

ISBN: 979-9458-13-7

PROSIDING

Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains

Salatiga, 12 Januari 2008

Pembelajaran Sains yang Menarik dan Menantang

Editor :

Dr. Ferdy S. Rondonuwu, S.Pd., M.Sc.

Dr. A. Ign. Kristijanto, M.Sc.

Dr. Adi Setiawan, M.Sc.

Wahyu Hari Kristiyanto, M.Pd.



FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS KRISTEN SATYA WACANA

Jl. Diponegoro 52-62 Salatiga, 50711. Telp. 0298-7100396, Fax. 0298-32

PENGUKURAN FREKUENSI TANGGA NADA INSTRUMEN MUSIK DENGAN SISTEM *MICROCOMPUTER BASED LABORATORY*

Oleh

Ishafit, Khairil Anwar, dan Muh. Toifur

Program Studi Pendidikan Fisika

Universitas Ahmad Dahlan

Yogyakarta

hafit@lycos.com

ABSTRAK

Pengukuran frekuensi tangga nada, perbedaan rasio dalam tangga nada, dan pola matematis hubungan tangga nada terhadap frekuensi bunyi dari instrumen musik Keyboard Elektronik (Organ) telah dilakukan. Subjek penelitian ini adalah instrumen musik Organ merk Yamaha PSR-172 dengan spesifikasi bunyi (*voice*): 073-Horn, Trp = Spilit, yang memiliki nilai ketetapan secara internasional. Data bunyi instrumen musik diukur dengan sistem akuisi data *Microcomputer Based Laboratory* (MBL) berbasis *interface* Vernier LabPro dan *software* LoggerPro 3. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara matematis berdasarkan fungsi dan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil pengukuran dengan sistem MBL memberikan tingkat ketelitian yang baik karena nilai frekuensi tangga nada tidak berbeda signifikan terhadap nilai teoritisnya, dengan rata-rata penyimpangan sebesar 0,22 %. Dari hubungan tangga nada terhadap frekuensi diperoleh pola hubungan eksponensial dengan persamaan $f = 247,24e^{0.0579n}$.

Kata kunci : pengukuran, nada musik, dan *microcomputer based laboratory*.

I. PENDAHULUAN

Bunyi selalu berhubungan dengan indra pendengar kita, berarti juga dengan sensasi fisik yaitu fisiologi telinga dan fisiologi otak yang menterjemahkan sensasi yang merangsang mencapai telinga. Kita mendengar bunyi karena adanya gangguan yang menjalar ke telinga. Getaran udaralah yang memaksa gendang telinga kita bergetar. Karena gangguan ini, selaput kendang telinga kita bergetar dan getaran ini berubah menjadi denyut listrik yang dilaporkan ke otak lewat urat syaraf. Bentuk gelombang yang kira-kira periodik atau terdiri dari sejumlah kecil komponen yang kira-kira periodik akan menimbulkan suatu sensasi yang menyenangkan (jika intensitasnya tidak terlalu tinggi) seperti bunyi musik, sedangkan bunyi yang mempunyai bentuk gelombang yang tidak periodik akan terdengar sebagai derau (*noise*). Pada contoh bunyi alat musik dihasilkan warna bunyi yang bagus dan teratur untuk didengarkan dan dinikmati, hal ini disebabkan karena bunyi yang terbentuk telah ditetapkan nilai frekuensinya sehingga keharmonisannya juga teratur, di mana tiap warna bunyi dengan ferkuensi tertentu ini dinamakan nada, yang juga memiliki jarak antara nada satu dengan berikutnya teratur.

Karakteristik dan besarnya frekuensi gelombang bunyi yang dihasilkan dari tiap nada alat musik tidak mampu diamati secara langsung dengan alat sederhana biasa apalagi dengan kemampuan manusia, maka hal ini merupakan salah satu fenomena yang sesuai dan perlu untuk di amati dengan alat-alat bantu yang berbasis komputer. Pada makalah ini dikaji penerapan sistem akuisisi data berbasis komputer yaitu sistem *Microcomputer Based Laboratory* (MBL) pada pengukuran frekuensi tangga nada instrumen musik berupa Organ Elektronik. Permasalahan yang dikemukakan adalah: Bagaimanakah hasil pengukuran nilai frekuensi tangga nada instrumen musik organ dengan sistem MBL?, bagaimanakah perbedaan rasio dan kesesuaian nilai frekuensi tangga nada terukur dengan ketetapanya terhadap skala nada-nada diatonik dan kromatik?, dan bagaimana pola matematis dari frekuensi tangga nada yang dihasilkan?. Tujuan eksperimen ini adalah menguji sistem MBL dan mengukur frekuensi tangga nada instrumen musik Keyboard Elektronik (Organ), menguji perbedaan rasio dan kesesuaian nilai frekuensi tangga nada instrumen musik organ terukur dengan ketetapan, menentukan model matematika tangga nada yang digunakan dalam skala-skala musik.

II. KAJIAN TEORI

A. Gelombang Bunyi

Dari semua gelombang mekanik yang ada di alam, yang akrab dalam kehidupan kita sehari-hari adalah gelombang longitudinal. Gelombang longitudinal dalam sebuah medium biasanya udara, dinamakan gelombang bunyi, lebih khususnya dikenal dengan gelombang akustik. Sebagai mana dikemukakan oleh Hermann Helmholtz (1821-1894) yang teori dan usahanya dilanjutkan oleh Lord Rayleigh (1842-1919) mengutarakan bahwa, akustik merupakan cabang dari ilmu fisika dan ilmu teknik yang berkonsentrasi tentang timbul dan merambatnya bunyi, tentang sifat proses pendengaran, tentang alat-alat untuk mengukur, merekam dan memproduksi bunyi, serta tentang konstruksi auditorium yang memenuhi syarat pendengaran yang baik, baik secara teori maupun matematis. Alasannya bahwa telinga manusia sangat peka dan dapat mendeteksi gelombang bunyi walau intensitasnya sangat rendah (Sears, 1963). Fenomena bunyi memiliki tiga aspek penting dalam pembahasannya, yang pertama pasti ada sumber bunyi yang

merupakan benda yang bergetar. Kedua, energi dipindahkan dari sumber bunyi dalam bentuk gelombang bunyi longitudinal, dan ketiga bunyi dideteksi oleh telinga atau sebuah alat (Giancoli, 1998).

Gelombang bunyi merupakan gelombang tiga dimensi, karena medium gelombangnya bersifat tiga dimensi, dimana gelombang mengalir ke luar dari sumber ke semua arah. Jadi, gelombang bunyi dapat menjalar di dalam ruang tiga dimensi (misalnya: gelombang gempa bumi, gelombang cahaya dan gelombang bunyi yang merambat di udara terbuka). Suatu sumber titik di permukaan air medium dua dimensi menghasilkan gelombang lingkaran, artinya muka gelombangnya berbentuk lingkaran. dalam medium tiga dimensi dan jika medium tersebut isotropik (sama ke semua arah), sumber titik akan menghasilkan gelombang bola, artinya muka gelombang yaitu tempat kedudukan titik-titik dalam medium dengan fasa sama mempunyai bentuk bola. Suatu sumber berupa pelat yang bergetar akan menghasilkan gelombang dengan muka gelombang berupa bidang datar, gelombang semacam ini disebut gelombang datar (Sutrisno, 1979).

Bentuk gelombang yang kira-kira periodik atau terdiri dari sejumlah kecil komponen yang kira-kira periodik akan menimbulkan suatu sensasi yang menyenangkan (jika intensitasnya tidak terlalu tinggi) seperti bunyi musik, sedangkan bunyi yang mempunyai bentuk gelombang yang tidak periodik akan terdengar sebagai derau (*noise*) (Halliday dan Resnick, 1997).

1. Karakteristik Bunyi

Yang kita kenal sebagai bunyi sebetulnya ialah gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi dalam daerah pendengaran kita (frekuensi *audio*), yaitu antara 20 Hz sampai kira-kira 20.000 Hz. Gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di bawah daerah pendengaran disebut gelombang *infrasonik* dengan frekuensi kurang dari 20 Hz, gelombang semacam ini biasanya dihasilkan oleh sumber yang besar, misalnya gempa bumi, guntur, gunung berapi, dan gelombang yang dihasilkan oleh getaran mesin-mesin yang berat. Gelombang frekuensi rendah ini meskipun tidak dapat terdengar namun berkerja dengan cara resonansi, sehingga dapat menyebabkan gerakan dan iritasi yang cukup besar pada organ-organ di dalam tubuh sehingga menyebabkan kerusakan pada tubuh manusia.

Untuk frekuensi di atas daerah pendengaran, gelombang bunyi yang frekuensinya di luar jangkauan ini mungkin dapat terdengar mencapai telinga, tetapi biasanya kita tidak menyadarinya. Gelombang mekanik longitudinal ini disebut gelombang *ultrasonik* yang mempunyai rentang frekuensi di atas 20.000 Hz. Gelombang ultrasonik ini dapat dihasilkan oleh getaran mekanik pada kwarsa yang diberi tegangan listrik bolak-balik dengan frekuensi *ultrasonik*. Dengan cara seperti ini orang dapat menghasilkan gelombang mekanik dengan frekuensi setinggi 6×10^8 Hz, dengan panjang gelombang kira-kira sebesar 5×10^{-3} cm, sama besarnya dengan panjang gelombang cahaya. Gelombang ultrasonik ini sering dipergunakan untuk pemeriksaan kualitas produksi dalam industri dan beberapa aplikasi dalam ilmu kedokteran (Sutrisno, 1979: 19).

2. Bunyi pada Instrumen Musik

Skala musik yang digunakan dalam musik dunia barat yang berawal pada peradaban zaman yunani kuno, aslinya terdapat 7 (tujuh) nada dasar pada sebuah skala. Nada ini disebut dengan suatu nada *diatonik* dan biasanya musisi amatir

(bukan musisi asli) mengenalnya sebagai *do-re-mi-fa-sol-la-si-do*. Skala ini dapat dimainkan dengan tombol-tombol putih pada papan piano/keyboard, yang dimulai dengan C. Perbandingan frekuensi antara dua nada yang berurutan disebut suarantara, yang mana mempunyai harga:

<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	

Suarantara yang terkecil yaitu 16/15 disebut suarantara setengah nada sedangkan 9/8 dan 10/9 disebut suarantara satu nada, susunan nada seperti diatas disebut tangga nada diatonik. Selain nada tersebut ada juga tangga nada dengan suarantara tetap yang disebut tangga nada kromatik. Interval *octav* dengan *prime* dibagi menjadi 12 suarantara yang sama, jadi masing-masing besarnya $\sqrt[12]{2} = 1,06$. Frekuensinya hampir sama dengan tangga nada diatonik dan diberi nama;

<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
sis	dis		fis	gis	ais		
(<i>des</i>)	(<i>eis</i>)		(<i>ges</i>)	(<i>as</i>)	(<i>bes</i>)		

Supaya dapat memainkan berbagai alat musik bersama-sama, tiap nada harus mempunyai tinggi tertentu, pada tahun 1939 oleh dunia internasional telah ditetapkan frekuensi sesuatu nada sebagai standar yaitu "A" (standar) atau "A" (normal) yang memiliki frekuensi 440 Hz sehingga frekuensi deret nada adalah; (Widagdo, 60).

do	re	mi	fa	sol	la	si	do
<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
262	294	330	349	392	440	494	524

sebagai mana kita melewati skala diatonik yang berjumlah 8 (delapan) langkah dari do kembali ke do lagi, berdasarkan alasan ini, jarak antara nada nya disebut dengan *Octav*.

Nada adalah bunyi tunggal yang berasal dari sumber bunyi yang mempunyai ferkuensi tetap, istilah nada digunakan dalam seni suara dan musik untuk membedakan dengan bunyi pada umumnya (Sulistyo, 2003: 228). Musik atau lagu-lagu didasarkan pada nada-nada yang tergabung dalam susunan tangga nada. Tangga nada diatonik digunakan pada musik barat didasarkan pada not-not 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, i. Not-not ini diberi nama dengan huruf *c, d, e, f, g, a, b, c*. Perbandingan frekuensi nada-nada ini adalah : 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48. Setiap nada mempunyai jarak interval yang teratur yang merupakan perbandingan antara frekuensi suatu nada dengan nada lain yang lebih rendah, jadi interval merupakan bilangan yang lebih besar dari pada 1 (Widagdo, 58).

Dalam teori musik hanya dipergunakan suatu kombinasi nada yang tertentu saja yang frekuensinya mempunyai perbandingan tertentu dan merupakan suatu tangga nada. Sesuai dengan pendapat tokoh filsafah yunani kuno, Anaximandros mengungkapkan bahwa perbandingan nada-nada di atas adalah sebagai berikut:

- $\frac{c}{c} = \frac{24}{24} = 1$: *Prime* (Nada *c* adalah prime dari *c*)

- $\frac{e}{c} = \frac{30}{24} = \frac{5}{4}$: *Terst* (Nada *e* adalah terst dari nada *c*)
- $\frac{f}{c} = \frac{32}{24} = \frac{4}{3}$: *Quart* (Nada *f* adalah quart dari nada *c*)
- $\frac{g}{c} = \frac{36}{24} = \frac{3}{2}$: *Quint* (Nada *g* adalah quint dari nada *c*)
- $\frac{a}{c} = \frac{40}{24} = \frac{5}{3}$: *Sext* (Nada *a* adalah sext dari nada *c*)
- $\frac{b}{c} = \frac{45}{24} = \frac{15}{8}$: *Septime* (Nada *b* adalah septime dari nada *c*)
- $\frac{c^1}{c} = \frac{48}{24} = 2$: *Octaf* (Nada *c*¹ adalah octaf dari nada *c*)

Pada waktu selanjutnya, seiring perkembangan peradaban dan teknologi, ada 5 (lima) nada lagi yang ditambahkan pada skala musik dunia barat. Sehingga ada dua belas (12) nada harmonis pada alat musik ini dengan frekuensi yang pasti berbeda-beda. Kedua belas (12) skala nada ini disebut dengan suatu skala *chromatic*. Untuk sebuah skala yang dimulai dengan C, 5 nada tambahan dimainkan pada sebuah *keybord* piano/organ dengan menekan tombol-tombol hitam.

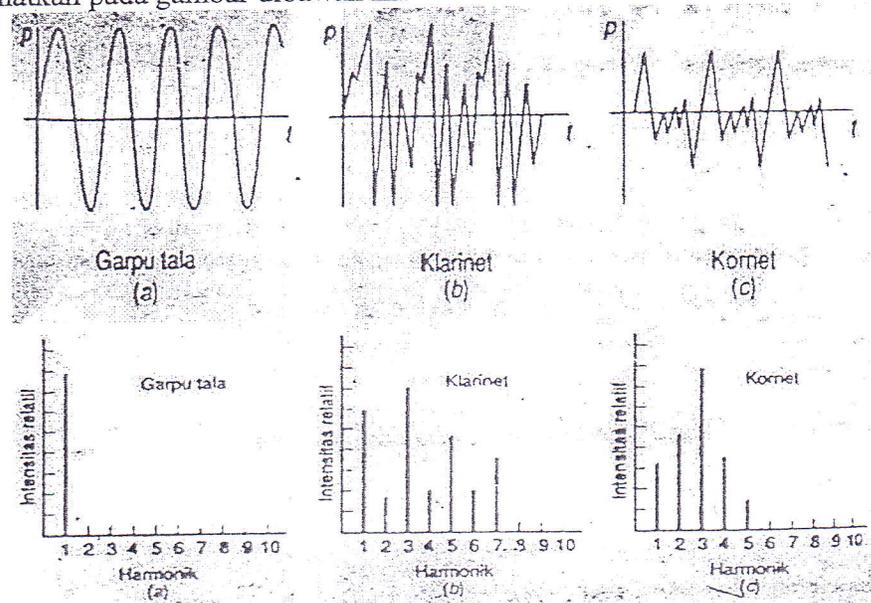
Frekuensi yang biasa untuk not-not musik pada apa yang disebut skala kromatik dengan kenyaringan yang sama, diberikan pada tabel dibawah ini untuk *octav* yang dimulai dengan C tengah. Dimana satu *octav* berarti menggandakan frekuensi seperti pada nada C tengah dengan C' (Giancoli, 1998).

Tabel 1. Skala kromatik dengan kenyaringan yang sama untuk satu octaf (Giancoli, 1998).

Not	Frekuensi (Hz)
C	262
C [#] atau D ^b	277
D	294
D [#] atau E ^b	311
E	330
F	349
F [#] atau G ^b	370
G	392
G [#] atau A ^b	415
A	440
A [#] atau B ^b	466
B	494
C	524

B. Analisis dan Sintesis Harmonik

Dua alat musik yang berbeda dibunyikan dengan frekuensi nada yang sama, akan menghasilkan bunyi yang berbeda. Kedua nada mempunyai titik nada yang sama yang merupakan rangsangan fisiologi frekuensi yang terdengar dimana semakin tinggi frekuensi maka semakin tinggi titik nada. Namun kedua nada itu berbeda dalam hal yang disebut kualitas nada, alasan utama yang menyebabkan hal tersebut adalah karena masing-masing alat musik menghasilkan harmonik yang memiliki intensitas relatif yang bergantung pada jenis alat musik dan bagaimana alat musik tersebut dimainkan. Perbedaan kualitas nada berhubungan erat dengan bentuk gelombang yang dihasilkan, sebagai contoh bentuk gelombang bunyi yang dihasilkan beberapa alat musik yang dibunyikan pada tingkat frekuensi yang sama diperlihatkan pada gambar dibawah ini.

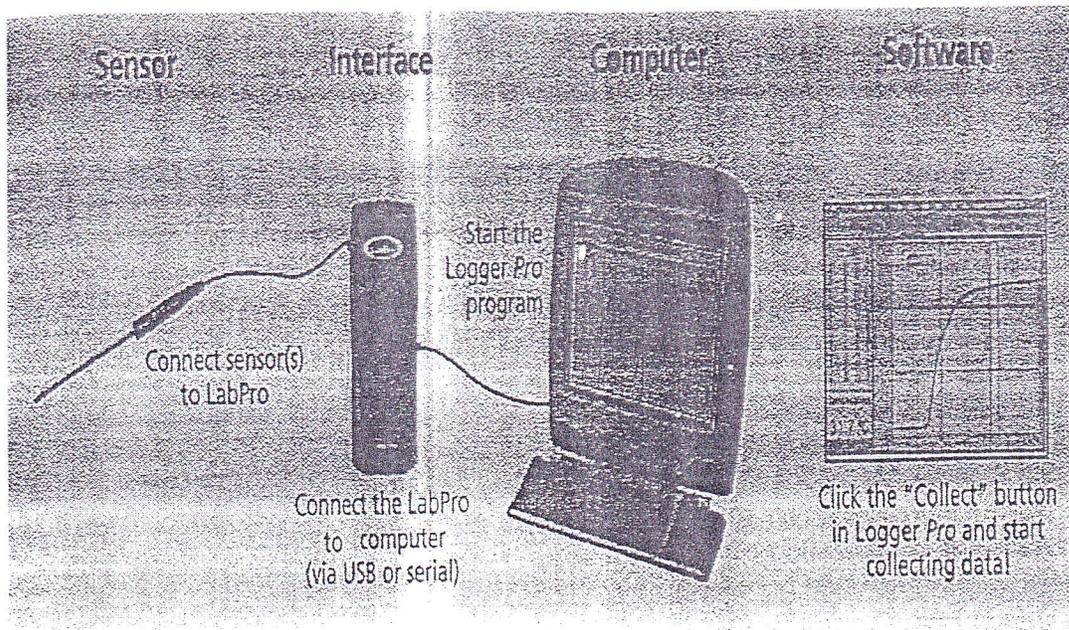


Gambar 1. Bentuk gelombang berbagai alat musik pada frekuensi sama 440 Hz

Bentuk gelombang yang dihasilkan dapat dianalisis menurut harmonik-harmonik yang menyusun gelombang tersebut, analisis seperti ini disebut analisis harmonik atau juga disebut analisis fourier yang secara matematika menganalisis fungsi-fungsi periodik. Kebalikan dari analisis harmonik adalah sintesis harmonik, yang merupakan konstruksi gelombang periodik dari komponen-komponen harmoniknya. Semakin banyak harmonik yang digunakan dalam suatu sintesis maka semakin baik pendekatannya terhadap bentuk gelombang sesungguhnya (Tipler, 2001: 527).

III. EKSPERIMEN

Instrumen yang digunakan dalam eksperimen ini adalah system akuisisi data berbasis komputer yang dikenal dengan istilah system MBL (*Microcomputer Based Laboratory*), yang terdiri dari unit sensor (berupa *microphone*), interface (Vernier LabPro), komputer, dan software akuisisi data (Vernier LoggerPro 3.2). Diagram system MBL sebagaimana gambar 2.



Gambar 2 Diagram Instrumen sistem MBL

Subjek eksperimen ini adalah instrumen musik Organ merk Yamaha PSR-172 dengan spesifikasi bunyi (*voice*): 073-Horn, Trp = Split, yang memiliki nilai ketetapan secara internasional. Nada C_4 digunakan sebagai nada acuan (nada dasar), yang frekuensi akan diperoleh sekitar 261-265 Hz. Sampel bunyi yang digunakan adalah nada-nada sesuai dengan tabel 1.

Dari rekaman bunyi yang diperoleh dilakukan analisis dengan FFT, yang sudah tersedia dalam software LoggerPro 3.2, untuk mendapatkan nilai frekuensi dari masing-masing nada. Nilai rerata dari frekuensi tiap nada dihitung sesuai dengan rentangnya, dengan persamaan.

$$f_{\text{Nada}} = \frac{a+b}{2} \quad (1)$$

dimana, f_{Nada} = frekuensi tiap nada (Hz), a = batas minimum (Hz), dan b = batas maximum (Hz). Perbedaan frekuensi tiap-tiap nada (kecuali nada yang pertama) terhadap satu nada sebelumnya dihitung dengan persamaan:

$$\Delta f = f_n - f_{n-1} \quad (2)$$

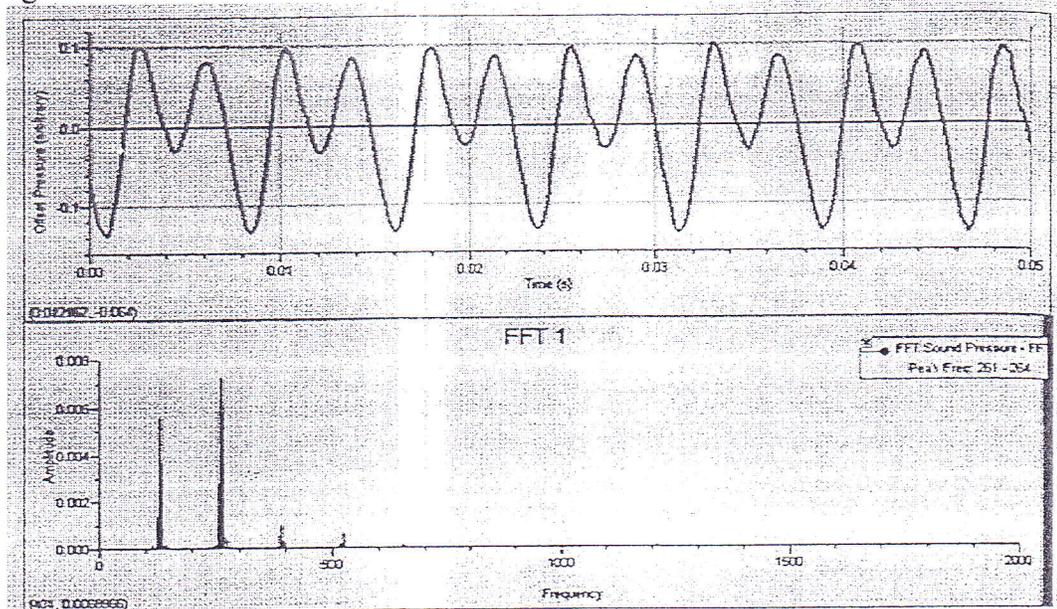
dimana, Δf = selisih frekuensi nada (Hz), f_n = frekuensi nada ke- n ($n = C_4, C_4\#, \dots$) dan f_{n-1} = frekuensi nada sebelum nada ke- n . Perbandingan setiap frekuensi dari tangga nada dengan membagi frekuensi setiap nada dengan frekuensi nada C_4 , yaitu :

$$\text{Rasio}_{\text{nada}C_4} = \frac{f_n}{f_{C_4}} \quad (3)$$

dimana, f_n = frekuensi nada ke- n ($n = C_4, C_4\#, \dots$), dan f_{C_4} = frekuensi nada C_4

IV. HASIL DAN KESIMPULAN

Salah satu hasil pengukuran menggunakan sistem MBL disajikan pada gambar 3.



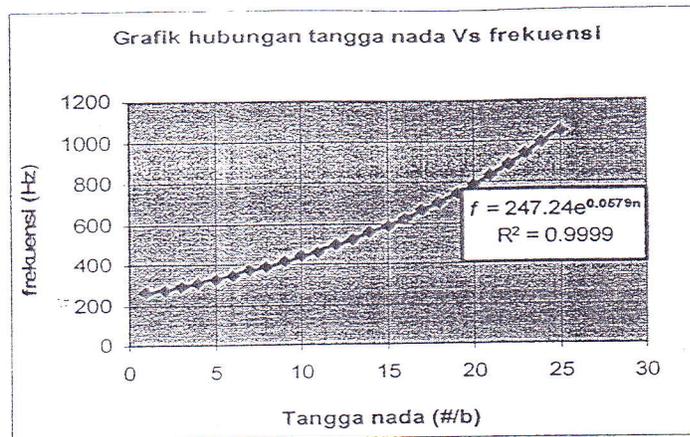
Gambar 3. Hasil Pengukuran untuk Nada C4

Setelah data dianalisis, diperoleh nilai frekuensi tangga nada instrumen musik Keyboard Elektronik (Organ) Yamaha PSR-172 dengan spesifikasi bunyi (*voice*): 073-Horn, Trp = Split, sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil analisis data

No.	Nada	f_r (Hz)	Δf_r (Δ Hz)	Rasio tiap nada dengan nada sebelumnya	Rasio tiap nada dengan nada C_4	Rasio terhadap C_4 jika intonasi	Pembulatan dengan pecahan		Kesalahan relatif terhadap teori (%)
1	C_4	262,5			1	1	1	1/1	0,19
2	$C_4^\#$	277	14,5	1,06	1,06				0
3	D_4	294	17	1,06	1,12	1,12	1,12	9/8	0
4	E_4^b	314	20	1,07	1,2				0,96
5	E_4	331	17	1,05	1,26	1,26	1,25	5/4	0,3
6	F_4	348	17	1,05	1,33	1,33	1,33	4/3	0,29
7	$F_4^\#$	370	22	1,06	1,41				0
8	G_4	392	22	1,06	1,49	1,49	1,5	3/2	0
9	A_4^b	416	24	1,06	1,58				0,24
10	A_4	443	27	1,06	1,69	1,69	1,66	5/3	0,68
11	B_4^b	465	22	1,05	1,77				0,21
12	B_4	497	32	1,07	1,89	1,89	1,87	15/8	0,61
13	C_5	526	29	1,06	2	2	2	2/1	0,38

Jika dihubungkan nada dengan besarnya frekuensi dalam tangga nada tersebut, dapat digambarkan suatu pola grafik hubungan antara keduanya, seperti yang terlihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik hubungan Tangga Nada dengan Frekuensi.

Sehingga pola grafik berbentuk eksponensial. Dari grafik ini dihasilkan suatu persamaan matematis yang berkaitan dengan model eksponensial. Hasil dari persamaan ini diperoleh sebagai: $f = 247,24e^{0.0579n}$. Persamaan ini dapat difungsikan untuk menentukan nilai frekuensi dari tangga nada pada *octav* yang lebih rendah atau *octav* yang lebih tinggi pada instrumen musik Keyboard Elektronik (Organ) Yamaha PSR-172.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dapat ditarik kesimpulan bahwa pengukuran frekuensi instrumen musik Elektronik Keyboard (Organ) Yamaha PSR-172. sebagai berikut, yaitu: pengukuran frekuensi tangga nada suatu instrumen musik Elektronik Keyboard (Organ) dengan sistem MBL-FFT memberikan tingkat ketelitian yang baik, perbedaan rasio frekuensi antara tangga nada Elektronik Keyboard (Organ) adalah sesuai dengan ketetapan, dan nilai frekuensi dari setiap nada identik dengan nilai frekuensi teoritisnya, dengan prosentase kesalahan rata-rata sebesar: 0,22 %, dan pola atau persamaan matematis yang diperoleh dari hubungan tangga nada dengan frekuensi adalah: $f = 247,24e^{0.0579n}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D. C., 1998, *Fisika, Jilid 1*. Erlangga : Jakarta.
- Resnick, R. dan Halliday, D., 1997, *Fisika. Jilid 2*. Erlangga : Jakarta.
- Sutrisno, 1979, *Seri Fisika Dasar Gelombang dan Optik*. ITB : Bandung.
- Tipler, P. A., 2001, *Fisika Untuk Sains dan Teknik, jilid 1*. Erlangga : Jakarta.
- Young, H. D., dan Freedman, R. A., 2000, *Fisika Universitas Edisi, jilid 2*. Erlangga : Jakarta.