

# PENGUKURAN PERCEPATAN BENDA MELALUI PENGUKURAN FREKUENSI EFEK DOPPLER BERBANTUAN SOUND CARD PC

Hadi

**Abstrak:** Pada penelitian ini, sebuah komputer PC Multimedia standar dengan fasilitas soundcard dan mikropon, dimanfaatkan untuk mengukur percepatan gerak benda (sumber bunyi) yang dijatuhkan bebas dari ketinggian 2 meter. Pengukuran percepatan didapat dari rekaman informasi perubahan frekuensi suara yang dikeluarkan oleh sumber bunyi (speaker), dimana sumber frekuensi dibangkitkan dari sinyal generator. Frekuensi yang diukur khusus pada sumber suara yang mengeluarkan frekuensi tunggal, dalam penelitian ini menggunakan frekuensi yang cukup tinggi (5000 Hz). Menggunakan program Matlab 6 dengan memanfaatkan fasilitas Fast Fourier Transform (FFT) didalamnya, pengukuran frekuensi sumber suara telah dapat dilakukan dengan baik. Pengukuran ini menghasilkan kesalahan rata-rata sebesar 4,8% dari harga percepatan sebenarnya.

**Kata Kunci :** Percepatan Benda Jatuh Bebas, Frekuensi Efek Doppler, Sound Card PC, Fast Fourier Transform (FFT)

**Abstract:** In this research, a standard Personal Computer with soundcard and microphone facilities is used to measure acceleration of falling object from 2 meter height. Measurement of acceleration was obtained from recorded information of sound frequency changes from speaker output, where frequency sourced from signal generator. Measured frequency is only limited for single frequency, in this research frequency chosen is 5000 Hz. Using FFT facilities in Matlab 6 Program, this measurement had been done well with error about 4,8%.

**Key Words :** Acceleration of free fall object, Doppler Effect Frequency, Sound Card PC, Fast Fourier Transform (FFT),

## PENDAHULUAN

Bila sebuah mobil bergerak mendekati kita sambil membunyikan klakson maka kita mendengar nada bunyi klakson tersebut semakin tinggi. Selanjutnya, jika klakson masih berbunyi setelah mobil lewat dan bergerak menjauhi kita, terdengar nada bunyi klakson yang semakin rendah. Peristiwa ini dikenal sebagai Efek Doppler, karena pertama kali dipikirkan oleh seorang Australia bernama Christian Johann Doppler

(1803-1855) yang melakukan eksperimen dengan menggunakan sebuah lokomotif yang menarik sebuah gerbong terbuka dengan beberapa orang peniup terompet di atasnya.

Frekuensi yang terdengar oleh pengamat sangat ditentukan oleh variable/parameter lain seperti, kecepatan sumber, kecepatan pengamat, kecepatan gelombang, dan frekuensi sumber. Hubungan diantara mereka semua dapat dirumuskan

dengan baik dan banyak dibahas dalam literature Fisika Dasar [4] sebagai

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

Persamaan sederhana, yang menyatakan hubungan antara frekuensi dengan kecepatan di atas, memungkinkan kita untuk dapat menentukan kecepatan gerak benda dengan cara mengukur frekuensi dari benda yang bergerak tersebut. Secara teknis pengukuran sinyal/gelombang bukanlah merupakan hal rumit. Karena pengukuran dilakukan tanpa harus kontak dengan objek yang bergerak maka teknik ini dapat diterapkan lebih fleksibel tanpa mengurangi ketelitian hasilnya.

Dengan metode penentuan frekuensi Doppler inilah berbagai teknik dan peralatan dikembangkan, seperti dalam peralatan radar untuk pengukuran kecepatan pesawat terbang dan pergerakan awan, pengukuran kecepatan pada aliran darah, hingga teleskop untuk pengukuran gerak benda langit yang menghasilkan pergeseran merah (*redshift*) telah dapat dilakukan. Sementara itu dengan peralatan dan teknik yang sederhana dan dukungan fasilitas *sound card* pada komputer standar pengukuran kecepatan gerak benda dapat dilakukan dan telah dapat diperoleh hasil dengan kualitas yang dapat diandalkan [1],[2].

## DASAR TEORI

Efek Doppler adalah suatu fenomena perubahan frekuensi gelombang terukur yang terjadi karena adanya perubahan

gerak relatif antara sumber gelombang terhadap pengamat [1], yang dapat dirumuskan sebagai

$$f' = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f \quad (1)$$

dengan  $f'$  menyatakan frekuensi efek Doppler (terukur),  $f$  menyatakan frekuensi tunggal sumber gelombang,  $v$  kecepatan gelombang,  $v_p$  kecepatan pengamat, dan  $v_s$  kecepatan sumber gelombang. Tanda aritmatika (+) pada bagian atas digunakan untuk sumber bergerak mendekati pengamat, dan tanda pada bagian bawah (-) digunakan ketika keduanya saling menjauh.

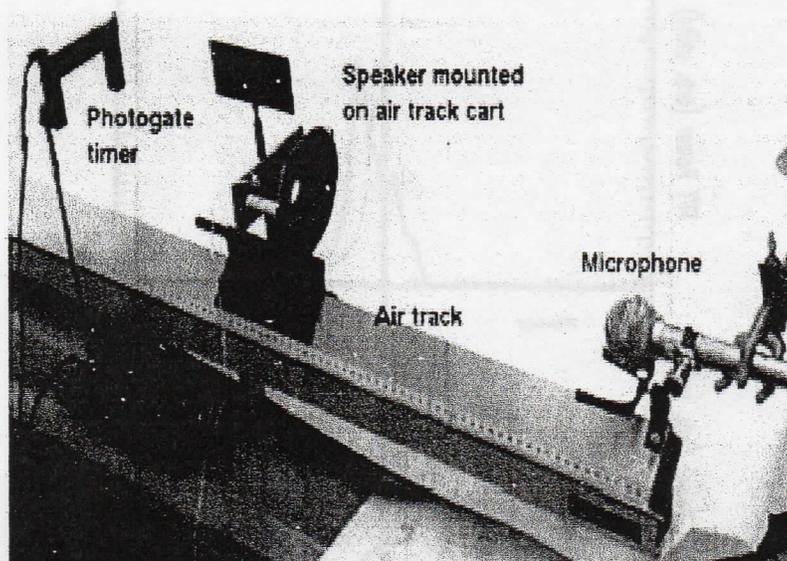
Dalam kasus khusus dimana pengamat diam ( $v_p=0$ ) dan hanya sumber yang bergerak maka persamaan (1) akan berubah menjadi

$$f' = \frac{v}{v \pm v_s} f \quad (2)$$

Secara eksperimental, pengukuran pergeseran frekuensi sebagai akibat dari efek Doppler telah banyak dilakukan. Pada kasus sederhana kebanyakan kegiatan ini berkaitan dengan kebutuhan praktikum pendidikan S1 di sekolah [3]. Ada beberapa teknik dalam eksperimen efek Doppler gelombang akustik yang hanya membutuhkan peralatan sederhana seperti speaker, mikropon, garputala atau sinyal generator (SG) dan osiloskop. Dua peralatan terakhir (sinyal generator + osiloskop) kini telah dapat digantikan oleh seperangkat PC standar yang dilengkapi dengan *sound card* (SC). Pemanfaatan *sound card*

sebagai Sinyal Generator maupun osiloskop telah banyak dilakukan [6]-[14]. Bensky dan Frey [1] serta Cahyono [2] telah melakukan percobaan untuk mengukur terjadinya perubahan frekuensi gelombang akustik. Ilustrasi percobaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Gelombang bunyi (akustik) dibangkitkan melalui sebuah speaker yang

dihubungkan oleh sebuah generator fungsi. Dengan menempatkan speaker (sumber bunyi) pada sebuah "kendaraan" diatas trek udara (Cahyono melakukannya dengan sebuah "kereta" yang dapat ditarik oleh sebuah motor listrik) maka gerak sumber dapat dilakukan cukup leluasa.



**Gambar 1.** Peralatan eksperimen. Kereta dapat didorong mendekat atau menjauhi mikropon (Sumber : Bensky and Frey, 2001.)

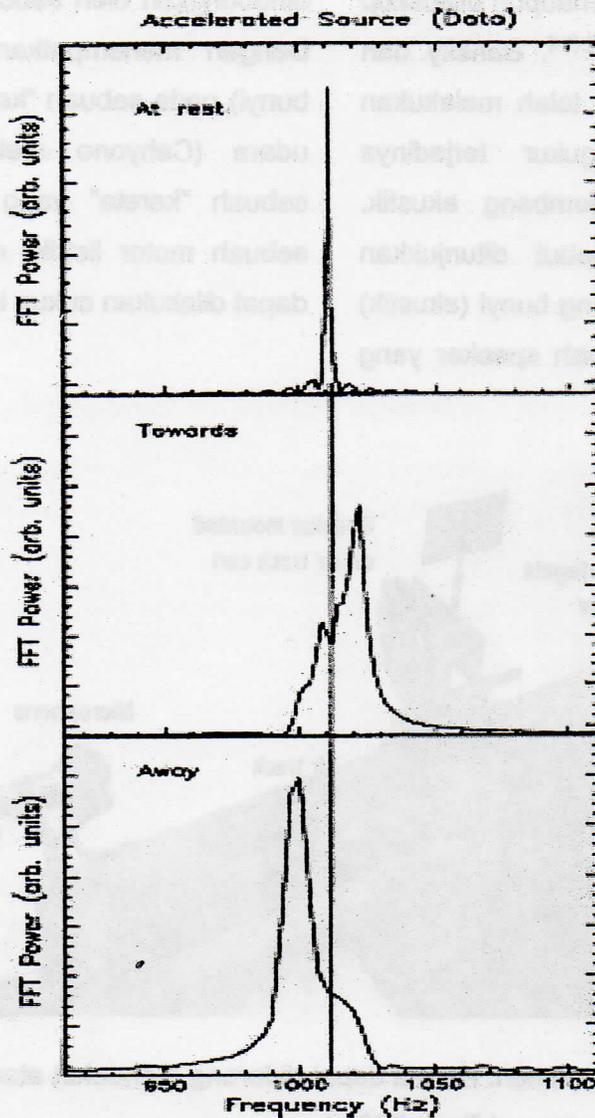
### Sumber bunyi yang dipercepat

Pada kasus kecepatan sumber yang bergantung waktu kita dapat menyederhanakan percobaan dengan memanfaatkan gerak jatuh bebas, sehingga dalam hal ini kecepatan sumber dapat dinyatakan sebagai  $v_s(t) = gt$  dengan  $g$  adalah percepatan gravitasi yang nilainya dapat ditentukan secara terpisah. Dengan mengambil kasus ini maka frekuensi

Doppler, sesuai dengan perumusan (2) dapat dituliskan sebagai

$$f' = \frac{v}{v \pm gt} f \quad (3)$$

dengan mengambil tanda (-) dan (+) masing-masing untuk sumber mendekat dan menjauh. Persamaan (3) jelas mensyaratkan bahwa  $f'$  bergantung terhadap waktu atau lebih tepat merupakan fungsi dari waktu.



**Gambar 2.** Spektrum fourier untuk sumber bunyi dengan percepatan konstan (atas), dipercepat mendekati mikropon sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$  (tengah) dan dipercepat menjauhi mikropon (bawah) sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Jarak antara sumber dan mikropon sebesar  $3,0 \text{ m}$ .

(Sumber : Bensky and Frey, 2001).

Perhitungan Bensky and Frey dengan menggunakan analisis FFT, menghasilkan spektrum frekuensi seperti dinyatakan pada Gambar 2 (perbedaannya yang jelas jika dibandingkan dengan spektrum frekuensi dari gerak sumber dengan kecepatan konstan). Terlihat dari gambar tersebut bentuk spektrum yang kontinu lebih lebar menandakan bahwa sensor mendengar

suara dengan frekuensi yang beragam, yang diakibatkan oleh kecepatan sumber,  $v_s$  yang berubah terhadap waktu.

Logikanya, karena kecepatan sumber merupakan fungsi dari waktu  $v_s(t)$ , maka frekuensi Doppler yang terukur juga fungsi dari waktu,  $f(t)$ , dan hal  $f(t)$  ini jelas tak dapat diperoleh dari spektrum FFT dimaksud, sehingga informasi tentang  $v_s(t)$

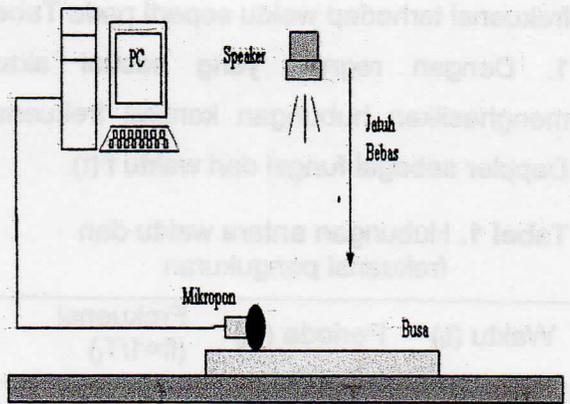
juga tak dapat diperoleh. Oleh karenanya, pada penelitian ini akan ditawarkan, dan diuji suatu pendekatan standar yang lebih konvensional dan sederhana, sebagaimana yang akan dijelaskan pada Metoda Penelitian.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai Desember 2005. Pengambilan data dilakukan di laboratorium elektronika dan instrumentasi jurusan Fisika FMIPA Unsri.

Langkah pertama yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah menyiapkan peralatan yang akan digunakan. Lebih jelasnya terlihat pada Gambar 3. Sebuah mikropon dihubungkan ke sebuah *sound card* pada komputer. Di sini mikropon berfungsi sebagai sensor (pendengar) yang menerima tanggapan frekuensi dari speaker yang bertindak sebagai sumber bunyi. Speaker yang digunakan dijatuhkan bebas diatas mikropon setinggi  $\pm 1$  meter. Bunyi dari speaker ini dihasilkan dari sebuah sinyal generator yang diperkuat dayanya melalui sebuah amplifier.

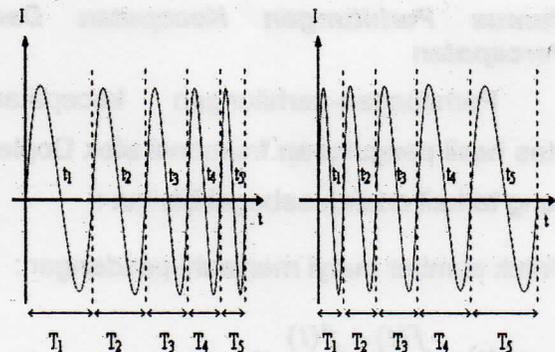
Bunyi yang ditangkap oleh mikropon terlebih dahulu direkam. Dengan menggunakan software Cowon JetAudio perekaman dilakukan dengan format *Audio PCM 44.100 Hz; 16 Bit; Mono*. Setelah selesai direkam, maka untuk mendapatkan frekuensi efek Dopplernya digunakan program MATLAB dengan fasilitas WAVREAD dan FFT [5].



Gambar 3. Perlengkapan alat yang akan digunakan.

## Metode Standar Penentuan Frekuensi Doppler Bergantung Waktu

Bergantung pada perubahan posisi/ jarak relatif antara sumber dan pengamat frekuensi Doppler yang terukur akan meningkat atau menurun terhadap waktu, sehingga grafis sinyal (sinusoidal) yang terukur pada pengamat akan semakin rapat atau semakin renggang/jarang.



Gambar 4. Penampilan gelombang (a) gelombang yang frekuensinya membesar (b) gelombang yang frekuensinya mengecil

Dengan mengambil nilai-nilai waktu  $t_i$  dan perioda  $T_i (= \frac{1}{f_i})$  pada setiap selang waktu yang ditentukan seperti pada gambar 4 maka akan diperoleh hubungan antara

frekuensi terhadap waktu seperti pada Tabel 1. Dengan regresi yang sesuai akan menghasilkan hubungan kontinu frekuensi Doppler sebagai fungsi dari waktu  $f(t)$ .

**Tabel 1.** Hubungan antara waktu dan frekuensi pengukuran

Waktu ( $t_i$ )	Perioda ( $T_i$ )	Frekuensi ( $f_i=1/T_i$ )
$t_1$	$T_1$	$f_1$
$t_2$	$T_2$	$f_2$
$t_3$	$T_3$	$f_3$
...	...	...
...	...	...
$t_n$	$T_n$	$f_n$

Dalam perhitungan nanti untuk mendapatkan mendapatkan ketelitian yang baik data runtun waktu akan dicuplik dalam setiap selang waktu yang cukup kecil. Untuk itu maka frekuensi sinyal dipilih cukup besar,  $f = 5000$  Hz.

### **Rumus Perhitungan Kecepatan Dan Percepatan**

Perhitungan-perhitungan kecepatan atas hasil pengukuran frekuensi efek Dopler yang terkait adalah sebagai berikut :

Untuk sumber bunyi menjauhi pendengar :

$$v_s(t) = \frac{f(t) - f'(t)}{f'(t)} v \quad (4a)$$

Untuk sumber bunyi mendekati pendengar :

$$v_s(t) = \frac{f'(t) - f(t)}{f'(t)} v \quad (4b)$$

keterangan :

$v_s$  = kecepatan sumber bunyi

$f$  = frekuensi (diam) sumber bunyi

$f'$  = frekuensi efek Doppler

$v$  = kecepatan bunyi di udara

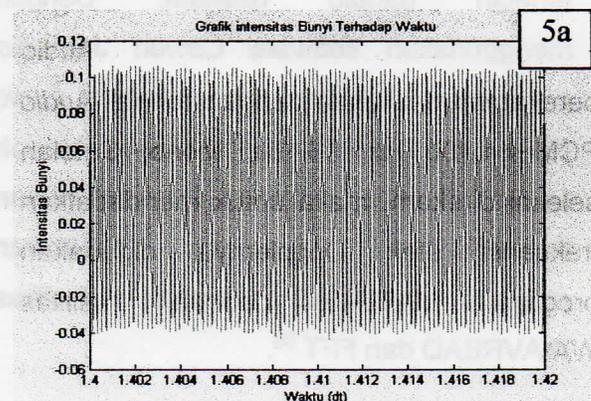
Dalam hal ini  $f'(t)$  diperoleh melalui metoda standar diatas. Sementara itu dengan informasi tentang  $v_s(t)$  yang diperoleh dari persamaan (4a) dan (4b) percepatan sumber  $a_s(t)$  diperoleh melalui teknik diferensiasi fungsi sumber  $v_s(t)$ .

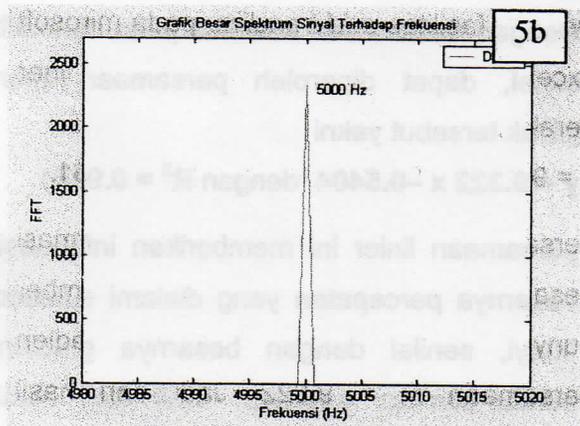
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil**

Kalibrasi instrument ukur dalam hal ini mikropon, speaker dan sound card dilakukan dengan mengukur instrument dengan frekuensi yang telah ditetapkan (dalam hal ini 5000 Hz). Hasil pengukuran didapatkan harga yang cukup akurat (lihat gambar 5).

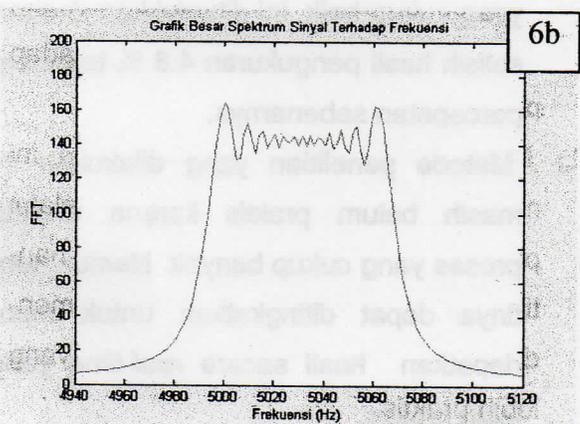
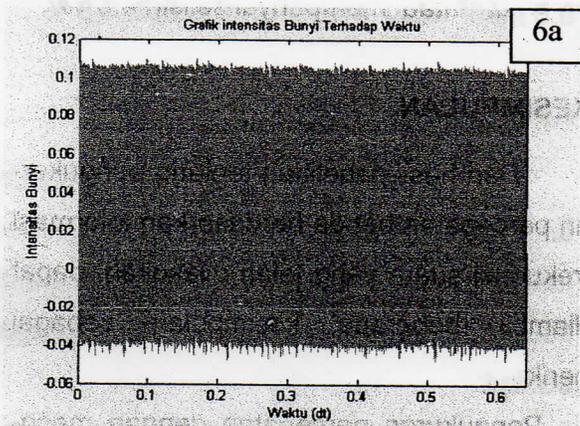
Setelah pengukuran dilakukan pada benda yang dijatuhkan bebas. Hasil rekaman bunyi seperti pada gambar 6 (dimana sumber bunyi bergerak jatuh bebas dari ketinggian 2 meter), dilakukan pencuplikan rekaman bunyi. Dari total rekaman selama  $\pm 0.64$  dt, dibagi atas beberapa daerah waktu seperti diperlihatkan pada gambar 7.



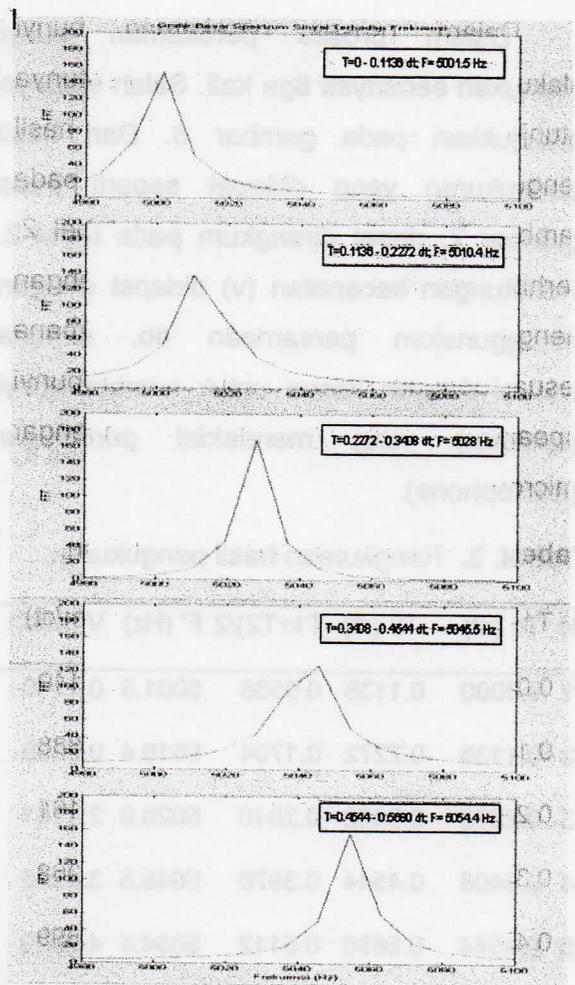


**Gambar 5.** Hasil Cuplikan Pengukuran Sumber Bunyi (diam), dengan frekuensi sumber 5000 Hz.

(a) Grafik Time Series, (b) Spektrum Fourier.



**Gambar 6.** Hasil Pengukuran Sumber Bunyi (dengan dipercepat), (a) Grafik Time Series, (b) Spektrum Fourier.



**Gambar 7.** Sampel Spektrum Fourier Pada beberapa Daerah Waktu.

**PEMBAHASAN**

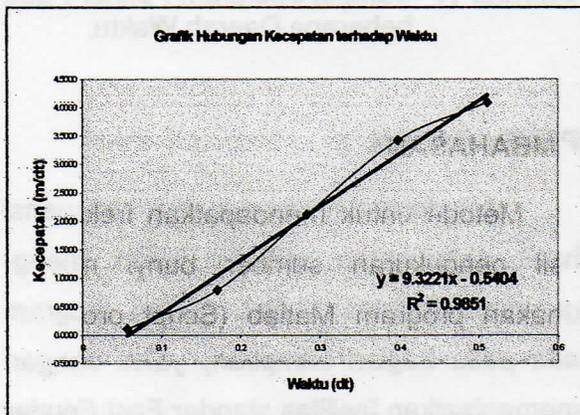
Metode untuk mendapatkan frekuensi hasil pengukuran sumber bunyi menggunakan program Matlab (Script program ada pada bagian Lampiran) yakni dengan memanfaatkan fasilitas standar Fast Fourier Transforms (FFT). Hasil plot spektrum daya terhadap frekuensi akan menampilkan spektrum daya paling tinggi pada nilai frekuensi yang dicari untuk gelombang suara yang diukur.

Hal ini menunjukkan bahwa pada sumber suara tersebut nilai frekuensi gelombangnya paling dominan.

Dalam proses perekaman bunyi dilakukan sebanyak tiga kali. Salah satunya ditunjukkan pada gambar 6. Dari hasil pengukuran yang didapat seperti pada gambar 7. dapat dirangkum pada tabel 2. Perhitungan kecepatan ( $v$ ) didapat dengan menggunakan persamaan 4b, dimana sesuai dengan kasus untuk sumber bunyi (speaker) yang mendekati pendengar (microphone).

**Tabel. 2.** Rangkuman hasil pengukuran.

No	T1 (dt)	T2 (dt)	T1+T2)/2	F' (Hz)	V (m/dt)
1	0.0000	0.1136	0.0568	5001.5	0.1140
2	0.1136	0.2272	0.1704	5010.4	0.7888
3	0.2272	0.3408	0.2840	5028.0	2.1161
4	0.3408	0.4544	0.3976	5045.5	3.4268
5	0.4544	0.5680	0.5112	5054.4	4.0899



**Gambar 8.** Hubungan kecepatan terhadap waktu, dilengkapi dengan garis persamaan linear.

Dari hasil yang diperlihatkan pada gambar 8, merupakan grafik hubungan antara kecepatan terhadap waktu pada gerak jatuh bebas sumber bunyi (speaker) yang akan diukur percepatan jatuhnya.

Dengan fasilitas *add trendline* pada *mirosoft excel*, dapat diperoleh persamaan liner gerak tersebut yakni

$$y = 9.322 x - 0.5404 \text{ dengan } R^2 = 0.9851.$$

persamaan linier ini memberikan informasi besarnya percepatan yang dialami sumber bunyi, senilai dengan besarnya gradien persamaan  $m = 9.322$ . Jadi dari hasil rekaman bunyi untuk gerak benda jatuh bebas setinggi 2 m didapatkan besarnya percepatan,  $a = 9.322 \text{ m/dt}^2$ , hasil pengukuran ini cukup mendekati dari hasil rata-rata percepatan gravitasi bumi sebesar  $9.8 \text{ m/dt}^2$  atau mempunyai selisih 4.8 %.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pengukuran percepatan benda berdasarkan informasi frekuensi suara yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran percepatan dengan menggunakan komputer PC memberikan hasil yang cukup baik, ini ditunjukkan dengan selisih hasil pengukuran 4.8 % terhadap percepatan sebenarnya.
2. Metode penelitian yang dilakukan ini masih belum praktis karena melalui proses yang cukup banyak. Namun nantinya dapat ditingkatkan untuk mendapatkan hasil secara *real-time* yang lebih praktis.

## SARAN

Hasil pengukuran penelitian ini dapat ditingkatkan antara lain :Rentang cuplikan

data yang akan dihitung diperkecil dalam penelitian ini sebesar 0.11 detik dan penggunaan mikropon yang lebih sensitive. Sehingga tinggi jatuh bisa bertambah dan cuplikan data dapat lebih banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

Bensky T.J. & SE Frey., 2001, Computer sound card assisted measurement of the acoustic Doppler effect for accelerated and unaccelerated sound source, *Am. J. Phys.* 69 , 1231-1236

Cahyono W., 2003, Perhitungan kecepatan sumber bunyi melalui pengukuran frekuensi efek Doppler berbantuan *sound card* komputer dan program Matlab, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA-UNSRI, Inderalaya OKI.

Cox, A.J. & JJ Peavy., 1998, *Quantitative measurements of the acoustic Doppler effect using a walking speed source*, *Am. J. Phys.* 66 , 1123-11125.

Halliday D, R Resnick, KS Krane, 1992; *Physics, 4th ed, Vol.1, John Wiley & Sons, New York.*

Hanselman. Duene & B Littlefield., *Terjemahan Josep Edyanto, 2000, MATLAB Bahasa Komputasi Teknis, Edisi I, Pearson Education Asia Pte. Ltd & Andi, Jogjakarta*

<http://user.telenet.be/educypedia>

<http://heliso.tripod.com/download/generator/dsg.htm>

<http://www.marchandelec.com/fg.htm>

<http://www.empusa.clara.net/download/osc251.zip>

<http://polly.phys.msu.su/~zeld/oscill.html>

<http://www.digitalfilter.com/sftosc/sftosc.html>

<http://www.discip.crdp.ac-caen.fr/physapp/logiciel.htm>

<http://www.willem.org/epcgen.htm>

<http://www.stud.fh-hannover.de/~heineman/freeware.htm>

## Script Program Matlab

```
clear
clc
y=wavread ('c:\nama_file_bunyi.wav');
t=linspace(0,sound_duration,length(y));
Y=fft(y);
Ts=t(2)-t(1);
Fs=1/Ts;
Fn=Fs/2;
f=linspace(0,Fn,length(t)/2);
Yp=abs(Y(1:length(t)/2));
figure(1);
plot(f,Yp);
xlabel('Frekuensi (Hz)');
ylabel('FFT');
title('Grafik Besar Spektrum Sinyal Terhadap Frekuensi');
figure (2);
plot(t,y)
xlabel('Waktu (dt)');
ylabel('Intensitas Bunyi');
title('Grafik intensitas Bunyi Terhadap Waktu');
%Selesai
```