

Purwarupa Sistem Pemantau Getaran Jembatan Menggunakan Sensor Accelerometer

Ungguh Udianto^{*1}, Panggih Basuki², Suparwoto³

¹ Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

² Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

³ Jurusan Fisika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: ^{*1}ungguhu7@gmail.com, ²panggih@ugm.ac.id, ³suparwoto@ugm.ac.id

Abstrak

Telah berhasil dibuat rancangan purwarupa sistem pemantau getaran jembatan menggunakan sensor accelerometer ini terdapat sensor akselerometer MMA7361, board Arduino Uno, dan Modul Radio Frekuensi APC 220. Pada penelitian ini, dibuat simulasi getaran menggunakan purwarupa jembatan peraga dengan beban yang bervariasi sebagai percobaannya. Beban getaran divariasikan sebanyak tiga variasi. Sensor akan mendeteksi perubahan getaran yang ada pada jembatan saat dilalui oleh beban yang menggelinding di atasnya. Sensor akan mengirimkan sinyal analog ke Arduino Uno. Di dalam Arduino, sinyal analog akan diubah menjadi digital. Data tersebut dikirimkan ke ground segment secara wireless menggunakan Radio Frekuensi APC 220. Ground segment berfungsi sebagai pemantau dan penampil getaran yang dideteksi oleh sensor. Microsoft Office Access 2007 digunakan untuk media menyimpan database. Fast Fourier Transform (FFT) digunakan sebagai alat untuk menganalisis data. Data yang dianalisis adalah data percepatan yang tersimpan pada database. Data diambil sebanyak waktu tempuh beban menggelinding melewati purwarupa jembatan pada tiap variasi beban. Hasil dari analisis menunjukkan bahwasannya amplitudo pada tiap variasi accelerometer akan bertambah seiring dengan bertambahnya variasi beban.

Kata kunci— ArduinoUno, accelerometer, FFT

Abstract

Successfully build a prototype of measure vibration on a bridge using accelerometer sensor MMA7361L and board arduino uno and APC 220 modul radio. Prototype on this research will be simulate some kind of vibration data from bridge presented by visual aid with burden who varied as his experiments. There will be three variation of burden vibration at this experiment. Sensor will detect the changes of vibration that existed at bridge moment traverse by the load which rolled on it. Sensor will transmit analog signals to the Arduino Uno. In inside Arduino, signal is analog will converted into digital. Such data sent to ground segment basis wireless using the Radio Frequency APC 220. Ground segment is used to monitor the vibration that detected by sensor. Microsoft Office Access 2007 is used to media store the database. Fast Fourier Transform (FFT) is used as a a tool for analyze the data. The data which analyzed is the data acceleration which stored on database. Data taken as many as a travel time the burden of roll off passing through prototypes were the bridge on each variation the load. Resultsofthe analysisshowedthat thevariation ofthe amplitudeof eachaccelerometerwillincrease alongwith the increase ofload variation.

Keywords— Arduino Uno, Accelerometer, FFT

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai saluran irigasi dan pembuang. Semakin lebar halangan yang harus dilewati, makin besar panjang jembatan yang dibutuhkan. Jembatan yang dibangun harus direncanakan untuk mampu melewati lalu lintas yang dilayaninya dengan aman dan nyaman [1].

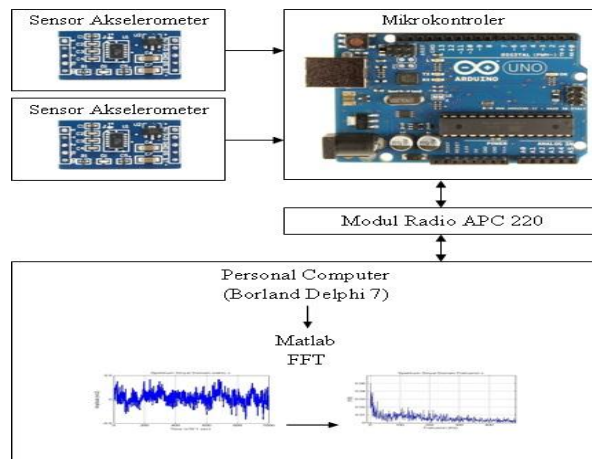
Dalam artikel [2], Masih banyak jembatan di Indonesia yang masih rawan putus atau runtuh dikarenakan konstruksi ataupun beban yang sangat besar melampaui kekuatan jembatan itu sendiri, akibatnya jembatan pun putus atau runtuh dan mengakibatkan banyak korban berjatuh. Sebagai contoh jembatan Kutai Kartanegara yang merupakan jembatan gantung terpanjang di Indonesia. Jembatan ini mempunyai panjang 710 meter, dengan bentang bebas, atau area yang tergantung tanpa penyangga, mencapai 270 meter.

Dari latar belakang tersebut diperlukan suatu alat yang berfungsi untuk memantau getaran pada sebuah jembatan yang sedang dilalui beban seperti mobil dan truk. Diharapkan bisa memberikan dan menampilkan data kepada pihak terkait.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Sistem Secara Keseluruhan

Perancangan purwarupa sistem pemantau getaran jembatan menggunakan sensor *accelerometer* terdiri dari dua bagian, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras meliputi pembuatan desain purwarupa jembatan, rangkaian skematik untuk bagian rangkaian pembagi tegangan, *shield* Arduino Uno, serta kotak untuk sensor, mikrokontroler, dan RF. Sedangkan perangkat lunak meliputi pembuatan program mikrokontroler, bagian pengolahan data. Skema sistem yang ingin dibangun ditunjukkan oleh Gambar 1.

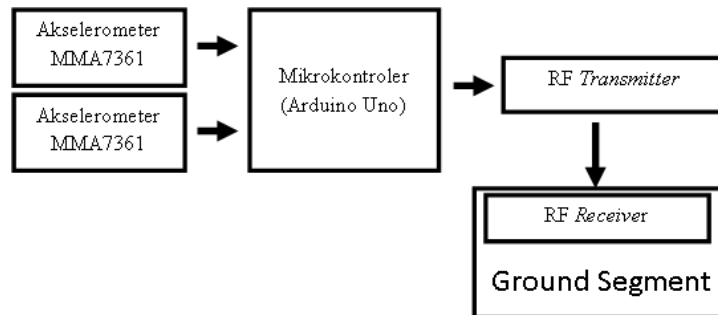


Gambar 1 Skema Sistem Purwarupa Pemantau Getaran Jembatan menggunakan sensor *accelerometer*

Pada Gambar 1 ditunjukkan skema purwarupa sistem pemantau getaran jembatan menggunakan sensor *accelerometer*. Kedua sensor akselerometer akan mendeteksi getaran lalu menyimpannya ke mikrokontroler ATmega 328 pada Arduino Uno. Microsoft Excel untuk membuat grafik dari data yang diperoleh. Komunikasi yang digunakan antara mikrokontroler dengan komputer adalah menggunakan Radio Frekuensi (RF). Pada kasus ini, obyek yang dideteksi adalah beban getaran yang menggelinding melintasi purwarupa jembatan divariasikan

sesuai kebutuhan percobaan. Data yang diterima pada delphi kemudian diolah menggunakan Matlab menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) agar dapat memperoleh amplitudo dari ranah frekuensi.

Purwarupa sistem pemantau getaran jembatan menggunakan sensor *accelerometer* ini terdiri dari beberapa bagian utama yang sesuai dengan diagram blok pada Gambar 2. Blok diagram purwarupa sistem ini terdiri dari sensor akselerometer MMA7361, Arduino Uno, dan Radio Frekuensi APC 220.



Gambar 2 Blok Bagian elektronik

Pada Gambar 2 tampak diagram blok bagian elektronik sistem yang terdiri dari :

1. Sensor akselerometer
Sensor berfungsi sebagai pendeteksi getaran.
2. Mikrokontroler
Berfungsi sebagai otak yang mengendalikan *input* masukan dan *output* keluaran.
3. PC
Berfungsi sebagai pemroses data dari mikrokontroler dan menampilkannya ke dalam bentuk grafik.

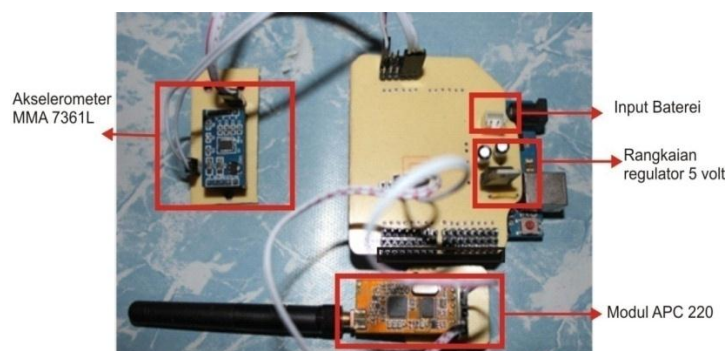
Sistem mikrokontroler ini digunakan sebagai pengolah data dari sensor. Data dari sensor akan diolah dan dikirim langsung ke PC melalui komunikasi Radio Frekuensi. Sistem mikrokontroler yang digunakan sistem ini adalah Arduino Uno.

Penggunaan pin Arduino disesuaikan dengan kebutuhan *interfacing*-nya[3]. *Output* Arduino hanya mengirimkan data serial ke *Ground Segment* melalui RF (Radio Frekuensi). Dan sebagai *input* Arduino adalah satu unit sensor yaitu sensor akselerometer. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi *input* getaran maupun percepatan terdiri dua sensor yaitu akselerometer MMA7361. Kedua sensor ini dihubungkan ke tegangan 5 volt. Sensor akselerometer MMA7361 ini diletakkan di luar kotak pengendali, sehingga tempat sensor berbeda dengan kontroller. Output sensor yang terdiri dari tiga keluaran analog tersambung pada pin A0, A1, A2 Arduino Uno. Pada rancangan akselerometer yang dibuat, Vdd dihubungkan dengan 5 volt, *g-select* dihubungkan dengan GND, sedangkan *sleep* dihubungkan dengan 3.3 volt. Sensitivitas yang dipakai pada akselerometer ini adalah 1.5g karena untuk mendeteksi getaran dibutuhkan sensitivitas yang besar. Data percepatan yang disimpan pada *Ground Segment*, kemudian data diambil sebanyak sebanyak 100 sebagai *sample*. Semua data sumbu X, Y, maupun Z dari tiap level di olah menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) guna mendapatkan amplitudo dari ranah frekuensi.

Discrete Fourier Transform merupakan transformasi Fourier dengan versi diskret yang biasanya digunakan untuk mengolah data digital. Algoritma DFT dapat menguraikan fungsi diskrit satu dimensi N titik dalam fungsi diskret kompleks n titik lainnya dalam n kuadrat langkah dan disebut dengan algoritma *Fast Fourier Transform*. Kedua metode algoritma ini digunakan untuk menghitung amplitudo sinyal spektrum dan power spektrum[4].

2.2. Implementasi

Implementasi terbagi menjadi dua yaitu implementasi *hardware* dan *software*. implementasi *hardware* ini dibagi menjadi dua bagian yaitu implementasi elektronik dan implementasi pembuatan *casing*. Bagian utama rangkaian elektronik dalam penelitian ini, yaitu rangkaian *shield* Arduinonya. Rancangan yang sudah diimplementasikan tampak pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian *Shield* Kontroller Arduino

Pada Gambar 3 tampak bahwa rangkaian *shield* kontroller Arduino terdiri dari pin untuk menyambung antara Arduino Uno, sensor akselerometer MMA 7361L, modul RF APC 220. Tegangan induk rangkaian diperoleh baterai sebesar 11,1 V. Regulator tegangan yang dibuat telah sesuai dengan rancangan, artinya untuk regulator 5V dengan IC 7805 menghasilkan *output* sebesar 5V dengan nilai ralat 0,2 V. implementasi bagian kontrollernya dibuatkan *casing* kotak plastik dengan panjang sebesar 18 cm, lebar 11 cm dan tinggi 6 cm. Terdapat beberapa komponen yang dipasang pada bagian ini yaitu baterai 11,1 V 1800 mah, Arduino Uno, dan Modul RF APC 220 yang digunakan sebagai *transmitter*. Modul RF APC 220 dipasang tegak lurus dari *casing*. Pada bagian ini hanya terdapat sensor akselerometer MMA 7361L saja. Sensor ini dibuatkan *casing* kotak plastik dengan panjang 10 cm, lebar 7,5 cm, dan tinggi 4 cm. Sensor diletakkan pada bagian tengah sensor.

Pada bagian kontroler ini hanya terdapat komponen modul RF APC 220 yang digunakan sebagai receiver, dan *USB to TTL Converter (CP210)* yang berguna untuk mengkonversi USB ke TTL/ CMOS atau sebaliknya. Kotak *casing* yang terbuat dari plastik dengan panjang 7,5 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 3 cm ini dilubangi untuk keluarnya antena RF. Gabus di dalam *casing* berguna untuk memperkokoh tegaknya RF. Setelah perangkat ini dihubungkan lalu dicari nama *port com* supaya dapat digunakan ketika pemrograman pada arduino serta pada HMI. Pengaturan parameter-parameter pada receiver ini dilakukan dengan bantuan *software* RF Magic (for APC 22x V 1.2A)[5].

Model purwarupa jembatan mempunyai panjang 142,5 cm, lebar 10,3 cm, dan tinggi ujung atas 15,5 cm tinggi ujung bawah jembatan 10 cm digunakan sebagai purwarupa jembatan peraga dimana tempat diletakkannya sensor. Sensor *accelerometer* diletakkan dibagian bawah purwarupa jembatan. Yang pertama diletakkan di ujung akhir jembatan dengan satu sensor, yang kedua sensor *accelerometer* diletakkan dibagian bawah purwarupa jembatan di ujung awal jembatan dan di ujung akhir jembatan. Purwarupa jembatan ini kemudian digetarkan menggunakan beban variasi yaitu bola beban dengan cara digelindingkan dari ujung atas purwarupa jembatan sampai akhir ujung purwarupa jembatan, kemudian proses menggelindingnya beban akan dihitung seberapa lama menggunakan stopwatch. Gambar 4 merupakan foto alat percobaan. Transformasi Fourier yang digunakan mengambil dari *toolbox* MATLAB[6].



Gambar 4 Foto Alat Percobaan

tampilanground *segment* yang terancang menggunakan Delphi 7. Fasilitas tampilan yang disuguhkan antara lain panel pengubah setelan komunikasi data *comport*, panel start data, stop data, dan refresh count. Untuk membuka komunikasi data dari jalur *comport*, digunakan *toolbar*, kemudian data paket yang akan diterima akan diolah masuk menggunakan *toolbar comdatapacket*.

Proses untuk pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil data dari getaran purwarupa jembatan yang disimulasikan dengan menggelindingkan sebuah beban berbagai variasi, yaitu 1 kg, 2 kg, 3 kg. Dimana dengan proses simulasi itu didapatkan data semakin besar beban yang melalui purwarupa jembatan semakin besar juga amplitudo berupa simpangan dari purwarupa jembatan. Hasil pembacaan sensor dilakukan selama beban melintasi purwarupa jembatan dari awal purwarupa jembatan hingga akhir lintasan purwarupa jembatan, data yang didapatkan sesuai panjang purwarupa jembatan yang hanya memiliki panjang 142,5 cm sehingga hanya memerlukan waktu beberapa detik untuk mencapai ujung purwarupa jembatan dari posisi awal beban menggelinding. Kemudian data yang diperoleh dalam melakukan percobaan menggunakan sensor accelerometer digunakan untuk mendapatkan hasil dari pantauan beban yang melewati purwarupa jembatan pada tiap variasi beban dan juga variasi letak sensor accelerometer MMA 7361 yang di tempatkan pada bagian bawah purwarupa jembatan.

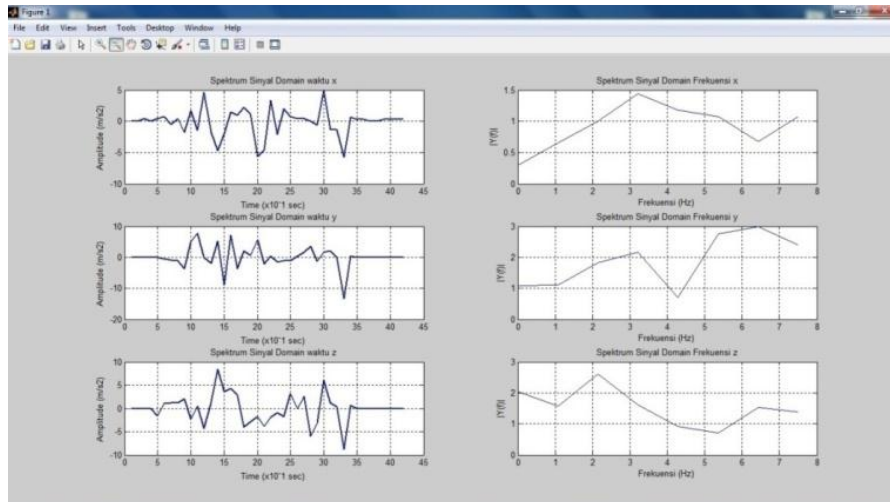
Data yang diperoleh saat beban melintasi purwarupa jembatan dari awal menggelinding hingga ujung purwarupa jembatan berbeda – beda dengan panjang purwarupa jembatan 142,5 cm, namun waktu tempuh selama beban melintasi purwarupa jembatan dari awal hingga akhir tidak terpaut jauh pada tiap beban hanya berselisih beberapa milisekon, data yang didapatkan dianalisis menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* pada matlab. Proses FFT dilakukan setiap 1000 data masukan waktu. Pada pengujian ini digunakan untuk mengetahui besarnya simpangan maksimum, yang dapat diperoleh dari amplitudo, pada masing – masing variasi beban dan variasi letak sensor accelerometer MMA 7361. *frekuensi sampling* sebesar 15 Hz digunakan pada matlab.

Analisis purwarupa jembatan ini menitikberatkan pada pencarian besarnya simpangan maksimum yang diperoleh dari besarnya amplitudo pada purwarupa jembatan saat dilintasi tiap variasi beban dari awal ujung mulai purwarupa jembatan hingga ujung akhir purwarupa jembatan.

Pada pengujian ini getaran yg diperoleh oleh variasi beban yg melintas pada purwarupa jembatan akan diamati simpangan maksimum yang terjadi oleh sensor saat sensor dipasang pada ujung akhir purwarupa jembatan dan saat sensor dipasang dua diawal ujung purwarupa jembatan dan pada akhir ujung purwarupa jembatan dengan lama waktu selama beban melintas purwarupa jembatan.

Pada pengujian 1 sensor beban 1 kg, getaran yang dihasilkan oleh beban 1 kg tidak begitu kuat untuk menghasilkan getaran saat jembatan dilintasi. Pada kondisi ini sensor accelerometer MMA 7361 terletak diujung akhir jembatan sehingga didapat pantuan beban 1kg

saat melintasi purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm waktu tempuh selama 00:03.98 . Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik .Grafik getaran yang ditampilkan merupakan grafik percepatan *versus* waktu. Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X, Y, dan Z. Pada beban 1 kg terdapat tiga grafik percepatan *versus* waktu.



Gambar 5 Sinyal dalam Satuan Waktu dan satuan Frekuensi Saat 1 Sensor beban 1 kgX1, Y1, dan Z1

Grafik sebelah kiri (Gambar 5) menunjukkan grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 1kg.Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu.Kemudian untuk dapat mengetahui amplitudo dalam satuan frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).hasilnya terlihat pada grafik sebelah kanan (Gambar 5).

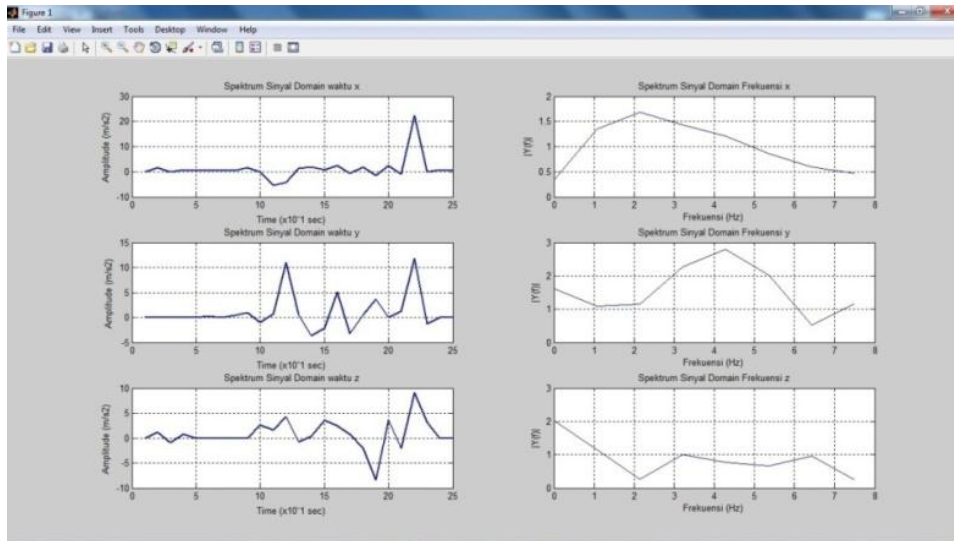
Dapat dilihat dari Gambar 6.4 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X sebesar 1,4401 cm dengan frekuensi dasar 3,2 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y sebesar 2,9959 cm dengan frekuensi dasar 6,4 Hz. Untuk sumbu Z mempunyai amplitudo tertinggi 2,6095 cm pada frekuensi dasar 2,15 Hz.

Pada pengujian 1 sensor beban 2 kg ini, getaran yang dihasilkan oleh beban 2 kg menunjukkan kenaikan sehingga getaran yang dihasilkan mulai menguat dari hasil saat menggunakan beban 1 kg untuk menghasilkan getaran saat jembatan dilintasi. Pada kondisi ini sensor *accelerometer* MMA 7361 terletak diujung akhir jembatan sehingga didapat pantauan beban 2 kg saat melintasi purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm waktu tempuh selama 00:03.63. Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik .Grafik getaran yang ditampilkan merupakan grafik percepatan *versus* waktu. Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X, Y, dan Z. pada beban 2kg terdapat tiga grafik percepatan *versus* waktu.

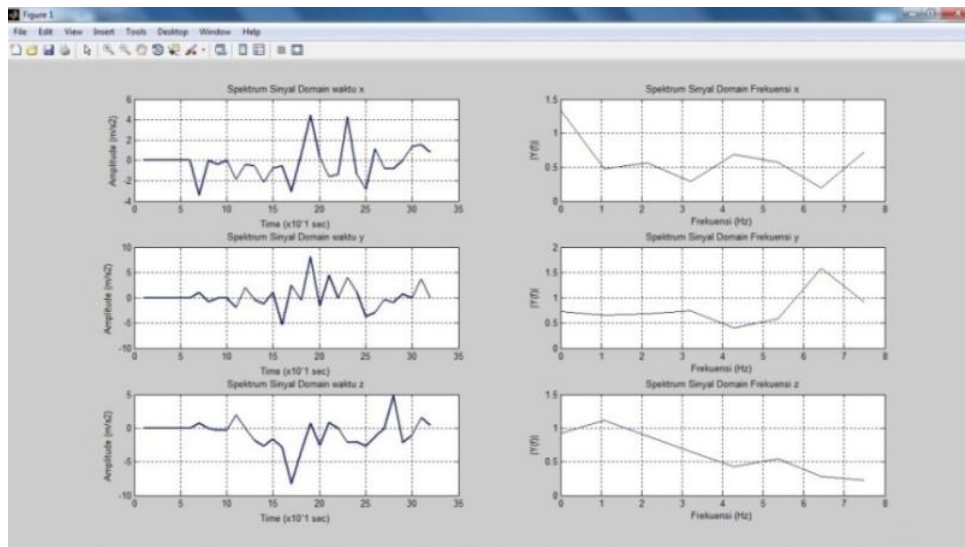
Grafik sebelah kiri (Gambar 6) menunjukkan grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 2 kg.Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu.Kemudian untuk dapat mengetahui amplitudo dalam satuan frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).hasilnya terlihat pada grafik sebelah kanan (Gambar 6).

Dapat dilihat dari Gambar 6.8 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X sebesar 1,6869 cm dengan frekuensi dasar 2,15 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y sebesar 2,8085 cm dengan frekuensi dasar 4,3 Hz. Untuk sumbu Z mempunyai amplitudo tertinggi 2,0131 cm pada frekuensi dasar 0 Hz.

Pada kondisi ini, getaran yang dihasilkan pantauan peningkatan getaran sangat kuat dari pengujian beban 1 kg dan 2 kg. sensor *accelerometer* MMA 7361 terletak diujung akhir jembatan sehingga didapat pantauan beban 3 kg saat melintasi purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm waktu tempuh selama 00:03.04 . Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik .Grafik getaran yang merupakan grafik percepatan *versus* waktu.Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X, Y, dan Z. pada beban 3 kg terdapat tiga grafik percepatan *versus* waktu.



Gambar 6 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 1 sensor beban 2 kg X1, Y1, dan Z1

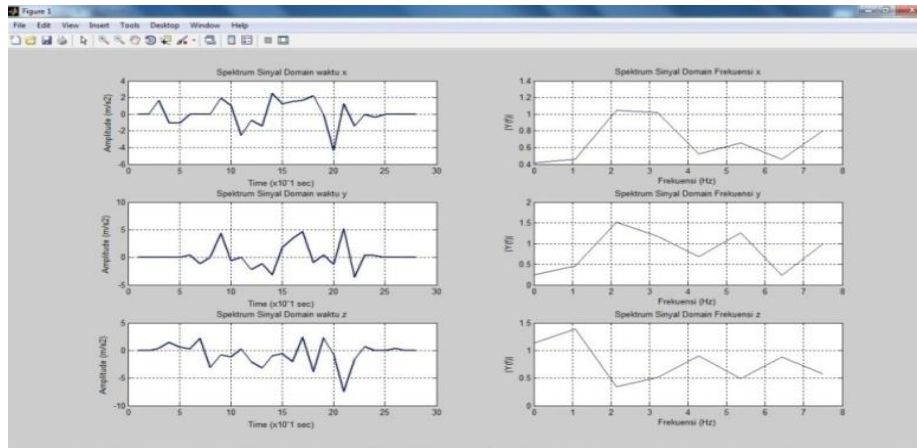


Gambar 7 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 1 sensor 3 kg X1, Y1, dan Z1

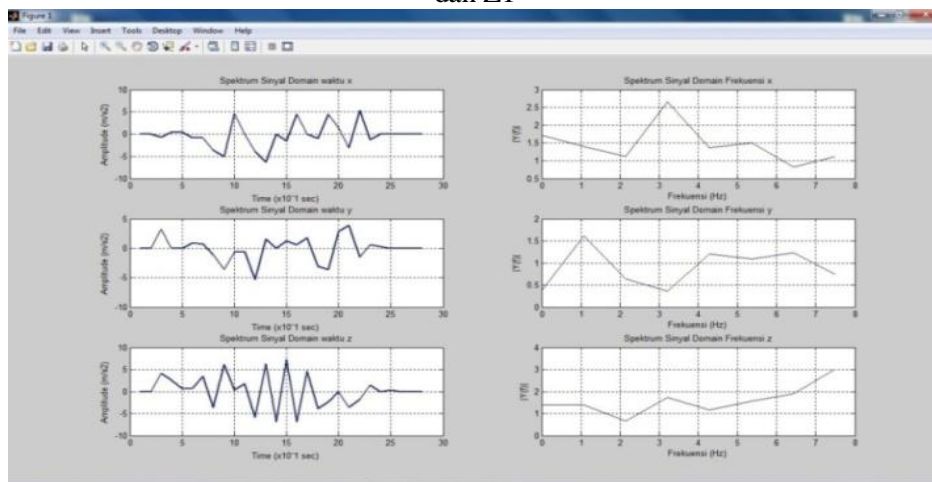
Grafik sebelah kiri (Gambar 7) menunjukkan grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 3 kg. Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu. Kemudian untuk dapat mengetahui amplitudo dalam satuan frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasilnya terlihat pada grafik sebelah kanan (Gambar 7).

Dapat dilihat dari Gambar 6.12 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X sebesar 1,3421 cm dengan frekuensi dasar 0 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y sebesar 1,5810 cm dengan frekuensi dasar 6,4 Hz. Untuk sumbu Z mempunyai amplitudo tertinggi 1,1194 cm pada frekuensi dasar 1 Hz

Pengujian beban menggunakan 1 kg dan dua sensor mendapatkan hasil pantauan getaran seperti yang ditampilkan oleh grafik dengan waktu tempuh selama 00:03.48 dari ujung awal purwarupa jembatan sampai ujung akhir purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm. Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik getaran yang ditampilkan merupakan grafik percepatan *versus* waktu. Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X1, Y1, Z1, X2, Y2, dan Z2. Pada beban 1 kg terdapat enam grafik percepatan *versus* waktu.



Gambar 8 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 2 sensor beban 1 kg X1, Y1, dan Z1



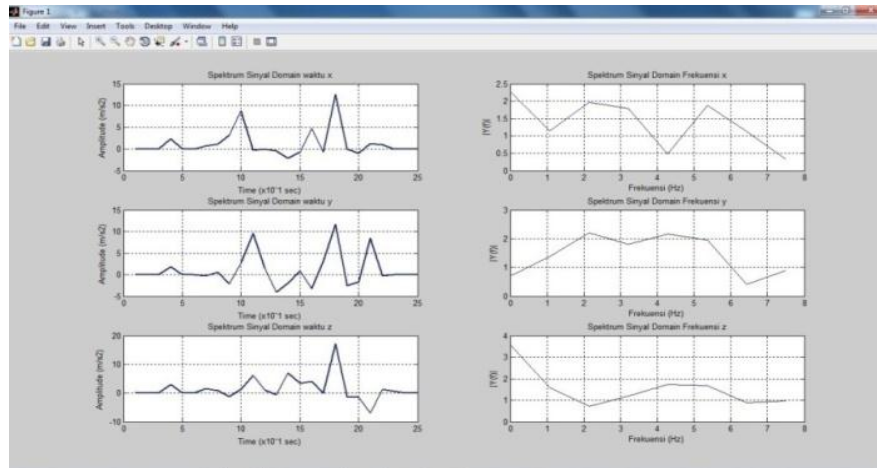
Gambar 9 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 2 sensor beban 1 kg X2, Y2, dan Z2

Grafik sebelah kiri (Gambar 8) dan (Gambar 9) adalah grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 1 kg. Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu. Untuk mengetahui amplitudo dalam ranah frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sehingga hasilnya tampak pada grafik yang di sebelah kanan (Gambar 8) dan (Gambar 9).

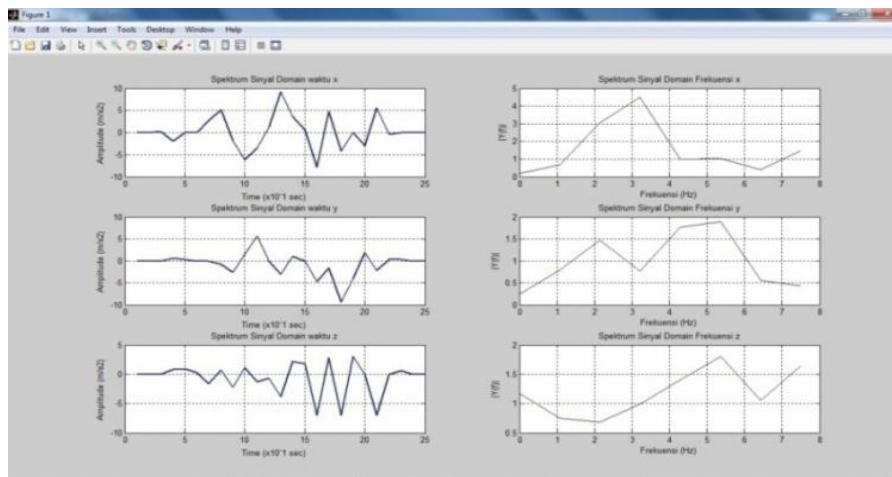
Dapat dilihat dari Gambar 8 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X1 sebesar 1,0473 cm dengan frekuensi dasar 2,15 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y1 sebesar 1,5106 cm dengan frekuensi dasar 2,14 Hz. Untuk sumbu Z1 mempunyai amplitudo tertinggi 1,3930 cm pada frekuensi dasar 1,1 Hz.

Dapat dilihat dari Gambar 9 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X2 sebesar 2,6612 cm dengan frekuensi dasar 3,2 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y2 sebesar 1,6140 cm dengan frekuensi dasar 1,1 Hz. Untuk sumbu Z2 mempunyai amplitudo tertinggi 3,0155 cm pada frekuensi dasar 7,5 Hz.

Pengujian pertama beban menggunakan 2 kg dan dua sensor mendapatkan hasil pantauan peningkatan getaran lebih kuat dari pengujian beban 1 kg seperti yang ditampilkan oleh grafik dengan waktu tempuh selama 00:03.36 dari ujung awal purwarupa jembatan sampai ujung akhir purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm. Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik getaran yang ditampilkan merupakan grafik percepatan *versus* waktu. Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X1, Y1, Z1, X2, Y2, dan Z2. pada beban 2 kg terdapat enam grafik percepatan *versus* waktu.



Gambar 10 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 2 sensor beban 2 kg 1 kg X1, Y1, dan Z1



Gambar 11 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 2 sensor beban 2 kg 1 kg X2, Y2, dan Z2

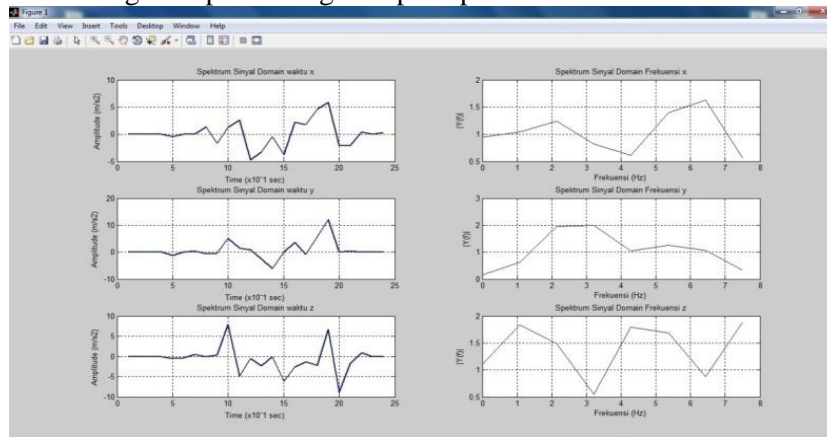
Grafik sebelah kiri (Gambar 10) dan (Gambar 6.11) adalah grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 2 kg. Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan versus waktu. Untuk mengetahui amplitudo dalam ranah frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sehingga hasilnya tampak pada grafik yang di sebelah kanan (Gambar 10) dan (Gambar 11).

Dapat dilihat dari Gambar 10 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X1 sebesar 2,2687 cm dengan frekuensi dasar 0 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y1 sebesar 2,2072 cm dengan frekuensi dasar 2,15 Hz. Untuk sumbu Z1 mempunyai amplitudo tertinggi 3,5549 cm pada frekuensi dasar 0 Hz.

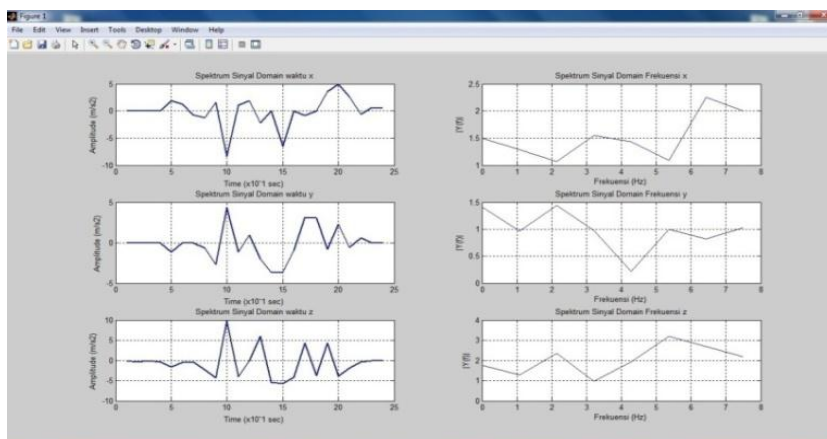
Dapat dilihat dari Gambar 11 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X2 sebesar 4,5079 cm dengan frekuensi dasar 3,2 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y2 sebesar 1,8949 cm dengan frekuensi dasar 5,35 Hz. Untuk sumbu Z2 mempunyai amplitudo tertinggi 1,8000 cm pada frekuensi dasar 5,36 Hz.

Pengujian pertama beban menggunakan 3 kg dan dua sensor mendapatkan hasil pantauan peningkatan getaran sangat kuat dari pengujian beban 1 kg dan 2 kg seperti yang ditampilkan oleh grafik dengan waktu tempuh selama 00:02.76 dari ujung awal purwarupa jembatan sampai ujung akhir purwarupa jembatan dengan panjang 142,5 cm. Hasil tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik getaran yang ditampilkan merupakan grafik

percepatan *versus* waktu. Sumbu yang digunakan *accelerometer* adalah sumbu X1, Y1, Z1, X2, Y2, dan Z2.pada beban 3 kg terdapat enam grafik percepatan *versus* waktu



Gambar 12 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi Saat 2 sensor beban 2 kg X1, Y1, dan Z1



Gambar 13 Sinyal dalam Satuan Waktu dan Satuan Frekuensi 2 sensor beban 3 kg X2, Y2, dan Z2

Grafik sebelah kiri (Gambar 12) dan (Gambar 13) adalah grafik sinyal data yang diperoleh pada beban 3 kg.Sinyal tersebut adalah sinyal percepatan *versus* waktu.Untuk mengetahui amplitudo dalam ranah frekuensi digunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).Sehingga hasilnya tampak pada grafik yang di sebelah kanan (Gambar 12) dan (Gambar 13).

Dapat dilihat dari Gambar 12 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X1 sebesar 1,6265 cm dengan frekuensi dasar 6,4 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y1 sebesar 2,0004 cm dengan frekuensi dasar 3,2 Hz. Untuk sumbu Z1 mempunyai amplitudo tertinggi 1,8925 cm pada frekuensi dasar 7,5 Hz.

Dapat dilihat dari Gambar 13 (bagian kanan) amplitudo tertinggi sumbu X2 sebesar 2,2533 cm dengan frekuensi dasar 6,43 Hz. Sedangkan amplitudo tertinggi pada sumbu Y2 sebesar 1,4445 cm dengan frekuensi dasar 2,15 Hz. Untuk sumbu Z2 mempunyai amplitudo tertinggi 3,1920 cm pada frekuensi dasar 5,35 Hz.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua data percepatan masing-masing sumbu di tiap level diubah dalam satuan frekuensi, kita dapatkan nilai amplitudo nya. Tabel 1 merupakan tabel data dan hasil percobaan.

Tabel 1 Data Hasil Percobaan Menggunakan 1 Sensor

BEBAN		1 kg	2 kg	3 kg
PERCEPATAN MAKSIMAL	X	5,7517 m/s ²	22,4077 m/s ²	4,4336 m/s ²
	Y	13,4206 m/s ²	11,8629 m/s ²	8,0284 m/s ²
	z	8,7474 m/s ²	9,0469 m/s ²	8,2082 m/s ²
AMPLITUDO TERTINGGI	X	1,4401 cm	1,6869 cm	1,3421 cm
	Y	2,9959 cm	2,8085 cm	1,5810 cm
	z	2,6095cm	2,0131 cm	1,1194 cm
FREKUENSI DASAR	X	3,2 Hz	2,15Hz	0 Hz
	Y	6,4 Hz	4,3 Hz	6,4 Hz
	z	2,15 Hz	0 Hz	1 Hz
WAKTU		00:00:03.98	00:00:03.63	00:00:03.04

Pada Tabel 1 ditunjukkan data hasil percobaan yang dilakukan menggunakan 1 sensor. Dimana hasil data menggunakan beban 1 kg, 2 kg, dan 3 kg akan menghasilkan percepatan maksimal, amplitudo tertinggi dan frekuensi dasar berbeda tergantung variasi beban yang digunakan saat melakukan percobaan penelitian. Sehingga pada percobaan diatas mendapatkan waktu tempuh yang berbeda pula, pada beban 1 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:03.98, pada beban 2 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:03.63 dan pada beban 3 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:03.04.

Tabel 2 Data Hasil Percobaan Menggunakan 2 Sensor

BEBAN		1 kg	2 kg	3 kg
PERCEPATAN MAKSIMAL	X1	4,3737 m/s ²	12,5818 m/s ²	5,8116 m/s ²
	Y1	5,1526 m/s ²	11,6232 m/s ²	11,9827 m/s ²
	Z1	7,4293 m/s ²	17,0754 m/s ²	8,8073 m/s ²
	X2	6,2909 m/s ²	9,2866 m/s ²	8,3280 m/s ²
	Y2	5,3323 m/s ²	9,3465 m/s ²	4,3138 m/s ²
	Z2	7,1896m/s ²	6,9500 m/s ²	9,7659 m/s ²
AMPLITUDO TERTINGGI	X1	1,0473 cm	2,2687 cm	1,6265 cm
	Y1	1,5106 cm	2,2072 cm	2,0004 cm
	Z1	1,3930 cm	3,5549 cm	1,8925 cm
	X2	2,6612 cm	4,5079 cm	2,2533 cm
	Y2	1,6140 cm	1,8949 cm	1,4445 cm
	Z2	3,0155 cm	1,8000 cm	3,1920 cm
FREKUENSI DASAR	X1	2,15 Hz	0 Hz	6,4Hz
	Y1	2,14 Hz	2,15 Hz	3,2 Hz
	Z1	1,1 Hz	0 Hz	7,5 Hz
	X2	3,2 Hz	3,2 Hz	6,43 Hz
	Y2	1,1 Hz	5,35 Hz	2,15Hz
	Z2	7,5 Hz	5,36 Hz	5,35Hz
WAKTU		00:00:03.48	00:00:03.36	00:00:02.76

Tabel 2 menunjukkan data hasil percobaan yang dilakukan menggunakan 2 sensor. Berbeda dengan percobaan menggunakan 1 sensor di percobaan ini akan menghasilkan data dari X1, Y1, Z1, X2, Y2, dan Z2. menggunakan beban 1 kg, 2 kg, dan 3 kg akan menghasilkan percepatan maksimal, amplitudo tertinggi dan frekuensi dasar berbeda tergantung variasi beban yang digunakan saat melakukan percobaan penelitian. Sehingga pada percobaan diatas mendapatkan waktu tempuh yang berbeda pula, pada beban 1 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:03.48, pada beban 2 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:03.36 dan pada beban 3 kg di dapat waktu tempuh selama 00:00:02.76.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan terhadap data yang diperoleh, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Terjadi peningkatan amplitudo pada tiap level.
2. Pada pemantauan getaran beban 1 kg, satu sensor nilai masing-masing amplitudo adalah $X = 1,4401$ cm, $Y = 2,9959$ cm, dan $Z = 2,6095$ cm.
3. Pada pemantauan getaran beban 2 kg, satu sensor nilai masing-masing amplitudo adalah $X = 1,6869$ cm, $Y = 2,8085$ cm, dan $Z = 2,0131$ cm.
4. Pada pemantauan getaran beban 3 kg, satu sensor nilai masing-masing amplitudo adalah $X = 1,3421$ cm, $Y = 1,5810$ cm, dan $Z = 1,1194$ cm.
5. Pada pemantauan getaran beban 1 kg, sensor pertama masing-masing amplitudo adalah $X1 = 1,0473$ cm, $Y1 = 1,5106$ cm, dan $Z1 = 1,3930$ cm. Selanjutnya, pada sensor kedua adalah $X2 = 2,6612$ cm, $Y2 = 1,6140$ cm, dan $Z2 = 3,0155$ cm.
6. Pada pemantauan getaran beban 2 kg, sensor pertama masing-masing amplitudo adalah $X1 = 2,2687$ cm, $Y1 = 2,2072$ cm, dan $Z1 = 3,5549$ cm. Selanjutnya, pada sensor kedua adalah $X2 = 4,5079$ cm, $Y2 = 1,8949$ cm, dan $Z2 = 1,8000$ cm.
7. Pada pemantauan getaran beban 3 kg, sensor pertama masing-masing amplitudo adalah $X1 = 1,6265$ cm, $Y1 = 2,0004$ cm, dan $Z1 = 1,8925$ cm. Selanjutnya, pada sensor kedua adalah $X2 = 2,2533$ cm, $Y2 = 1,4445$ cm, dan $Z2 = 3,1920$ cm.
8. Data lebih besar ketika purwarupa jembatan diamati menggunakan dua sensor dibandingkan menggunakan satu sensor.
9. Sensor lebih sensitif saat menggunakan beban yang besar.
10. Terjadi peningkatan setiap variasi beban yang digunakan, makin besar beban yang digunakan, makin besar pula data yang dihasilkan.

5. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian ini, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Analisis data getaran untuk memperoleh amplitudo (simpangan maksimal) bisa langsung ditampilkan datanya.
2. Data pembandingan diperlukan untuk membandingkan data dari hasil percobaan sehingga mengurangi nilai kesalahan dari alat yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azwaruddin, 2008, <http://azwaruddin.blogspot.com/2008/02/pengertian-jembatan.html>, diakses pada tanggal 30 september 2012.
- [2] Rino, R., 2012, <http://rinorakhmad-myblog.blogspot.com/2012/01/tragediruntuhnya-jembatan-kutai.html>
- [3] Arduino, 2011, Arduino Uno, <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>, diakses 5 Maret 2012.
- [4] Li Tan, 2008, *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications*, Elsevier Inc, United States of America.
- [5] Appcon, T., 2008, APC Series Transparent Transceiver Module APC220-43, http://www.famosastudio.com/download/datasheet/APC220_Datasheet.pdf, diakses 4 Maret 2012.
- [6] Putra, A.E., 2008. Transformasi Fourier, Apaan Tuch?, <http://agfi.staff.ugm.ac.id/blog/index.php/2008/12/transformasi-fourier-, -apaan-uch-?>, diakses 30 September 2012.