



# VIBRASI PILAR JEMBATAN M A H A K A M

Lanneke Tristanto

## RINGKASAN

Pilar jembatan sungai Mahakam merupakan tipe pilar dengan tiang pancang baja. Interaksi arus sungai pada struktur pilar menimbulkan vibrasi dengan intensitas cukup besar. Data hasil rekaman vibrasi dianalisa untuk memperoleh perilaku fleksibilitas arah lateral pilar dan pondasi sebagai kesatuan struktur. Analisa modal berdasarkan dimensi - rencana pilar yang terlaksana dan frekuensi aktual, sebagai parameter dalam pendekatan matematik stabilitas pilar dan pondasi.

## SUMMARY

The high pier of the Mahakam River Bridge was constructed with a steel pipe pile foundation. Lateral river flow interaction on the pier structure is causing noticeable vibration. Vibration recording data is analyzed to reflect the lateral flexibility of the pier and foundation structure.

Modal Analysis is based on the as built design and actual frequency, in the mathematical approach of pier and foundation stability.

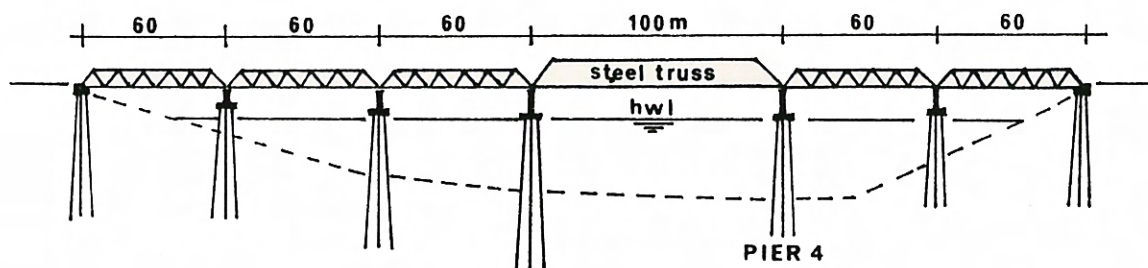
## PENDAHULUAN

Jembatan Mahakam dibangun dalam rangka penggantian penyeberangan ferry antara kota Samarinda & Balikpapan di Kalimantan Timur.

Pengukuran vibrasi bangunan atas dan pilar jembatan dilaksanakan untuk melengkapi data pemeriksaan kapasitas daya pikul jembatan secara keseluruhan.

Perencanaan pilar berdasarkan pertimbangan teknis yang mencakup kedalaman dasar sungai, elevasi air pasang & surut serta persyaratan ruang bebas untuk lalu lintas sungai.

Data vibrasi pilar no.4, yang berada pada arah arus dan kedalaman sungai (Gambar 1.), menunjukkan vibrasi menerus dengan intensitas cukup besar.



Gambar 1. Jembatan Sungai Mahakam.

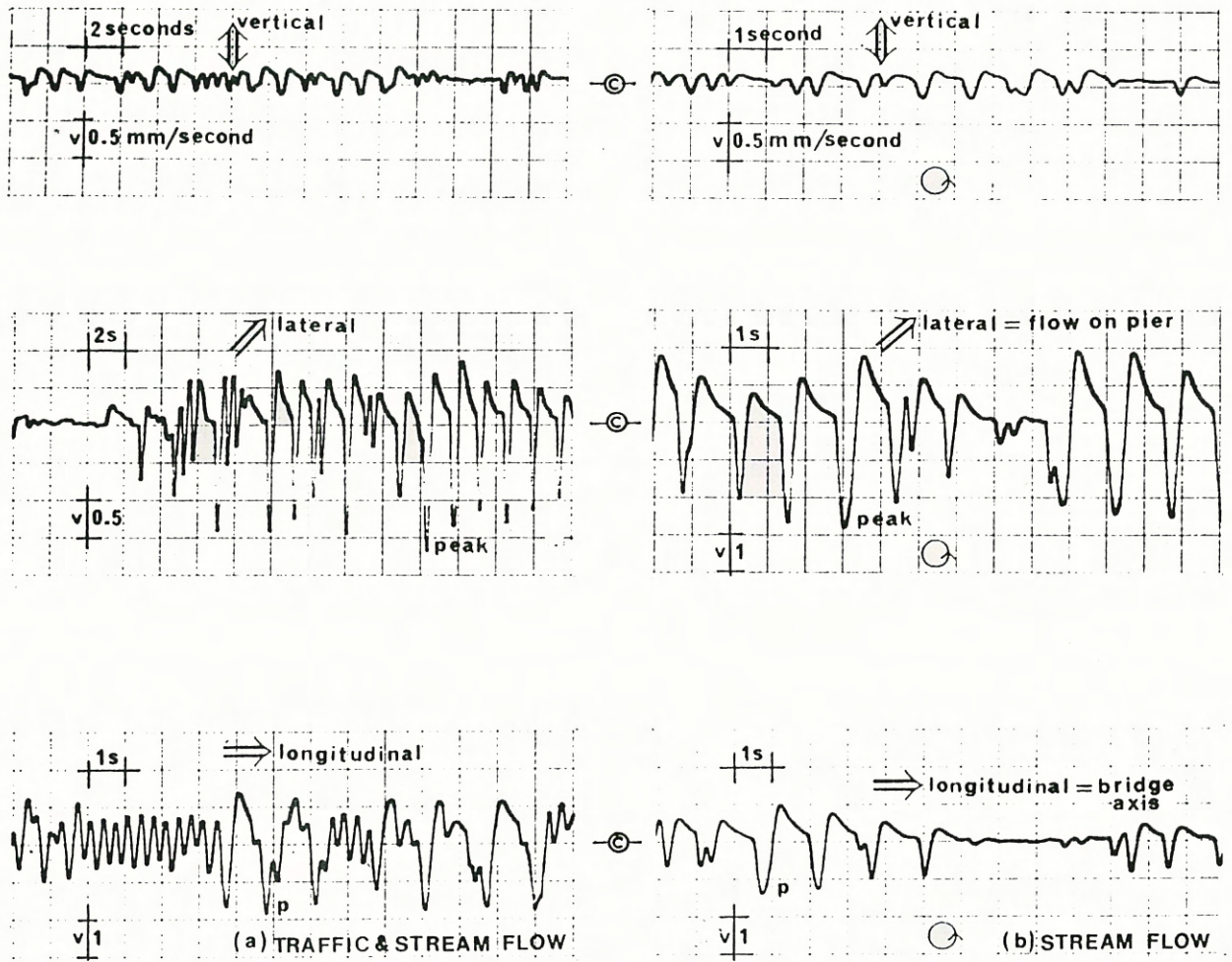
Stabilitas pilar no.4 ditinjau dari segi praktis dan teoritis sebagai berikut:

- Hasil pengukuran vibrasi - kecepatan vibrasi - dan - frekuensi - dalam 3 arah X-Y-Z pada lokasi puncak pilar
- Modal analysis teoritis dalam pendekatan perubahan bentuk pilar dan response struktural untuk simulasi gaya dan tegangan dinamis pada pondasi pilar

## TEST VIBRASI PILAR NO. 4

Pengukuran vibrasi dilaksanakan pada saat lalu lintas melewati Jembatan (Gambar 2a) dan saat jembatan kosong (Gambar 2b), dengan pengaruh arus sungai yang menerus.

Evaluasi data vibrasi terdapat dalam Tabel 1.



Gambar 2. Data Vibrasi.

Tabel 1. Evaluasi Data Vibrasi

Beban pada Jembatan + arus sungai	Arah Vibrasi	Intensitas Vibrasi	Frekuensi Natural
lalu lintas	vertikal	0.3 mm/detik	1.7 Hertz
kosong	vertikal	0.3 mm/detik	1.7 Hertz
lalu lintas	lateral	1.7 mm/detik	1.7 Hertz
kosong	lateral	2.8 mm/detik	2.0 Hertz
lalu lintas	longitudinal	1.8 mm/detik	2.5 Hertz
kosong	longitudinal	1.4 mm/detik	2.0 Hertz

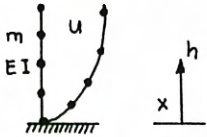


**PROSEDUR ANALISA VIBRASI PILAR**

Analisa vibrasi dengan cara 'Modal Analysis' merupakan perhitungan dinamis pendekatan untuk memperoleh respons vibrasi struktural akibat response vibrasi terukur pada puncak pilar.

Prosedur 'Modal Analysis' adalah sebagai berikut :

- (a). Penentuan massa m dan kekakuan EI struktur
- (b). Penentuan frekuensi sirkular  $\omega = 2 \pi F$  pada perubahan bentuk lentur 'mode shape'  $u = f(x,h) \sin \omega t = u_0 \sin \omega t$  berdasarkan :



Enersi Potential = Enersi Kinetik

$$\frac{1}{2} k u^2 = \frac{1}{2} m \dot{u}^2$$

$$\frac{1}{2} k u_0^2 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} m u_0^2 \omega^2 \cos^2 \omega t$$

Nilai maksimum pada :  $\sin \omega t = 1$   
 $\cos \omega t = 1$   
 $u_0 = u$

sehingga :

$$\frac{1}{2} \int EI (u'')^2 dx = \frac{1}{2} \omega^2 \int m u^2 dx$$

$$\omega^2 = \frac{\int EI (u'')^2 dx}{\int m u^2 dx}$$

$$\omega^2 = \frac{k^*}{m^*} = \frac{\text{'kekakuan'}}{\text{'massa'}}$$

- (c). Penentuan faktor perubahan bentuk - mode shape

$$\beta = \frac{\int m u dx}{\int m u^2 dx}$$

- (d). Penentuan respons struktural  $R_i$  pada respons vibrasi terukur di lapangan  $S_i$

$$R_i = \beta \cdot u \cdot S_i$$

sehingga akselerasi respons struktural :

$$a_r = \beta \cdot u \cdot S_a$$

dengan respons terukur di puncak pilar  $S_v$  :

$$S_a = \omega \cdot S_v = 2 \pi F \cdot S_v$$

- (e). Gaya P ekuivalen pada puncak pilar dan Momen M ekuivalen pada elevasi titik tetap pondasi ditentukan sebagai berikut :

$$P = \int m \cdot a_r \cdot dx$$

$$M = \int P \cdot x \cdot dx = \int m \cdot a_r \cdot x \cdot dx$$

**PERHITUNGAN ANALISA VIBRASI PILAR No.4.**

- a. Massa dan kekakuan arah lateral pilar adalah sebagai berikut:

x(m)	m = luas x $\rho$ / 9,8 td <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	EI tm <sup>2</sup> . 10 <sup>6</sup>
0.00 - d1 = 6	0.625 cincin tiang	172.98
6.00 - 37.5	4.03 cincin + beton	484.28
37.50 - 38.7	19.643 pilar	1941
38.70 - 39.5	12.347 pilar	1220
39.50 - 40.0	4.224	292
40.00 - 43.6	1.298 pilar	176.713
43.60 - 44.8	2.4408	205.983
44.80 - 47.785	1.298 pilar	176.713
47.785 - 48.585	1.001	275.645
48.585 - 49.785	53.554 pilar + jembatan	1062
49.785 - 50.085	4.285 pilar	531

- b. Frekuensi Pilar - Arah Lateral

Penentuan frekuensi pilar berdasarkan mode shape

$$u = x^2/h^2 \text{ dengan tinggi total efektif}$$

$$h = 50,085 \text{ m}$$

$$\omega^2 = \frac{\int EI (u'')^2 dx}{\int m u^2 dx} = \frac{\int EI (2/h^2)^2 dx}{\int m (x^4/h^4) dx} = \frac{4/h^4 \cdot EI x|_0^h}{1/5 h^4 \cdot m x^5|_0^h}$$

$$\omega^2 = \frac{14498 \text{ t/m}}{90.53 \text{ td}^2/\text{m}} = 160 \cdot 1/\text{detik}^2$$

$$\omega = 12.65 \text{ cps dan } F = 2.014 \text{ cps} \cong F \text{ terukur } 2 \text{ cps}$$

- c. Faktor Perubahan Bentuk - Arah Lateral

$$\beta = \frac{\int m u dx}{\int m u^2 dx} = \frac{121.98}{90.53} = 1.347$$

$$\text{dengan } \int m u dx = \int m \cdot x^2/h^2 \cdot dx = 1/3 h^2 \cdot m x^3|_0^h$$

- d. Akselerasi Respons Struktural

$$a_r = \beta u S_a = 1.347 (x^2/50.085^2) \cdot 2\pi \cdot 2 \cdot (2.8) \cdot 10^{-3} \text{ m/d}^2$$

$$\text{dengan } S_a = \omega S_v = 2 \pi F \cdot S_v$$

$$S_v = 2.8 \text{ mm/d pada } F 2\text{cps (test vibrasi)}$$

sehingga :

$$a_r = \int 0.00001889 \cdot x^2 \cdot dx \cdot \text{meter/detik}^2$$

- e. Gaya dan Momen Ekuivalen

$$P = \int m \cdot a_r \cdot dx = \int m \cdot 0.00001889 \cdot x^2 \cdot dx$$

$$= 0.00001889/3 \cdot m x^3|_0^h$$

$$= 5.78 \text{ ton}$$

$$M = \int m \cdot a_r \cdot x \cdot dx = \int m \cdot 0.00001889 \cdot x^3 \cdot dx$$

$$= 0.00001889/4 \cdot m x^4|_0^h$$

$$= 243.46 \text{ tm pada kedalaman } 6 \text{ m}$$

- f. Tegangan Tanah Pondasi - pada M ekuivalen

$$\sigma_s = (V_{bs} + V_M)/\text{luas tiang} = (131.84 + 5.8)/\frac{1}{4} \pi \cdot 1^2$$

$$= 175 \text{ t/m}^2 = 17.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (beban sendiri jembatan + M)}$$

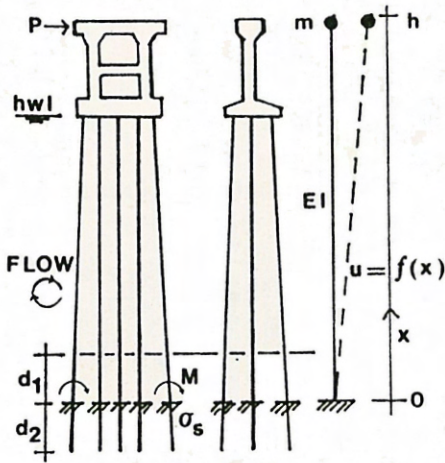
$$(19 \text{ kg/cm}^2 \text{ beban sendiri + hidup jembatan + M)}$$



**KESIMPULAN & SARAN ANALISA VIBRASI  
PILAR NO. 4**

i. Kesimpulan :

- Panjang tiang tertanam ( $d_1 + d_2$ ) dalam tanah - menentukan keamanan daya dukung - pondasi dangkal mempunyai daya dukung kecil (Gambar 3)
- Pengaruh arus sungai pada pilar dinyatakan dalam gaya  $P$  ekuivalen di puncak pilar dan Momen  $M$  ekuivalen di titik tetap pondasi (Tabel 2)
- Tinggi pilar adalah relatif besar terhadap kedalaman tiang tertanam - sehingga keseimbangan gaya dan momen pada daya dukung tanah pondasi- menentukan stabilitas pilar



Gambar 3. Pilar No.4

Tabel 2. Evaluasi Analisa Vibrasi

Frekuensi cps = Hz	Titik Tetap (m) $d_1 - d_2 - h$	P t	M tm
2.017 ( $\equiv$ frekuensi terukur)	6 -6.5-50.08	5.8	244 $\sigma_s = 19\text{kg/cm}^2$
1.938	7 -5.5-51.08	Pondasi kurang aman - bila frekuensi berkurang	
1.85	8 -4.5-52.08		
1.782	9 -3.5-53.08		
1.60	12.5-0.0-58.08		

ii. Saran :

- Proteksi pondasi pilar terhadap gaya arus dan gerusan dasar sungai - sehingga daya dukung tanah pondasi dipertahankan
- Efektivitas proteksi arus pada pilar - perlu ditinjau bersama gaya lateral lain yang bekerja pada jembatan - seperti gaya angin-

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Kursus Teknik Gempa - Puslitbang Pemukiman - 1982/88
2. Kursus Teknik Gempa - Puslitbang Pengairan - 1984/88
3. Laporan Test Beban dan Vibrasi Jembatan Mahakam-1986 Puslitbang Jalan

Penulis :

*Ir. Lanneke Tristanto, Ajun Peneliti bidang Konstruksi Bangunan Pelengkap Jalan. Bekerja di Direktorat Bina Program Jalan, Ditjen Bina Marga, tahun 1970-1979, dan di Pusat Litbang Jalan tahun 1979-sekarang.*