



# UJI GETAR PADA JEMBATAN TOL LAYANG DENGAN BEBAN LALU LINTAS AKTUAL

*Setyo Hardono*

## **RINGKASAN**

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengukur getaran aktual dari suatu jembatan layang tol akibat beban eksitasi getaran dari lalu lintas aktual. Pengukuran getaran dilakukan pada kondisi dimana tidak memungkinkan untuk dilakukan penyetopan lalu lintas. Posisi alat pendeteksi getaran (accelerometer) diletakkan pada bagian yang diprediksi bergetar secara dominan. Pada pier head, akselerometer ditempatkan pada ujung kantilever untuk merekam getaran arah vertikal dan dipasang ditengah bentang untuk gelagar. Getaran yang terjadi direkam secara real time dan simultan. Data tersebut kemudian diolah untuk memperoleh, intensitas getar, frekuensi getar yang tereksitasi dan mode shape. Contoh hasil pengukuran getaran dan evaluasinya disajikan dalam tulisan ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metoda yang dipakai dalam pengujian ini dapat digunakan untuk mengukur getaran jembatan layang tol dengan baik meskipun tanpa dilakukan penyetopan lalu lintas.

## **SUMMARY**

The main goal of this research is to measure actual vibration of fly over toll bridge due to vibration excitation of actual traffic. Measurement of vibration conducted at condition where do not enable to be stopping of the traffic. Position of the vibration instrument (accelerometer) put at a part of predicted vibrating dominantly. On the pier head, accelerometer placed at the end of cantilever to record vertical vibration and attached in the middle of span for the beam. Vibration is that occurred recorded in a real time and simultaneously. Then, data vibrations will be process to obtain intensity, excited frequency and mode shape. Sample results and evaluation of vibrations are also presented in this paper. The research indicate that method in this testing can be used to measure vibration of fly over toll bridge in a good result though disable to be stopping of the traffic.

## **I. PENDAHULUAN**

Jembatan sebagai struktur yang dilewati beban lalu lintas akan bergetar sebagai akibat beban hidup yang bekerja bersifat dinamis pula. Apalagi bila dilihat pada jembatan jalan layang tol dengan beban lalu lintas tiada henti maka jembatan layang tersebut akan bergetar terus menerus.

Uji getar pada jembatan layang ini dimaksudkan untuk mendapatkan respons getar aktual yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Dari respon yang timbul maka akan dievaluasi mengenai perilaku getar.

### **1. 2. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan respons getar dari jembatan yang didasarkan atas beban lalu lintas aktual sehingga akan didapat karakteristik struktur jembatan layang akibat beban lalu lintas.

### **1. 3. Pembatasan Masalah**

Tulisan ini ditekankan pada pengukuran getaran jembatan tol layang akibat beban lalu lintas aktual. Sebagai obyek penelitian adalah jembatan tol layang ruas Cawang – Tanjung Priok khususnya dibagian Sunter Steel Bridge.

## **II. DASAR TEORI**

Sistem getaran jembatan layang dapat dimodelkan sebagai sistem getaran SDOF (Single Degree of Freedom System) atau dimodelkan sebagai sistem getaran MDOF (Multi Degree of Freedom System). Dalam hal ini baik sebagai sistem getaran SDOF maupun MDOF maka asumsi dasar yang digunakan adalah ruas jembatan layang yang merupakan obyek ukur ini merupakan sistem getaran yang linear. Dengan menggunakan asumsi ini maka total respon getaran di suatu titik ukur merupakan superposisi masing-masing respon

getaran di titik ukur tersebut oleh masing gaya eksitasi getaran yang terjadi pada ruas jembatan layang pada waktu pengukuran getaran berlangsung. Dalam kasus ini gaya eksitasi getaran berasal dari gaya dinamik akibat melintasnya suatu kendaraan di ruas jembatan yang menjadi obyek ukur.

Pernyataan di atas dapat dikemukakan dalam bentuk model matematik sistem getaran MDOF sebagai berikut :

$$\frac{X_j}{F_k}(\omega) = \alpha_{jk}(\omega) = \sum_{r=1}^N \frac{(\psi_j)_r (\psi_k)_r}{(k_r - m_r \omega^2) + i(\omega c_r)} \quad (1)$$

Dimana :

- $X_j$  : simpangan getaran di titik ukur j.
- $F_k$  : Gaya eksitasi getaran di titik k.
- $\alpha_{jk}(\omega)$  : Fungsi respon frekuensi (FRF) dalam bentuk *Receptance*.
- N : jumlah modus getar
- $\psi_j$  : adalah bentuk modus getar (*mode shape*) pada modus getar ke r di titik ukur j.
- $k_r$  : kekakuan modal pada modus getar ke r.
- $m_r$  : massa modal pada modus getar ke r.
- $c_r$  : redaman modal pada modus getar ke r.
- $\omega$  : frekuensi angular (rad/s)
- f : frekuensi (Hz)

Dalam pengukuran di lapangan sensor getaran yang digunakan adalah *accelerometer* sehingga perumusan FRF di atas adalah berupa *Inertance* yang notasinya adalah  $A(\omega)$ . Hubungan antara  $A(\omega)$  dengan  $\alpha(\omega)$  adalah sebagai berikut :

$$A_{jk}(\omega) = \frac{\ddot{X}_j}{F_k}(\omega) = -\omega^2 \alpha_{jk}(\omega) \quad (3)$$

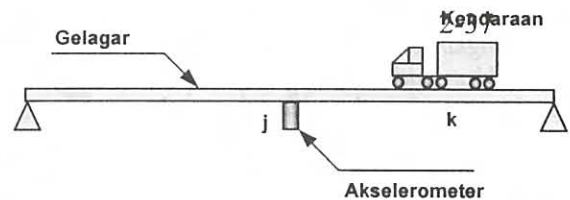
Bila diasumsikan bahwa getaran gelagar jembatan yang dideteksi oleh *accelerometer* yang terpasang di titik ukur j di tengah gelagar diakibatkan hanya oleh gaya dinamik kendaraan di bagian gelagar pada titik k maka besar percepatan getaran yang dideteksi oleh *accelerometer* di titik ukur j adalah :

$$\ddot{X}_j(\omega) = F_k(\omega) A_{jk}(\omega) \quad (4)$$

atau 
$$\ddot{X}_j(\omega) = -\omega^2 F_k(\omega) \alpha_{jk}(\omega) \quad (5)$$

Dalam hal ini baik  $A_{jk}(\omega)$  maupun  $\alpha_{jk}(\omega)$  merupakan karakteristik dinamik gelagar sebagai suatu sistem getar. Gambar 1 menunjukkan

visualisasi konsep yang telah diuraikan di atas. Roda kendaraan yang melewati titik k pada salah satu gelagar jembatan memberikan gaya eksitasi getaran kepada gelagar tempat melintasnya kendaraan dan getaran gelagar dideteksi oleh *accelerometer* di j. Dalam praktek, besar getaran yang dideteksi oleh *accelerometer* di j adalah merupakan kombinasi berbagai gaya eksitasi yang berasal dari posisi roda kendaraan sewaktu melintasi gelagar.



Gambar 1 Model kendaraan melintas sepanjang gelagar

Untuk mendapatkan respons frekuensi getaran pada titik uji maka data dalam bentuk percepatan dalam domain waktu ditransformasikan dengan fungsi Fourier sehingga didapat dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier untuk fungsi kontinyu dapat dilihat pada Persamaan (6) dan (7).

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (6)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (7)$$

Dalam penerapannya,  $x(t)$  dikenal hanya untuk interval waktu tertentu atau panjang data T, sehingga persamaan diatas menjadi :

$$X(\omega) = \int_0^T x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T X(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (9)$$

Pada umumnya, data untuk analisis dalam bentuk diskrit. Sehingga total data adalah N yang setara dengan banyaknya interval waktu  $\Delta t$  dan  $\Delta t = T/N$ . Sebagai konsekuensi teori Shannon maka  $\Delta t \leq \frac{1}{2f_{\max}}$ , dan  $f_{\max}$  adalah frekuensi maksimum sehingga  $\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$ .



Pada domain waktu dan domain frekuensi besaran diskrit dalam bentuk sebagai berikut :

Diskrit waktu varian :

$$t_n = n\Delta t = \frac{nT}{N}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Diskrit waktu sinyal :

$$\hat{x}(t_n) = \hat{x}(n\Delta t) = \hat{x}(n)$$

Diskrit frekuensi varian :

$$\omega_m = m\Delta\omega = \frac{2\pi m}{T}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Diskrit frekuensi sinyal :

$$\hat{X}(m) = \hat{X}(m\Delta\omega) = \hat{X}(m)$$

Sehingga diskrit transformasi Fourier (Discrete Fourier Transform – DFT), yang sama dengan persamaan 4 dan 5 menjadi :

$$\hat{X}(m) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}(n) e^{-j2\pi mn/N} \quad (10)$$

$$\hat{x}(n) = \frac{1}{N\Delta t} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{X}(m) e^{j2\pi mn/N}$$

dan bentuk akhir DFT adalah :

$$\hat{X}(\omega_m) = \sum_{n=0}^{N-1} \hat{x}(t_n) e^{-j2\pi mn/N} \quad (11)$$

$$\hat{x}(t_n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{X}(\omega_m) e^{j2\pi mn/N}$$

### III. PERALATAN PENGUJIAN

Untuk mendapatkan informasi yang menyeluruh tentang respon getaran jembatan layang yang menjadi obyek ukur ini, maka dilakukan pengukuran getaran pada *pier head* dan gelagar secara simultan.

#### 3.1. Akselerometer

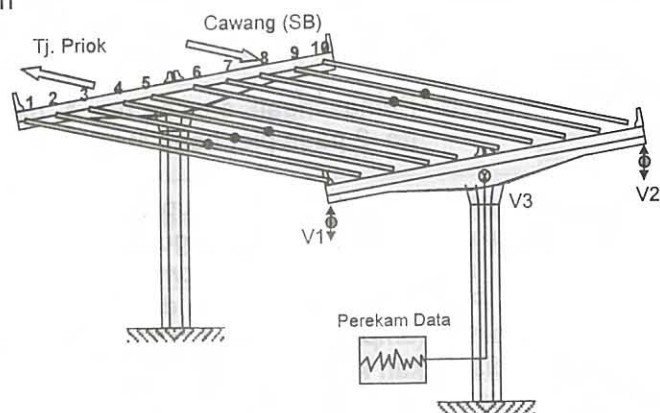
Analisis struktur diperlukan untuk menentukan pola deformasi getar (*mode shape*) yang mungkin terjadi. Dari hasil tersebut ditentukan posisi akselerometer. Pada *pier head* ditempatkan di ujung kantilever untuk merekam getaran arah vertikal dan dipasang pula di tengah *pier head* untuk merekam getaran longitudinal (searah lalu lintas).

Tiga gelagar pada ruas jembatan arah Tanjung Priok dipasang masing masing sebuah

*accelerometer* di bagian tengah gelagar dalam arah vertikal. Dua buah gelagar pada ruas jembatan layang arah Cawang, masing-masing dipasang *accelerometer* di tengah gelagar dalam arah vertikal.

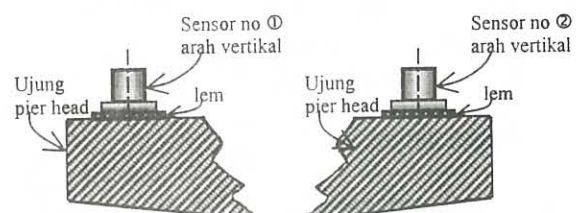
Sehingga dengan demikian terpasang sejumlah lima *accelerometer* pada lima gelagar dan tiga *accelerometer* pada *pier head* dan kolom. Getaran gelagar akibat kendaraan yang melintas dalam arah Tanjung Priok terutama dideteksi oleh tiga *accelerometer* sedang getaran gelagar akibat kendaraan yang melintas dalam arah Cawang diukur oleh dua *accelerometer*.

Skema pengujian pengukuran getaran pada *pier head* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat ukur getaran pada pier head standar

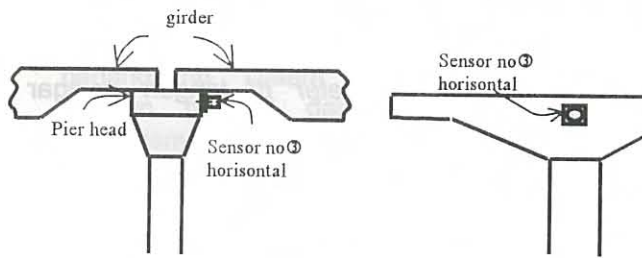
Sensor no. 1 dan no. 2 dipasang pada ujung pier head yang secara detail dapat dilihat pada gambar berikut.



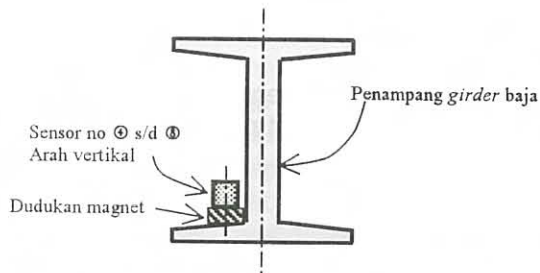
Gambar 3. Pemasangan sensor no. 1 dan no. 2 pada pier head standar

Pemasangan sensor no. 3 dapat dilihat pada Gambar 4. Girder jembatan layang Sunter *steel bridge* terbuat dari baja sehingga pemasangan sensor no. 4 sampai no. 8 dilekatkan dengan menggunakan kedudukan

magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4 Pemasangan sensor no. 3 pada pier head.



Gambar 5. Pemasangan sensor no. 1 dan no. 2 pada pier head standar

Respons getaran yang terukur berupa percepatan yang diukur dengan alat pengukur getaran frekuensi rendah yaitu *accelerometer* buatan *wilcoxon*. Pada instrumen getaran dipasang juga penguat sinyal (*amplifier*) yang selanjutnya sinyal tersebut disalurkan ke data logger.

### 3. 2. Data Akuisisi

Secara konseptual peralatan dan instrumentasi yang digunakan untuk pengukuran respon getaran jembatan layang di lapangan diperlihatkan dalam Gambar 2 dan Gambar 6. Sinyal getaran yang dideteksi oleh masing-masing *accelerometer* dikondisikan oleh *power unit & amplifier*. Kedelapan sinyal getaran langsung direkam secara simultan dan *real time* pada *data-recorder* dalam media pita magnetik sebagai sinyal analog.

### 3. 3. Kendaraan Uji

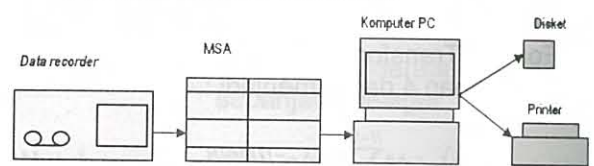
Mengingat jalan layang merupakan jalan tol, tidak memungkinkan menggunakan kendaraan uji tunggal, maka digunakan kendaraan aktual sebagai beban uji. Pengujian dilakukan pada kondisi lancar, macet dan sepi, dimana kondisi sepi ini diharapkan terjadi sinyal sinusoidal pada masing-masing *channel* sehingga akan didapat frekuensi ( $f$ ) dan rasio redaman ( $\xi$ ).

### 3. 4. Pengolahan Data Getaran secara Off Line

Pita-pita kaset hasil rekaman respon getaran dibawa ke Laboratorium untuk pengolahan data secara *off line*. Masing kaset diputar ulang pada *instrument data recorder* dan kedelapan luarannya dimasukkan secara simultan kedalam *MSA (Multi-channel Spectrum Analyzer)* seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.

Data yang diperoleh berupa data dasar data dasar yang luarannya dalam format berikut :

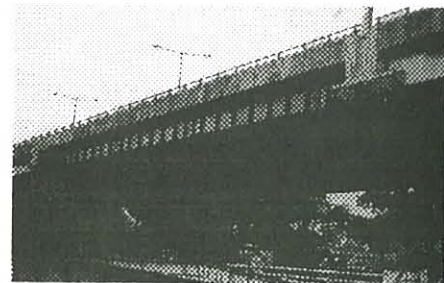
1. *Waveform* getaran dalam domain waktu, dilengkapi dengan data digital dalam format ASCII.
2. Spektrum frekuensi yang merupakan hasil konversi data domain waktu (*waveform*) kedalam domain frekuensi.



Gambar 6. Pengolahan data dasar getaran jembatan layang

## IV. DATA DAN ANALISIS DATA

Contoh respons getar struktur akibat beban lalu lintas truk tangki ke arah Tanjung Priok pada pukul 13.30 WIB disajikan pada gambar berikut.



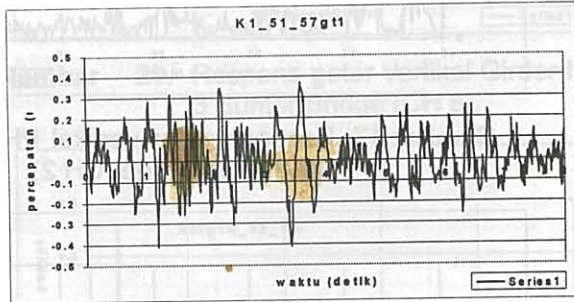
Gambar 7 Jembatan Sunter Steel Bridge Sebagai Obyek Penelitian

### 4.1. Getaran Pier Head dalam Time Domain

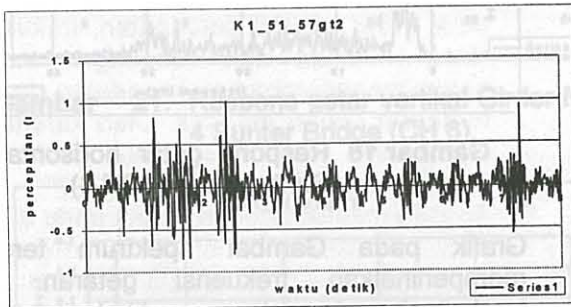
Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan respon getar vertikal ujung pier head yang terekam secara simultan. *North Bound (NB)* berarti sisi arah dari Cawang ke Tanjung Priok dan *South Bound (SB)* berarti sisi arah dari Tanjung Priok ke Cawang.



Perilaku getar berupa getaran acak yang mana disebabkan oleh banyaknya eksitasi yang bekerja pada pier head. Eksitasi tersebut dapat berupa beban langsung diatas pier head atau dari sistem interaksi struktur. Percepatan maksimum yang tercatat pada ujung pier head sebesar  $1.009 \text{ m/s}^2$ .

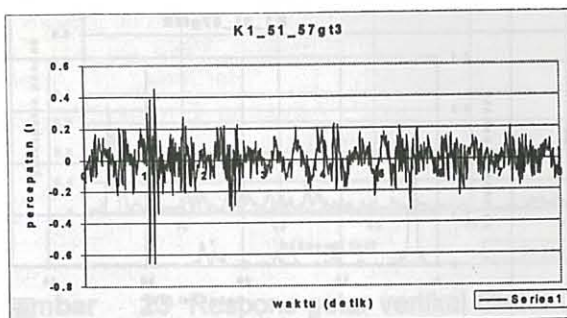


**Gambar 8** Respons getar vertikal PH Sunter Bridge sisi NB (CH 1)

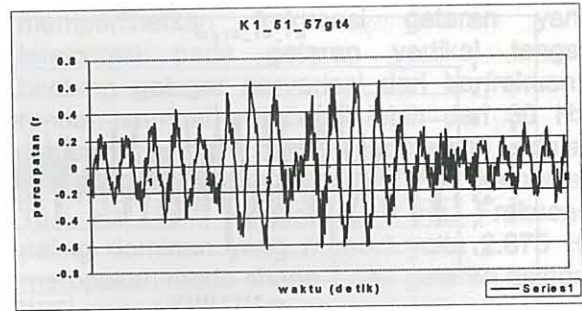


**Gambar 9.** Respons getar vertikal PH Sunter Bridge sisi SB (CH 2)

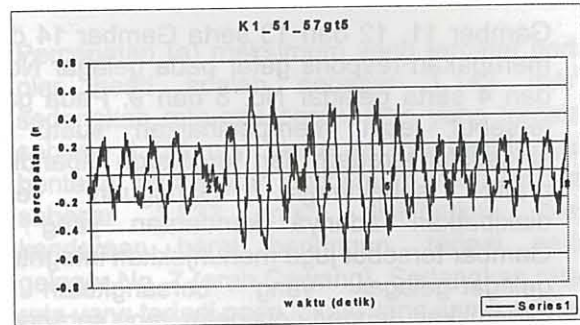
Gambar 10 memperlihatkan respon getar horisontal pada pier head. Pola getar juga terlihat acak sebagai akibat dari banyaknya eksitasi. Data ini juga memperlihatkan terdapat gerak longitudinal pada pier head. Pada kondisi normal percepatan yang terjadi cukup kecil yaitu sekitar  $0.175 \text{ m/s}^2$  dan terdapat puncak percepatan sebagai akibat beban rem.



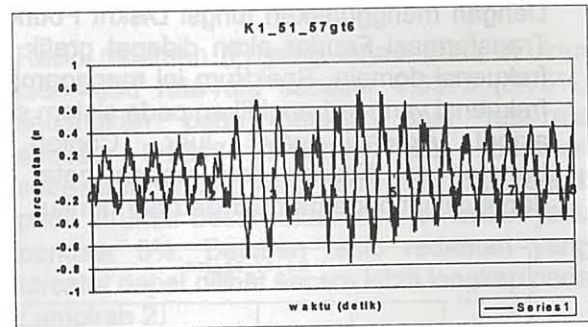
**Gambar 10** Respons getar horisontal PH Sunter Bridge sisi SB (CH 3)



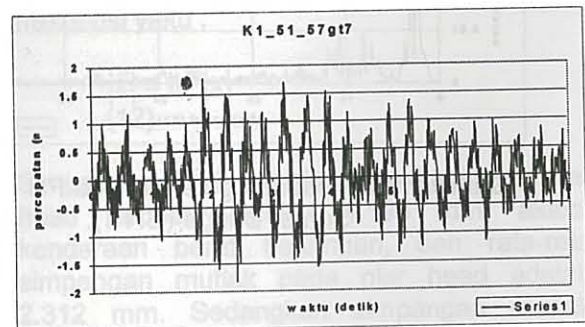
**Gambar 11** Respons getar vertikal girder No. 2 Sunter Bridge (CH 4)



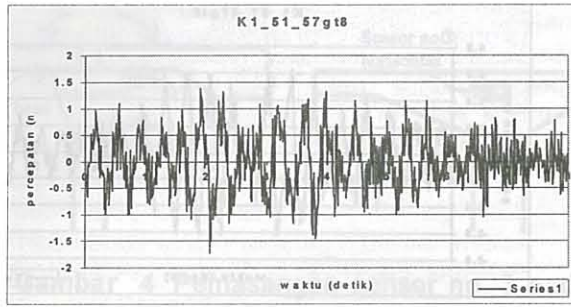
**Gambar 12** Respons getar vertikal girder No. 3 Sunter Bridge (CH 5)



**Gambar 13.** Respons getar vertikal girder No. 4 Sunter Bridge (CH 6)



**Gambar 14** Respons getar vertikal girder No. 8 Sunter Bridge (CH 7)

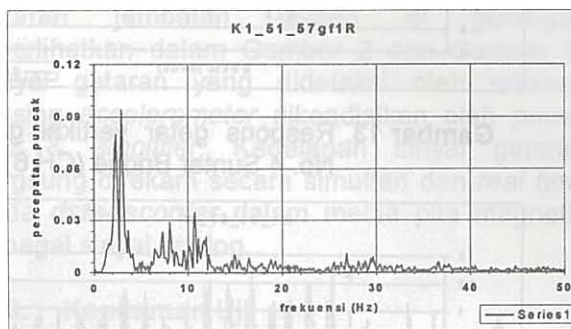


**Gambar 15** Respons getar vertikal girder No. 9 Sunter Bridge (CH 8)

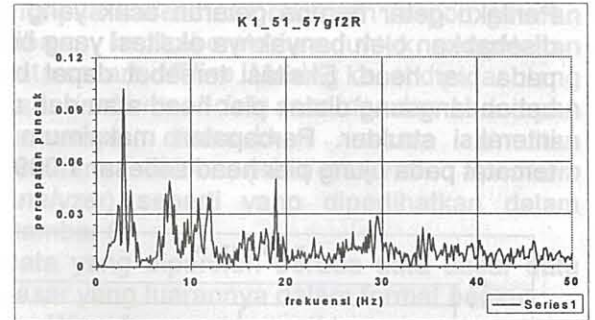
Gambar 11, 12 dan 13 serta Gambar 14 dan 15 merupakan respons getar pada gelagar No. 2, 3 dan 4 serta gelagar No. 8 dan 9. Pada gambar tersebut lebih memperlihatkan suatu grafik sinusoidal teredam dan terganggu dibandingkan grafik sebelumnya. Gangguan tersebut diakibatkan adanya kendaraan yang lewat. Gambar tersebut juga menunjukkan integritas dari gelagar-gelagar yang bersangkutan yang ditunjukkan dengan pola getar yang seragam.

#### 4.2. Getaran Pier Head dalam Frekuensi Domain

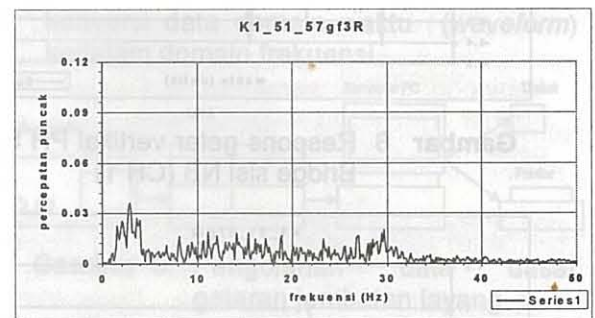
Dengan menggunakan fungsi Diskrit Fourier dan Transformasi Fourier akan didapat grafik dalam frekuensi domain. Spektrum ini menggambarkan frekuensi yang terbangkitkan pada sistem struktur akibat eksitasi gaya luar. Contoh hasil transformasi Fourier dari respon getar diatas dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



**Gambar 16** Respons getar vertikal PH sisi NB Sunter Bridge (CH 1).

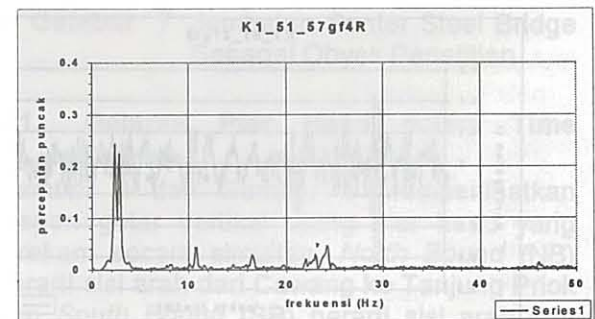


**Gambar 17** Respons getar vertikal PH sisi SB Sunter Bridge (CH 2).



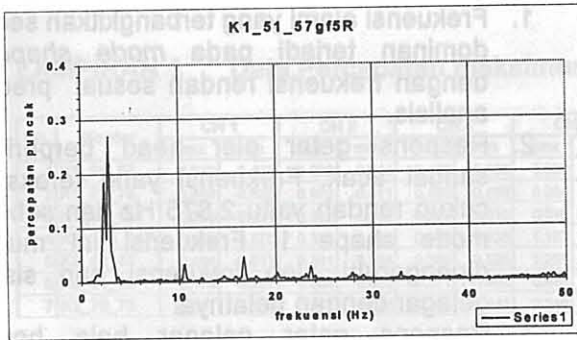
**Gambar 18** Respons getar horisontal PH Sunter Bridge (CH 3).

Grafik pada Gambar spektrum tersebut memperlihatkan frekuensi getaran yang tereksitasi pada getaran vertikal ujung pier head bervariasi dari berfrekuensi rendah sampai tinggi. Hal ini dikarenakan getaran yang terjadi berupa getaran acak seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Meskipun demikian frekuensi yang dominan terjadi adalah frekuensi rendah, yaitu sekitar 2.875 Hz. Hal ini juga terjadi pada getaran pier head arah longitudinal. Gejala ini nampaknya akibat pengaruh dari getaran yang terjadi pada gelagar.

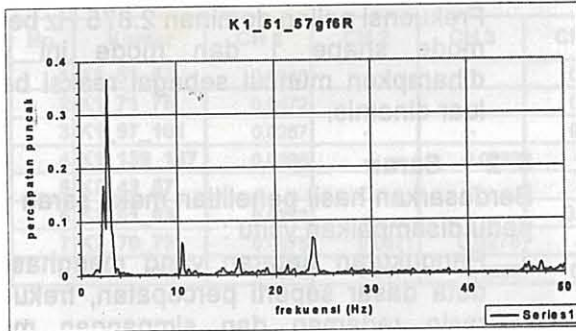


**Gambar 19** Respons getar vertikal Girder No. 2 Sunter Bridge (CH 4).

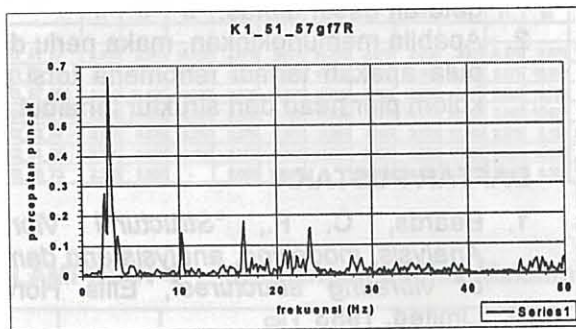




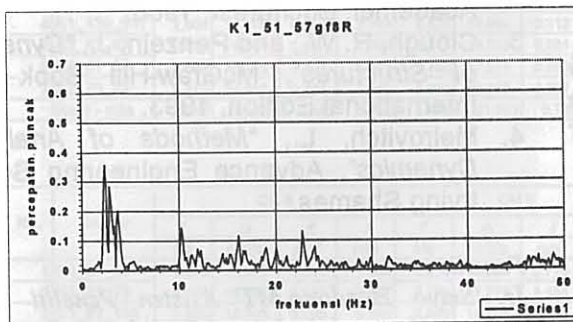
Gambar 20. Respons getar vertikal Girder No. 3 Sunter Bridge (CH 5).



Gambar 21. Respons getar vertikal Girder No. 4 Sunter Bridge (CH 6).



Gambar 22. Respons getar vertikal Girder No. 8 Sunter Bridge (CH 7).



Gambar 23 Respons getar vertikal Girder No. 9 Sunter Bridge (CH 8).

Grafik pada Gambar spektrum untuk gelagar (Gambar 19 sampai Gambar 23) juga memperlihatkan frekuensi getaran yang tereksitasi pada getaran vertikal tengah bentang gelagar bervariasi dari berfrekuensi rendah sampai mencapai lebih dari 30 Hz. Getaran yang paling dominan adalah berfrekuensi rendah yaitu 2.875 Hz kemudian 10.5 Hz, 16.5 Hz dan 23.5 Hz. Frekuensi paling dominan yang muncul yaitu 2.875 Hz merupakan mode shape 1 dari getaran gelagar dan mode ini yang diharapkan muncul sebagai reaksi dari beban luar dinamis. Besaran frekuensi yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 3

Percepatan (a) maksimum yang tercatat pada pier head adalah sebesar  $1.142 \text{ m/s}^2$ , sedangkan rata-rata percepatan yang tercatat sebesar  $0.734 \text{ m/s}^2$ . Untuk gelagar baja tengah bentang, percepatan maksimum yang tercatat sebesar  $1.833 \text{ m/s}^2$ , diakibatkan oleh kendaraan berat beriringan, terjadi pada gelagar No. 7 (arah Cawang). Sedangkan rata-rata yang terjadi pada lokasi yang sama adalah  $1.312 \text{ m/s}^2$ . Besaran percepatan yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 1.

Rasio redaman ( $\xi$ ) yang terjadi pada struktur pier head rata-rata sebesar 0.0375 (3.75%) sedangkan pada gelagar baja rata-rata sebesar 0.0318 (3.18%). Rasio redaman sebesar itu seperti yang pada umumnya terjadi pada struktur besar khususnya jembatan yaitu berkisar 5%. Besaran rasio redaman yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 2.

Simpangan mutlak struktur pada saat bergetar didapat dari hubungan percepatan dan frekuensi yaitu :

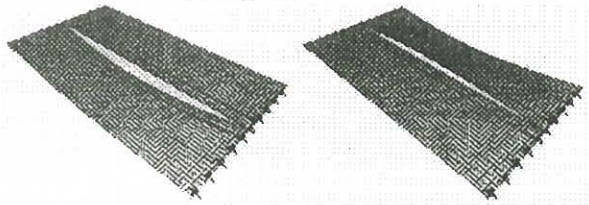
$$|\ddot{x}| = \omega^2 |x| \quad (12)$$

Simpangan mutlak pada ujung kantilever pier head terbesar adalah 4.198 mm, akibat kendaraan berat beriringan, dan rata-rata simpangan mutlak pada pier head adalah 2.312 mm. Sedangkan simpangan mutlak terbesar pada gelagar adalah 7.745 mm yang terjadi pada tengah bentang gelagar baja.

Besaran simpangan mutlak yang tercatat dapat dilihat secara lebih lengkap pada Lampiran 4

#### 4.3. Mode Shape

Seperti yang diuraikan sebelumnya, untuk keperluan pemasangan akselerometer dan sebagai kalibrasi hasil pengujian lapangan dilakukan analisis FEM. Mode getar pada jembatan layang dapat dilihat pada gambar-gambar berikut :



a. Mode 1 (lentur)

b. Mode 2 (torsi)

**Gambar 24** Mode getar pelat lantai jembatan layang Sunter Steel Bridge.

Seperti pada hasil analisis, mode shape 1 yang terjadi pada struktur pelat lantai merupakan perilaku lentur dengan frekuensi cukup rendah yaitu 2.875 Hz. Mode shape 1 ini yang diharapkan terjadi sebagai respons getaran struktur akibat beban lalu lintas. Sedangkan mode shape 2 merupakan perilaku puntir, dan sedapat mungkin dihindari pada struktur karena perilaku tersebut lebih berbahaya.

Pengujian dilakukan di lapangan diantaranya adalah untuk membuktikan mode shape yang mana yang dominan terjadi. Untuk itu diperlukan analisis pada akselerometer di channel 4,5 dan 6 atau pada gelagar 2,3 dan 4. Pada channel tersebut dievaluasi apakah terdapat perbedaan fasa getar dari masing-masing channel. Bila terjadi mode shape 1 maka perbedaan fasa dari channel-channel tersebut adalah  $0^\circ$ . Sebaliknya, bila terjadi mode shape 2 maka perbedaan fasa yang terjadi  $180^\circ$ .

Evaluasi yang dilakukan terhadap channel 4, 5 dan 6 ternyata tidak terdapat perbedaan fasa  $180^\circ$ , yang berarti perilaku getar aktual struktur lantai jembatan adalah mode shape 1.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran getaran aktual jembatan layang, *Sunter steel bridge*, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Frekuensi alami yang terbangkitkan secara dominan terjadi pada *mode shape* 1 dengan frekuensi rendah sesuai prediksi analisis.
2. Respons getar pier head berperilaku sangat acak. Frekuensi yang tereksitasi cukup rendah yaitu 2.875 Hz dan sebagai mode shape 1. Frekuensi ini muncul dipengaruhi oleh frekuensi dari sistem gelagar dengan pelatnya.
3. Respons getar gelagar baja berupa frekuensi rendah yaitu sekitar 2.875 Hz kemudian 10.5 Hz, 16.5 Hz dan 23.5 Hz berbentuk harmonik teredam terganggu. Frekuensi paling dominan 2.875 Hz berupa mode shape 1 dan mode ini yang diharapkan muncul sebagai reaksi beban luar dinamis.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka saran yang perlu disampaikan yaitu :

1. Pengukuran getaran yang menghasilkan data dasar seperti percepatan, frekuensi, rasio redaman dan simpangan mutlak belum menggambarkan keandalan struktur terhadap beban dinamis. Oleh karena itu diperlukan analisis lanjutan dari data getaran dasar diatas.
2. Apabila memungkinkan, maka perlu diukur pula apakah terjadi fenomena torsi pada kolom pier head dari struktur tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Beards, C. F., "*Structural Vibration Analysis, modelling, analysis and damping of vibrating structures*", Ellis Horwood Limited, 1983
2. Buzdugan, Gh., Mihăilescu, Elena., Radeş, Mircea., "*Vibration Measurement*", Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht and Editura Academiei, Bucharest, 1986.
3. Clough, R. W., and Penzein. J., "*Dynamics of Structures*", McGraw-Hill Book Co., International Edition, 1993.
4. Meirovitch, L., "*Methods of Analytical Dynamics*", Advance Engineering Series, Irving Shames.

### Penulis :

*Ir. Setyo Hardono, MT* Asisten Peneliti Muda bidang Konstruksi Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.



**LAMPIRAN 1 Data Percepatan maksimum Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH 1		CH 2		CH 3		CH 4		CH 5		CH 6		CH 7		CH 8		Kendaraan
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
1	K1_51_57	0.372	-0.413	1.009	-0.844	0.452	-0.658	0.630	-0.626	0.621	-0.641	0.743	-0.776	1.785	-1.819	1.382	-1.725	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	0.468	-0.628	0.972	-0.811	0.428	-0.496	0.964	-1.113	0.943	-1.052	1.188	-1.109	1.833	-1.662	1.589	-1.590	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	0.359	-0.321	0.922	-1.142	0.428	-0.510	0.616	-0.668	0.544	-0.708	0.555	-0.248	1.565	-1.572	1.540	-1.654	Lalin Padat
4	K1_139_147	0.486	-0.578	0.312	-0.218	0.463	-0.635	1.187	-1.336	1.150	-1.360	1.602	-1.644	0.758	-0.843	0.650	-0.747	Lalin Padat
5	K2_42_57	0.484	-0.617	0.361	-0.334	0.389	-0.525	1.251	-1.513	1.443	-1.169	1.597	-1.287	0.960	-0.879	0.903	-0.917	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	0.179	-0.207	0.684	-0.893	0.371	-0.402	0.444	-0.396	0.426	-0.391	0.481	-0.411	1.321	-1.002	1.363	-1.325	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	0.321	-0.270	0.877	-0.675	0.264	-0.348	0.246	-0.259	0.238	-0.242	0.258	-0.297	0.962	-0.763	0.857	-0.839	Trailer + Sepi

**LAMPIRAN 2 Damping Ratio Getaran Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	CH 6	CH 7	CH 8	Kendaraan
1	K1_51_57	0.0346	-	-	0.0448	0.0428	0.0312	0.0426	0.0520	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	0.0472	-	-	0.0293	0.0519	0.0407	0.0509	0.0308	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	0.0287	-	-	0.0291	0.0247	0.0270	-	-	Lalin Padat
4	K1_139_147	0.0395	-	0.0299	-	0.0301	0.0227	0.0161	0.0217	Lalin Padat
5	K2_42_57	-	-	-	-	0.0336	-	-	0.0203	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	0.0293	-	-	0.0245	0.0151	0.0235	-	-	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	0.0475	0.0371	0.0278	-	0.0235	0.0218	-	-	Trailer + Sepi
	Rata - rata	0.0378	0.0371	0.0288	0.0319	0.0317	0.0278	0.0365	0.0311	

**LAMPIRAN 3 Frekuensi (f) Getaran Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH1			CH2			CH3			CH4			CH5			CH6			CH7			CH8			Kendaraan		
		f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3	f1	f2	f3			
1	K1_51_57	2.875	2.375	10.750	2.875	2.375	10.750	2.875	2.000	3.625	2.375	2.875	10.750	2.875	2.375	10.875	2.875	2.375	10.500	2.875	2.375	10.250	2.375	2.875	10.250	2.875	10.250	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.250	9.750	11.000	2.875	11.375	16.000	2.500	16.000	24.625	2.375	16.500	10.750	2.625	10.500	20.250	2.750	10.375	16.125	2.500	23.375	10.250	2.375	10.250	16.250	2.375	10.250	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	11.125	10.375	2.625	11.250	16.750	2.500	16.250	16.750	2.500	10.750	16.750	2.500	23.500	10.625	2.500	10.375	16.125	2.500	10.250	23.375	2.500	12.000	16.500	2.500	12.000	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.500	10.500	16.000	2.875	11.125	19.625	3.875	16.375	20.125	2.500	10.625	16.500	2.875	10.625	16.750	2.750	10.375	16.250	2.875	10.250	23.750	2.500	10.375	12.000	10.375	12.000	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.875	9.375	19.250	2.375	4.875	9.250	4.000	2.375	13.750	2.375	5.125	9.625	2.375	16.750	23.500	2.375	10.500	21.250	2.375	5.875	10.250	2.375	10.375	16.125	10.375	16.125	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.500	8.625	10.750	2.750	8.625	17.625	2.625	4.000	17.625	2.625	10.750	16.875	2.625	16.750	10.750	2.750	10.500	15.500	2.500	10.250	16.750	2.500	10.375	12.000	10.375	12.000	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.375	8.000	-	8.000	15.250	-	4.000	8.375	15.750	2.500	8.375	16.625	2.875	10.625	16.625	2.875	10.375	16.125	2.375	8.250	10.250	2.375	8.250	10.375	8.250	10.375	Trailer + Sepi

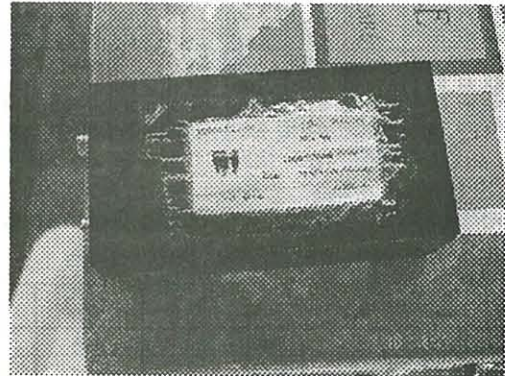
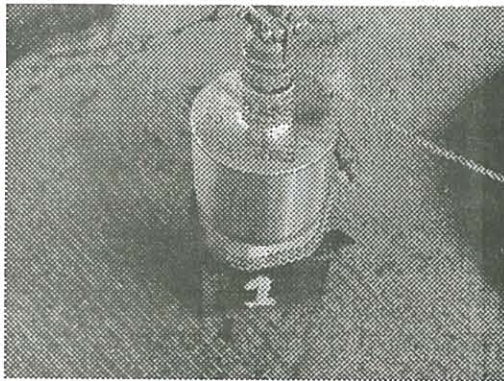
**LAMPIRAN 4 Simpangan Mutlak Maksimum Sunter Steel Bridge**

No.	Konter	CH 1				CH 2				CH 3				CH 4				Jenis Kendaraan
		f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	
1	K1_51_57	2.875	18.064	0.413	1.266	2.875	18.064	1.009	3.093	2.875	18.064	0.658	2.016	2.375	14.923	0.630	2.827	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.250	14.137	0.628	3.143	2.875	18.064	0.972	2.979	2.500	15.708	0.496	2.012	2.375	14.923	1.113	4.998	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	15.708	0.359	1.457	2.625	16.493	1.142	4.198	2.500	15.708	0.510	2.069	2.500	15.708	0.668	2.708	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.500	15.708	0.578	2.344	2.875	18.064	0.312	0.956	3.875	24.347	0.635	1.071	2.500	15.708	1.336	5.413	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.875	18.064	0.617	1.890	2.375	14.923	0.361	1.622	4.000	25.133	0.525	0.831	2.375	14.923	1.513	6.793	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.500	15.708	0.207	0.837	2.750	17.279	0.893	2.990	2.625	16.493	0.402	1.478	2.625	16.493	0.444	1.631	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.375	14.923	0.321	1.441	8.000	50.265	0.877	0.347	4.000	25.133	0.348	0.551	2.500	15.708	0.259	1.051	Trailer + Sepi
	Rata - rata	2.554	16.045	0.446	1.788	3.482	21.879	0.795	2.312	3.196	20.084	0.511	1.433	2.464	15.484	0.852	3.632	

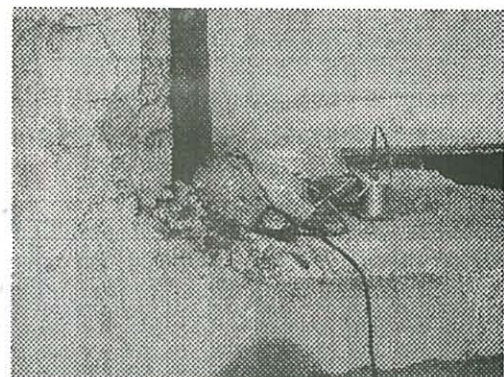
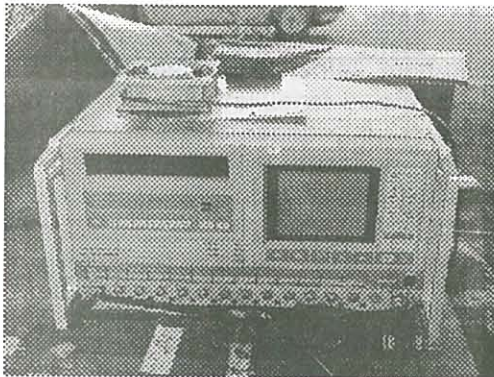
No.	Konter	CH 5				CH 6				CH 7				CH 8				Kendaraan
		f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	f	$\omega$	$\ddot{x}$	X	
1	K1_51_57	2.875	18.064	0.641	1.984	2.875	18.064	0.776	2.377	2.875	18.064	1.819	5.573	2.375	14.923	1.725	7.745	Truk Tangki Gas
2	K1_71_75	2.625	16.493	1.052	3.867	2.750	17.279	1.188	3.979	2.500	15.708	1.833	7.427	2.375	14.923	1.590	7.142	Kend. Beriringan
3	K1_97_101	2.500	15.708	0.708	2.668	2.500	15.708	0.555	2.249	2.500	15.708	1.572	6.371	2.500	15.708	1.654	6.703	Lalin Padat
4	K1_139_147	2.875	18.064	1.360	4.168	2.750	17.279	1.644	5.508	2.875	18.064	0.843	2.585	2.500	15.708	0.747	3.027	Lalin Padat
5	K2_42_57	2.375	14.923	1.443	6.482	2.375	14.923	1.597	7.172	2.375	14.923	0.960	4.310	2.375	14.923	0.917	4.119	T. Tangki + Macet
6	K2_61_65	2.625	16.493	0.426	1.566	2.750	17.279	0.481	1.610	2.500	15.708	1.321	5.354	2.500	15.708	1.363	5.524	Kontainer + Sepi
7	K2_70_73	2.875	18.064	0.242	0.740	2.875	18.064	0.297	0.911	2.375	14.923	0.962	4.320	2.375	14.923	0.857	3.847	Trailer + Sepi
	Rata - rata	2.679	16.830	0.839	3.094	2.696	16.942	0.934	3.401	2.571	16.157	1.330	5.134	2.429	15.259	1.265	5.444	



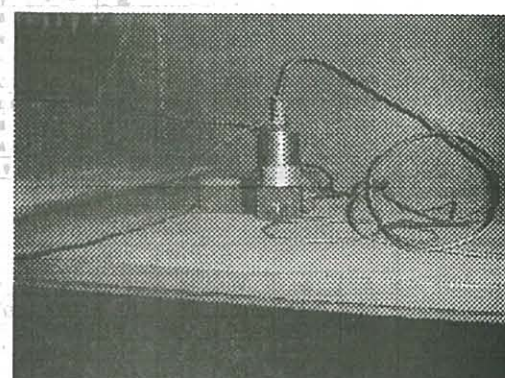
LAMPIRAN 5 Foto-foto kegiatan



Akselerometer dan amplifier



Data logger dan Pemasangan Akselerometer di PH



Pemasangan Akselerometer pada tengah Pier Head dan tengah girder baja