f_l rendah dan kondisi yang tidak berkaitan dengan pembebanan sementara yang berarti. Dengan demikian hipotesa Miner tidak berlaku untuk daerah bersiklus majemuk - mengingat bahwa pada pembebanan siklus ganda, umur lelah sangat menurun walaupun nilai tegangan rata-rata adalah sama dengan nilai rata-rata maksimum pada pembebanan siklus tunggal.

Cara evaluasi umur lelah untuk pembebanan siklus ganda harus berdasarkan hubungan antara parameter beban siklus ganda dan kekuatan lelah yang berlaku dalam variasi batas perbandingan amplitude dan frekuensi secara luas. Dengan demikian suatu prosedur tepat sampai saat ini belum dapat ditetapkan.

Pendekatan dalam pemilihan parameter beban siklus ganda adalah sebagai berikut:

a. Tegangan total $\sigma_{as} = \sigma_{al} + \sigma_{ah}$

b. Umur lelah N_{Is} berdasarkan amplitude σ_{as} total hipotetik.

- c. Umur lelah N_b berdasarkan perbandingan amplitude siklus ganda yaitu σ_{ah}/σ_{as} (bervariasi tidak linier).
- d. Umur lelah N_1 berdasarkan amplitude σ_{al}
- e. Dalam usaha untuk memperoleh ketergantungan linier antar parameter, maka selanjutnya digunakan: perbandingan umur lelah relatif N_b/N_l (dan tidak N_b/N_s) serta perbandingan amplitude σ_{ah}/σ_{as} (dan tidak ada σ_{ah}/σ_{as})

Selanjutnya hubungan linier di atas memberikan perumusan umur lelah siklus ganda yang dapat ditentukan dari umur lelah siklus tunggal:

$$N_b = \frac{N_1}{x} \quad (1)$$

dengan:

- x = faktor tergantung pada perbandingan amplitude σ_{ah}/σ_{as} dan perbandingan frekuensi f_h/f_1
- N_b = umur lelah siklus ganda
- N_l = umur lelah siklus tunggal

Perubahan nilai x sangat dipengaruhi oleh amplitude dan frekuensi - x bertambah besar apabila perbandingan amplitude dan frekuensi bertambah besar.

Faktor penurunan umur lelah pembebanan siklus ganda dirumuskan sebagai berikut :

$$x = \left(\frac{f_h}{f_1} \right)^v \frac{\sigma_{ah}}{\sigma_{al}} \quad (2)$$

dengan :

- x = faktor lelah beban siklus ganda
- v = faktor pengaruh bahan, untuk baja berkisar antara 1.3 ... 1.8

Substitusi nilai x dalam rumus (1) memberikan perumusan akhir untuk umur lelah beban siklus ganda sebagai berikut:

$$N_b = \frac{N_1}{x} = \frac{N_1}{\left(\frac{f_h}{f_1} \right)^v \frac{\sigma_{ah}}{\sigma_{al}}} = N_1 \left(\frac{f_1}{f_h} \right)^v \frac{\sigma_{al}}{\sigma_{ah}}$$

dengan:

N_1 = umur lelah bahan, sambungan, elemen dll yang sesuai beban siklus rendah - tunggal dengan amplitude

N_b = umur lelah beban siklus ganda yang selalu lebih kecil dari - sehingga perlu diadakan batas

untuk perbandingan frekuensi kecil yang menyebabkan peningkatan umur lelah beban siklus ganda pada kondisi penyelidikan tertentu.

Batas penggunaan rumus (3) ditetapkan sebagai berikut:

- Bila nilai perbandingan f_h/f_1 kecil umur lelah N_b dapat bertambah atau berkurang dalam batas :
- $\sigma_{ah}/\sigma_{al} < 0,3$ menghasilkan $\sigma_{as} < \sigma_{al}$ sehingga $N_b > N_1$
- $\sigma_{ah}/\sigma_{al} < 0,5$ menghasilkan $\sigma_{as} < \sigma_{al}$ sehingga $N_b > N_1$
- $\sigma_{ah}/\sigma_{al} > 0,3$ menghasilkan $\sigma_{as} < \sigma_{al}$ sehingga $N_b < N_1$

Kondisi berubah dalam hal f_h/f_1 cukup besar yaitu lebih dari 10, dimana pada perbandingan amplitude berapa pun selalu terdapat $\sigma_{as} > \sigma_{al}$ sehingga N_b selalu lebih kecil dari N_1

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa:

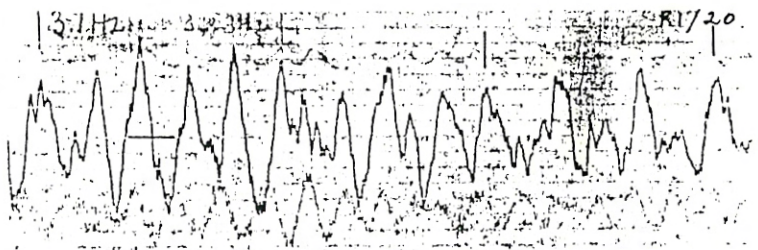
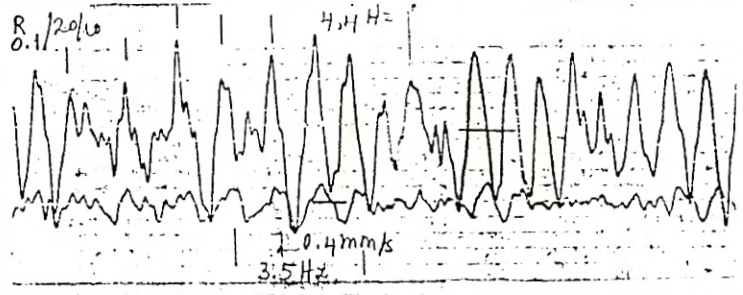
- a. Rumus (3) berlaku tanpa batasan untuk $f_h/f_1 \geq 10$
- b. Rumus (3) berlaku terbatas untuk $f_h/f_1 < 10$ dan dalam hal ini dapat memberikan perkiraan umur lelah (rumus) yang terlalu besar atau tidak tepat lagi.

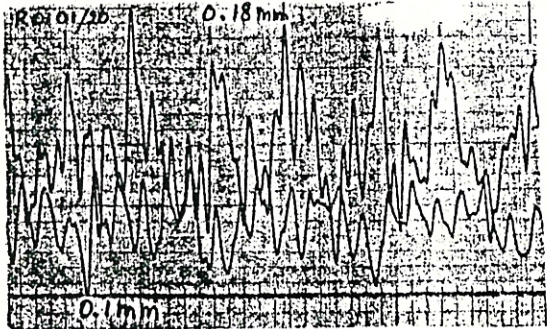
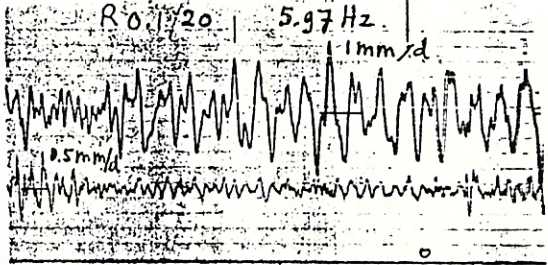
Berlakunya rumus (3) perlu diuji dan dimodifikasi lebih lanjut dengan mengadakan eksperimen - agar cara perhitungan umur lelah beban siklus ganda yang telah diuraikan di atas dapat digunakan untuk perhitungan teknik jembatan dalam batas variasi-perubahan amplitude dan frekuensi yang luas.

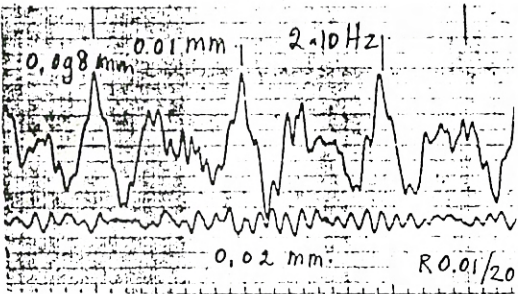
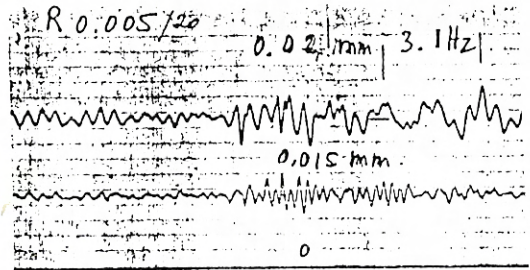
Hubungan-korelasi antara nilai x dan perbandingan frekuensi serta jenis baja terdapat dalam gambar 4.

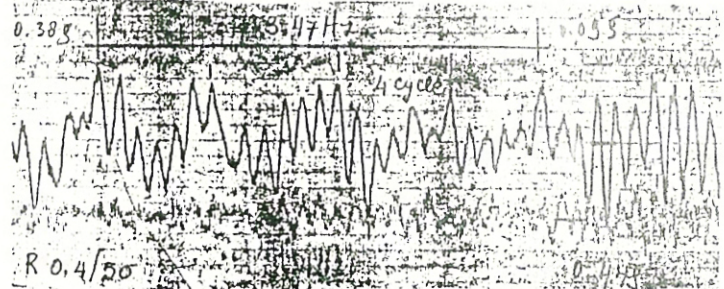

Nilai x dapat ditentukan juga dengan menggunakan nomogram dalam gambar 5.

III. CONTOH GETARAN BERSIKLUS GANDA

Struktur :	Rangka baja : bentang l = <u>50.3</u> meter (1) Jenis : <u>CH</u> Kelas : <u>A</u> / B			Pilar beton : tinggi h = <u>10</u> meter terhadap (1) dasar sungai Jenis : <u>TEMBOK</u> Pondasi : <u>TIANG PANCANG</u>			
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	
Amplitude:	-	1.5 - 10	-	-	0.1 - 1.1	-	
A _{ah} /A _{as}	/ =	1.5 / 10 = 0.15	/ =	/ =	0.1 / 1.1 = 0.1	/ =	
A _{ah} /A _{al}	/ =	1.5 / 8.5 = 0.17	/ =	/ =	0.1 / 1 = 0.1	/ =	
Frekuensi:	- Hz	2 - 12 Hz	- Hz	- Hz	2.85 - 14.3 Hz	- Hz	
f _h /f ₁	/ =	12 / 2 = 6	/ =	/ =	14.3 / 2.85 = 5	/ =	
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{0.9} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(6)^{0.9} 1.3(0.17)} = 1.48$ penurunan nilai struktur = <u>33</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{0.9} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(5)^{0.9} 1.3(0.1)} = 1.23$ penurunan nilai struktur = <u>10</u> %			
Rekaman	 <p>L.L. BERAT (VERT & MEL. : BICYCLIC)</p>			Mem. \leftrightarrow Vert \uparrow Mel.	 <p>L.L. BERAT</p>		
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>PEMALI</u>							

Struktur :	Rangka baja : bentang l = <u>120</u> meter Jenis : <u>CH</u> Kelas : <u>A / B</u>			Pilar beton : tinggi h = <u>25</u> meter terhadap dasar sungai Jenis : <u>TEMBOK</u> Pondasi : <u>SUMURAN</u>		
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>		
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g
Amplitude:	0.03 - 0.13	-	-	-	0.05 - 0.7	-
A _{ah} /A _{as}	0.03/0.13 = 0.23	/ =	/ =	/ =	0.05/0.7 = 0.07	/ =
A _{ah} /A _{a1}	0.03/0.10 = 0.30	/ =	/ =	/ =	0.05/0.65 = 0.08	/ =
Frekuensi:	2 - 12 Hz	- Hz	- Hz	- Hz	5.97 - 18 Hz	- Hz
f _h /f ₁	12/2 = 6	/ =	/ =	/ =	18/5.97 = 3	/ =
Umur lelah	$N_b = \frac{N_i}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(6)^{1.3(0.3)} = 2.01}$ penurunan nilai struktur = <u>50</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(3)^{1.3(0.08)} = 1.12}$ penurunan nilai struktur = <u>11</u> %		
Rekaman	 <p>L.L. BERAT (VERT & MEL: BICYCLIC)</p>		Mem. \leftrightarrow Vert \uparrow Mel.	 <p>L.L. BERAT.</p>		
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>KRASAK (120m)</u>						

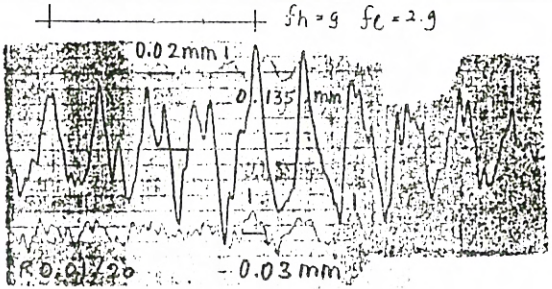
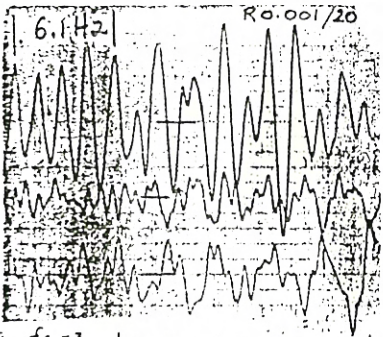
Struktur :	Rangka baja : bentang l = <u>60</u> meter (2) Jenis : <u>AUSTR</u> Kelas : <u>A</u> / B			Pilar beton : tinggi h = <u>10</u> meter terhadap (2) dasar sungai Jenis : <u>BALOK</u> Pondasi : <u>TIANG SUMURAN</u>		
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>		
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g
Amplitude:	0.015 - 0.09	-	-	0.002 - 0.02	-	-
A _{ah} /A _{as}	.015/.09 = 0.16	/ =	/ =	0.002/0.02 = 0.10	/ =	/ =
A _{ah} /A _{al}	.015/.075 = 0.2	/ =	/ =	.002/0.018 = 0.11	/ =	/ =
Frekuensi:	2 - 12 Hz	- Hz	- Hz	3.1 - 9 Hz	- Hz	- Hz
f _h /f ₁	12 / 2 = 6	/ =	/ =	9 / 3.1 = 3	/ =	/ =
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(6)^{1.3(.2)} = 1.6}$ penurunan nilai struktur = <u>37</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(3)^{1.3(.11)} = 1.17}$ penurunan nilai struktur = <u>15</u> %		
Rekaman			⇌ Mem. ↑ Vert Mel.			
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>BANTAR</u>						

Struktur :	Rangka baja : bentang l = <u>60</u> meter (1) Jenis : <u>Austr</u> Kelas : <u>A</u> / B			Pilar beton : tinggi h = <u>12</u> meter terhadap dasar sungai Jenis : <u>PORTAL</u> Pondasi : <u>TIANG PANCANG BAJA</u>			
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	
Amplitude:	-	-	0.2 - 0.36	-	-	0.03 - 0.16	
A _{ah} /A _{as}	/ =	/ =	0.1/0.36 = 0.27	/ =	/ =	0.03/0.16 = 0.2	
A _{ah} /A _{al}	/ =	/ =	0.1/0.26 = 0.38	/ =	/ =	0.03/.13 = 0.23	
Frekuensi:	- Hz	- Hz	3.47 - 20.8 Hz	- Hz	- Hz	7.14 - 57 Hz	
f _h /f ₁	/ =	/ =	20.8/3.47 = 6	/ =	/ =	57/7.14 = 8	
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(6)^{1.3(0.38)} = 2.4}$ penurunan nilai struktur = <u>58</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\theta} A_{ah}/A_{al}} = \frac{N_1}{(8)^{1.3(0.23)} = 1.86}$ penurunan nilai struktur = <u>46</u> %			
Rekaman				Mem. ↑ Vert Mel.			
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>COMAL</u>							

Struktur :	Rangka baja : bentang 1 = <u>60</u> meter (2) Jenis : <u>BLD</u> Kelas : A / <u>B</u>			Pilar beton : tinggi h = <u>10</u> meter terhadap (2) dasar sungai Jenis : <u>TEMBOK</u> Pondasi : <u>SUMURAN</u>			
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input type="checkbox"/> / melintang <input checked="" type="checkbox"/>			
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	
Amplitude:	-	1 - 7	-	-	0.05 - 0.3	-	
A _{ah} /A _{as}	/ =	1 / 7 = 0.14	/ =	/ =	0.05 / 0.3 = 0.17	/ =	
A _{ah} /A _{a1}	/ =	1 / 6 = 0.16	/ =	/ =	0.05 / 0.25 = 0.2	/ =	
Frekuensi:	- Hz	0.4 - 2.2 Hz	- Hz	- Hz	1 - 2 Hz	- Hz	
f _h /f ₁	/ =	2.2 / 0.4 = 5.5	/ =	/ =	2 / 1 = 2	/ =	
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(5.5)^{1.3(0.16)}} = 1.43$ penurunan nilai struktur = <u>30</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(2)^{1.3(0.2)}} = 1.2$ penurunan nilai struktur = <u>16</u> %			
Rekaman				Mem. \leftrightarrow Vert \uparrow Mel.			
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>TUKAD UNDA</u>							

Struktur :	Rangka baja : bentang 1 = <u>60</u> meter (2) Jenis : <u>BLD</u> Kelas : A / <u>B</u>			Pilar beton : tinggi h = <u>10</u> meter terhadap (2) dasar sungai Jenis : <u>TEMBOK</u> Pondasi : <u>SUMURAN</u>		
Getaran :	Arah vertikal <input type="checkbox"/> / melintang <input checked="" type="checkbox"/>			Arah memanjang <input type="checkbox"/> / melintang <input checked="" type="checkbox"/> .		
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g
Amplitude:	-	2.25 - 11	-	-	0.05 - 0.3	-
A _{ah} /A _{as}	/ =	2.25/11 = 0.20	/ =	/ =	0.05/0.3 = 0.17	/ =
A _{ah} /A _{a1}	/ =	2.25/8.75 = 0.26	/ =	/ =	0.05/.25 = 0.2	/ =
Frekuensi:	- Hz	0.52 - 2.1 Hz	- Hz	- Hz	0.42 - 2 Hz	- Hz
f _h /f ₁	/ =	2.1/.52 = 4.04	/ =	/ =	2/.42 = 4.7	/ =
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(4.04)^{1.3(0.26)}} = 1.6$ penurunan nilai struktur = <u>37</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(4.7)^{1.3(0.2)}} = 1.5$ penurunan nilai struktur = <u>33</u> %		
Rekaman				Mem. \leftrightarrow Vert \uparrow Mel.		
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>TUKAD UNDA</u>						

Struktur :	Rangka baja : bentang 1 = <u>60</u> meter (2) Jenis : <u>BLD</u> Kelas : A / <u>B</u>			Pilar beton : tinggi h = <u>10</u> meter terhadap (2) dasar sungai Jenis : <u>TEMBOK</u> Pondasi : <u>SUMURAN</u>		
Getaran :	Arah vertikal <input type="checkbox"/> / memanjang <input checked="" type="checkbox"/>			Arah memanjang <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>		
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g
Amplitude:	-	2 - 13	-	-	0.1 - 0.6	-
A _{ah} /A _{as}	/ =	2 / 13 = 0.15	/ =	/ =	0.1 / 0.6 = 0.17	/ =
A _{ah} /A _{a1}	/ =	2 / 11 = 0.18	/ =	/ =	0.1 / 0.5 = 0.2	/ =
Frekuensi:	- Hz	0.45 - 2.3 Hz	- Hz	- Hz	0.3 - 1.5 Hz	- Hz
f _h /f ₁	/ =	2.3 / .45 = 5.1	/ =	/ =	1.5 / 0.3 = 5	/ =
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{1.3} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(5.1)^{1.3} (0.18)} = 1.46$ penurunan nilai struktur = <u>31</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{1.3} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(5)^{1.3} (0.2)} = 1.5$ penurunan nilai struktur = <u>34</u> %		
Rekaman				Mem. \leftrightarrow Vert \uparrow Mel. \leftarrow		
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>TUKAD UNDA</u>						

Struktur :	Rangka baja : bentang 1 = <u>100</u> meter (4) Jenis : <u>BLD</u> Kelas : A / B			Pilar beton : tinggi h = <u>44</u> meter terhadap (4) dasar sungai Jenis : <u>PORTAL</u> Pondasi : <u>TIANG PANCANG BAJA</u>			
Getaran :	Arah vertikal <input checked="" type="checkbox"/> / melintang <input type="checkbox"/>			Arah memanjang <input type="checkbox"/> / melintang <input checked="" type="checkbox"/>			
Dimensi :	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	Simpangan mm	Kecepatan mm/d	Percepatan g	
Amplitude:	0.01 - 0.135	-	-	0.001 - 0.008	-	-	
A _{ah} /A _{as}	.01 / .135 = 0.07	/ =	/ =	0.001 / 0.008 = 0.125	/ =	/ =	
A _{ah} /A _{a1}	.01 / .125 = 0.08	/ =	/ =	.001 / .007 = 0.143	/ =	/ =	
Frekuensi:	2.9 - 12 Hz	- Hz	- Hz	3 - 12 Hz	- Hz	- Hz	
f _h /f ₁	12 / 2.9 = 4	/ =	/ =	12 / 3 = 4	/ =	/ =	
Umur lelah	$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(4)^{1.3(.08)}} = \frac{N_1}{1.15}$ penurunan nilai struktur = <u>13</u> %			$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^{\vartheta} A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{(4)^{1.3(.14)}} = \frac{N_1}{1.28}$ penurunan nilai struktur = <u>22</u> %			
Rekaman	 <p>L. L. RINGAN</p>			⇄ Mem. ↑ Vert Mel.	 <p>ARUS & L. L. RINGAN</p>		
PENURUNAN NILAI STRUKTUR JEMBATAN : <u>MAHAKAM</u>							

IV. PEMBAHASAN PENURUNAN NILAI STRUKTUR

4.1. Getaran Jembatan Rangka Baja

Getaran aktual akibat pembebanan lalu lintas pada jembatan rangka baja sering merupakan getaran siklus ganda sebagai reaksi dari tegangan siklus ganda dalam struktur. Dengan demikian pendekatan kelelahan getar dapat didekati secara identik dengan cara tegangan lelah siklus ganda - seperti uraian dalam bab. 2.

Kelelahan getar berdasarkan rasio amplitude dan frekuensi getaran siklus ganda - terhadap - siklus tunggal yang terjadi secara bersamaan, menjadi tolak ukur untuk menilai penurunan nilai struktur jembatan dan dirumuskan sebagai berikut:

$$N_b = \frac{N_1}{(f_h/f_1)^x A_{ah}/A_{a1}} = \frac{N_1}{x} \quad (4)$$

dengan :

Sisa nilai struktur = $(1/x) \cdot 100\%$ terhadap N_1

N_b = umur lelah getaran siklus ganda

N_1 = umur lelah getaran siklus tunggal yang identik dengan umur rencana jembatan

f_h / f_1 = rasio frekuensi getaran siklus ganda terhadap siklus tunggal

$A_{ah} / A_{a1} = A_{ah} / (A_{As} - A_{ah})$ = rasio amplitude ge-

aran siklus ganda terhadap siklus tunggal total.

A_{ah}/A_{a1} rasio amplitude getaran siklus ganda terhadap siklus tunggal bersih.

x Faktor bahan diambil 1.3 untuk baja dan beton

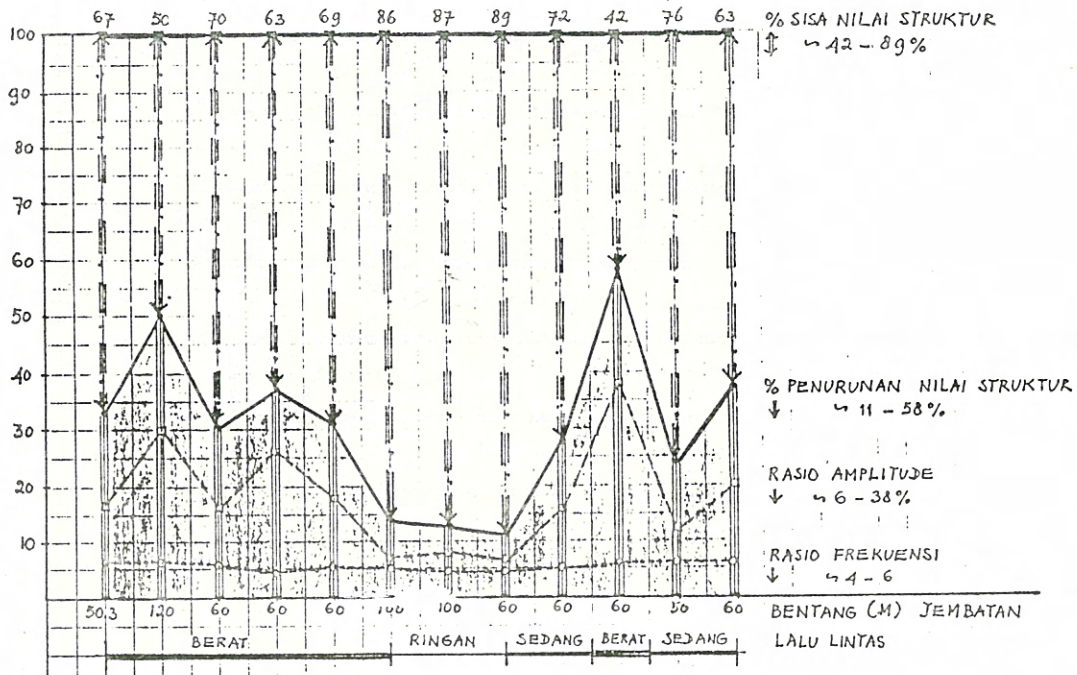
4.2 Penurunan Nilai Struktur Jembatan Rangka Baja

Penurunan nilai struktur pada bangunan atas rangka baja - Jenis Callender Hamilton - rangka Belanda - rangka Australia - serta pilar pendukungnya - diperhitungkan dalam contoh kasus Bab 3.

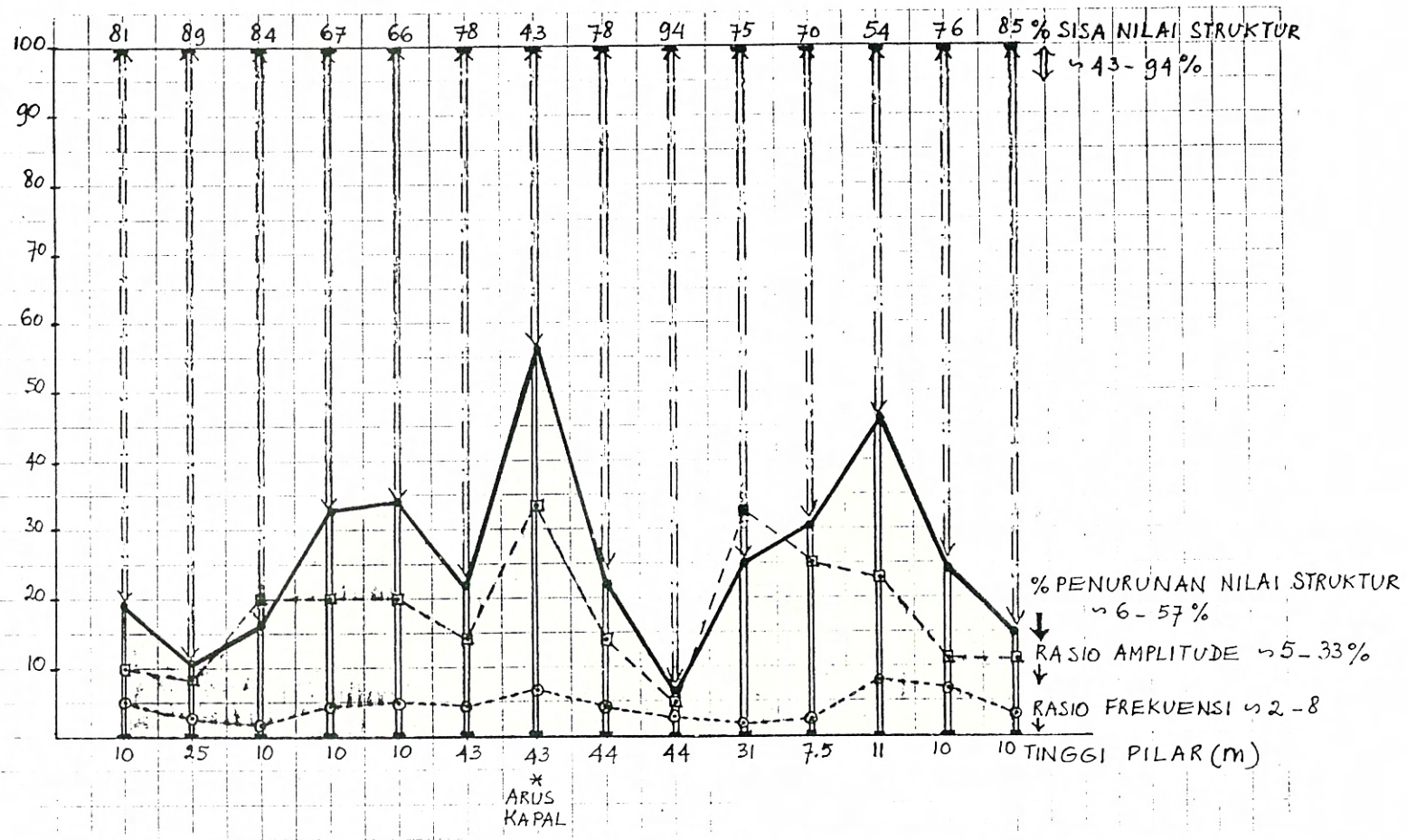
Perlu diperhatikan bahwa rasio amplitude dan frekuensi yang tanpa dimensi, merupakan perbandingan dalam rekaman getaran yang berdimensi simpangan mm, kecepatan mm/d, atau percepatan g (gravitasi 9,8 m/detik kuadrat). Fluktuasi dalam persentase penurunan nilai struktur berdasarkan tes getar sangat dipengaruhi oleh rasio amplitude dan frekuensi dari hasil rekaman yang menjadi dasar masukan data dalam rumus umur lelah (4).

Pada berbagai tingkat pembebanan, pengaruh rasio tersebut dapat digambarkan secara grafik dalam gambar 6 dan 7, masing-masing untuk bangunan atas rangka baja dan pilar.

Ikhtisar hasil perhitungan contoh kasus dalam penelitian ini terdapat dalam Tabel 2 dan 3 untuk bangunan atas serta pilar jembatan.



Gambar 6. Penurunan Nilai Struktur Bangunan Atas Rangka Baja Pada Rasio Amplitude Dan Frekuensi Getaran Siklus Ganda



Gambar 7. Penurunan Nilai Struktur Bangunan Pilar Jembatan - Pada Rasio Amplitude Dan Frekuensi Getaran Siklus Ganda

Tabel 2. Penurunan Nilai Struktur Pada Rasio Amplitudo dan Frekuensi untuk Bangunan Atas Rangka Baja-Jenis CH-BLD.-Aus.

Rasio Amplitudo %	Rasio Frekuensi	Umur lelah Sisa %	Penurunan Struktur %	Nilai	Dimensi Getaran	Arah Getaran	Bentang Rangka	Jenis Baja	Lalu Lintas
17	6	67	33	kecepatan	vert.		50.3	- CH	berat
30	6	50	50	simpangan	vert.		12060 mm	- CH	berat
16	5.5	70	30	kecepatan	vert.		60 m	- Bld	berat
26	4	63	37	kecepatan	mel.		60 m	- Bld	berat
18	5.1	69	31	kecepatan	mem.		60 m	- Bld	berat
7	4	86	14	kecepatan	vert.		100 m	- Bld	ringan
8	5	87	13	simpangan	vert.		100 m	- Bld	ringan
6,5	4	89	11	kecepatan	vert.		60 m	- Bld	ringan
16	5	72	28	kecepatan	vert.		60 m	- Aus	sedang
38	6	42	58	percepatan	vert.		60 m	- Aus	berat
12	6	76	24	simpangan	vert.		50 m	- Aus	sedang
20	6	63	37	simpangan	vert.		60 m	- Aus	sedang

Catatan : * Pada lalu lintas ringan tidak terjadi penurunan nilai struktur - lihat contoh kasus Jembatan Tukad Unda - Bab 3.

Tabel 3. Penurunan Nilai Struktur Pada Rasio Amplitudo dan Frekuensi untuk Bangunan Bawah Pilar-Jenis portal dan balok cap beton

Rasio Amplitudo %	Rasio Frekuensi	Umur lelah Sisa %	Penurunan Nilai Struktur %	Dimensi Getaran	Arah Getaran	Tinggi Pilar (Meter)	Lalu Lintas
10	5	81	19	kecepatan	mem.	10	berat
8	3	89	11	kecepatan	mem.	25	berat
20	2	84	16	kecepatan	mel.	10	berat
20	4.7	67	33	kecepatan	mel.	10	berat
20	5	66	34	kecepatan	mem.	10	berat
14	4	78	22	kecepatan	mel.	43	ringan
33	7	43	57*	kecepatan	mem.	43	arus kapal
14.3	4	78	22	simpangan	mel.	44	ringan
5	2.8	94	6	kecepatan	mel.	44	arus deras
33	2	75	25	kecepatan	mem.	31	ringan
25	3	70	30	kecepatan	mem.	7.5	sedang
23	8	54	46*	percepatan	mem.	12	berat
11				7			
11				3			

Catatan : Getatran siklus ganda kuat menyebabkan penurunan nilai struktur

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Persamaan antara studi literatur dan hasil pengukuran aktual menunjukkan bahwa tes tegangan dan tes getaran adalah dua cara yang dapat dimanfaatkan sebagai data masukan untuk penentuan penilaian struktur jembatan pada suatu kondisi pembebanan tertentu.

Jenis Struktur			
.Jembatan kereta api : gelagar & ikatan angin .Tiang terikat kabel		.Jembatan jalan raya : gelagar rangka baja & Pilar beton	
Jenis Tes			
Tegangan (bab 1)		Getaran (bab 3 & 4)	
Amplitude	Frekuensi	Amplitude	Frekuensi
σ_{ah}/σ_{as}	f_h / f_1	A_{ah}/A_{as}	f_h / f_1
0.05-0.25	1.5 - 100	0.05-0.27	2 - 8
Tingkat Penurunan Nilai Struktur			
berarti bila $f_h/f_1 > 10$		6 - 50 % untuk $f_h/f_1 < 10$	

Tabel 4. Studi literatur vs Hasil pengukuran

Penurunan nilai struktur jembatan tergantung pada:

- Intensitas dan karakteristik beban lalu lintas

- Lalu lintas berat meningkatkan rasio amplitude dan frekuensi
- Rasio amplitude dan frekuensi yang besar akan menurunkan nilai struktur - lihat Gambar 6 dan 7.

2. Saran

Kriteria kelelahan getar sampai sekarang tidak lajimi digunakan untuk penilaian jembatan. Versi analisis dalam laporan penelitian ini merupakan bahan untuk penyempurnaan evaluasi tes getaran dalam waktu mendatang.

VI. PUSTAKA

- Determination of Fatigue Life of Bicyclic Loaded Metal Structures, V.I. Trufiakov - V.S. Kovalchuk, IABSE Colloquium, Lausanne 1982.
- Laporan Penelitian Pengaruh Vibrasi pada Pilar Jembatan, L. Tristanto, Puslitbang Jalan, 1991.

Penulis :

Ir. Lanneke Tristanto, Ajun Peneliti Bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan. Bekerja di Direktorat Bina Program Jalan, Bina Marga tahun 1970 - 1979. Dan di Pusat Litbang Jalan tahun 1979 - Sekarang.