PROSIDING

Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015

Bandung, 8 – 9 Juni 2015

ISBN : 978-602-19655-8-0

Penerbit:
Program Studi Magister Pengajaran Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Bandung
2015

Analisi Kandungan Frekuensi Harmonik Akord D_{Mayor} pada Alat Musik Gitar

Khairil Anwar* dan Sparisoma Viridi

Abstrak

Bunyi alat musik gitar merupakan salah satu gejala fisika yang menarik untuk dikaji, karena menghasilkan nada kompleks yang merupakan superposisi dari banyak nada murni (harmonik). Kualitas bunyi, warna bunyi, dan karakteristik akustik berbagai alat musik gitar berbeda-beda, salah satu nya bergantung pada kandungan frekuensi harmonik sebagai akibat dari kualitas dawai, ketelitian pemasangan fret dan resonator gitar. Salah satu cara untuk mengetahui kualitas bunyi gitar adalah menganalisis kandungan harmonik bunyi nada dan akord. Akord merupakan prinsip utama dalam memainkan alat musik gitar, salah satunya akord D_{Mayor} yang dapat dibentuk dengan berbagai konfigurasi senar pada suatu fret yang merupakan superposisi berbagai nada. Menurut teori musik akord ini didasarkan dari rumus penyusunan jarak nada mayor yaitu 2 dan $1\frac{1}{2}$ (terdiri atas nada Fis ($F_{\#}$), A, dan D, ini berarti nada Fis berjarak 2 dari nada D, dan nada A berjarak $1\frac{1}{2}$ dari nada Fis, namun bagaimanakah akord D_{Mayor} ini tersusun menurut konsep fisika?. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui kandungan frekuensi harmonik nada-nada penyusun akord dan akord D_{Mayor} sendiri. Data sinyal gelombang bunyi dianalisis dengan teknik FFT (Fast Fourier Transform) berbantuan software MacScope II dan Matlab untuk menganalisis frekuensi harmonik. Disimpulkan bahwa bunyi akord D_{Mayor} pada alat musik gitar tidak menghasilkan suatu deretan harmonik, namun kandungan frekuensinya sesuai dengan kandungan frekuensi harmonik nada-nada penyusunnya yaitu tangga nada A, D, dan Fis ($F_{\#}$).

Kata kunci: Tangga Nada, akord D_{Mayor} , FFT.

Pendahuluan

Seorang fisikawan Perancis Merin Mersenne (1588-1648) yang juga oleh Melde telah melakukan suatu percobaan untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi frekuensi alami sebuah senar (dawai/kawat)[17]. LoPresto (2006) melakukan eksperimen dengan senar VI gitar akustik, dimana frekuensi nada ditentukan hanya dari periode waktu rekaman gelombang[20]. Sementara itu Sobel (2014) menggunakan gitar dalam pembelajaran pemahaman konsep resonansi pada siswa di Brooklyn College[19]. dan Petersen (2007) menjelaskan bahwa contoh alat musik dan komputer dapat diaplikasikan sebagai pengantar untuk memahami deret Fourier.

Terdapat *fret-fret* yang dipasang di sepanjang leher gitar yang digunakan untuk menghasilkan nada-nada tertentu dengan menekan senar diantara dua *fret*. Selain nada, karakteristik yang lain adalah kuat atau lemahnya suatu bunyi serta warna bunyi[2]. Terdapat beberapa gabungan nada yang disebut dengan "akord". Salah satunya " D_{Mayor} ". Menurut teori musik *akord* ini disusun atas beberapa nada yaitu nada Fis ($F_{\#}$), A, dan D, susunan ini didasarkan dari rumus penyusunan nada mayor yaitu 2 dan $1\frac{1}{2}$ yang merupakan jarak nada, ini berarti nada Fis berjarak 2 dari nada D, dan nada A berjarak $1\frac{1}{2}$ dari nada Fis[5]. Namun bagaimanakah *akord* D_{Mayor} ini tersusun menurut konsep fisika?. Ini dapat dilakukan dengan analisis harmonik.

Teori

Gelombang bunyi

Gelombang bunyi, lebih khususnya dikenal dengan gelombang akustik[12], dan bunyi berasal dari sebuah benda yang bergetar [11]. Bentuk gelombang yang tidak periodik akan terdengar sebagai derau (*noise*)[3]. Pada contoh bunyi alat musik, dihasilkan warna bunyi yang teratur karena bunyi yang terbentuk merupakan gelombang periodik dan telah ditetapkan nilai frekuensinya[2].

Senar (dawai) sebagai sumber bunyi

Getaran senar pada gitar merupakan sumber bunyi. Laju penjaran gelombang v pada senar berhubungan dengan akar tegangan F dan massa persatuan panjang μ [2, 13, 16].

Nada yang dihasilkan oleh senar gitar dapat bermacam-macam, tergantung cara memberi tumpuan pada senar itu. Frekuensi nada dasar f_0 ditentukan dengan[16]:

$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{v}{2\ell} = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad (1)$$

Sehingga besarnya kelajuan perambatan bunyi pada senar yang bergetar dapat dihitung dengan persamaan: $v = 2\ell \cdot f_0$ dan ketegangan senar ditentukan oleh $F = v^2 \cdot 4\ell^2 \cdot \mu$

Pola resonansi berikutnya adalah nada atasnya yang merupakan frekuensi alaminya. Untuk frekuensi harmonik ke- n ditentukan sebagai berikut

$$f_n = (n+1)f_0 = (n+1)\frac{v}{2\ell} \quad (2)$$

sehingga perbandingan frekuensi tersebut akan kelipatan bulat dari frekuensi nada dasarnya[16].

Berdasarkan Hukum Marsenne, hubungan frekuensi dasar pada senar yang kedua ujungnya terikat adalah [13], [18].

- Berbanding terbalik dengan panjang senar.
- Berbanding lurus dengan akar dari gaya tegangan senar.
- Berbanding terbalik dengan akar dari massa jenis senar.

Bunyi pada instrumen musik

Nada adalah bunyi tunggal yang berasal dari sumber bunyi yang mempunyai frekuensi tetap[15]. Contoh karakteristik bunyi adalah warna bunyi (*timbre*) ditunjukkan oleh komponen frekuensi harmoniknya (Gambar 1)[6,16]. Tangga nada diatonik didasarkan pada not-not angka, juga diberi nama dengan huruf abjad[17]. Seiring perkembangan peradaban, lima nada lagi ditambahkan pada skala musik dunia barat yaitu nada tengahan *cis* (*des*), *dis* (*eis*), *fis* (*ges*), *gis* (*as*), *ais* (*bes*), sehingga keduabelas skala nada ini disebut skala *Chromatic*[7]. Frekuensi not-not skala kromatik dengan kenyaringan yang sama pada tangga nada standar (*middle*) diberikan pada Tabel 1, [2].

Tabel 1. Skala kromatik dengan kenyaringan yang sama untuk satu oktaf [2],[17].

Not Nada	Bunyi Nada	Tangga Nada	Frek. (Hz)	Interval	Jarak Nada
1	do	C	262	Prime	
		C [#] atau D ^b	277		1
2	re	D	294	Sekonde	
		D [#] atau E ^b	311		1
3	mi	E	330	Ters	1/2
4	fa	F	349	Kwart	
		F [#] atau G ^b	370		1
5	sol	G	392	Kwin	
		G [#] atau A ^b	415		1
6	la	A	440	Sext	
		A [#] atau B ^b	466		1
7	si	B	494	Septime	1/2
8	Do'	C'	524	Oktaf	

Analisis harmonik

Contoh bentuk gelombang bunyi yang dihasilkan beberapa alat musik yang dibunyikan pada tingkat frekuensi yang sama diperlihatkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Bentuk gelombang dan frekuensi harmonik berbagai alat musik pada frekuensi sama 440 Hz, (Sumber: Tipler).

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[16].

Transformasi Fourier cepat (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) adalah algoritma yang cepat untuk menganalisis sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi, yang persamaannya dapat ditulis sebagai berikut [5],

$$F(f_n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} f(t_k) e^{i2\pi n k / N}, \quad (5)$$

dapat dipecah sampai dengan N data, dimana $N = 2^n$, oleh karena itu jumlah data yang sesuai untuk analisis sinyal menggunakan FFT adalah 2^n (Press et.al.,1986 dalam [5]). Penyelesaian algoritma FFT dapat dengan mudah dijalankan dalam program Excel dan Matlab. Nilai frekuensi ke- n dapat dihitung dengan $f(n) = n f_s / N_{FFT}$.

Metode eksperimen

Senar (*strings*) gitar yang digunakan dalam kajian ini adalah jenis kawat baja (Legacy tipe A506 *extra light stainless steel nickel wound*) yang diproduksi oleh Legacy musical instrumen company.

Sebelum gitar dimainkan, senar disetel standar dengan bunyi nada *do* = E, A, D, G, B, dan E. [1]. Untuk menampilkan bentuk dan data suatu sinyal, digunakan *software* MacScope II (The Physics Teacher, 2007). Karakteristik fisis bunyi pada setiap senar yang berhubungan dengan pelarasan standar dihitung menggunakan pers. (1). Sedangkan nada-nada pelarasan standar, penyusun *akord*, dan *akord* D_{major} akan dianalisis menggunakan metode FFT untuk mengetahui komponen-komponen harmoniknya.

Hasil dan diskusi

- Penentuan besaran fisis masing-masing senar pada pelarasan standar.

Hasil analisis frekuensi harmonik, gaya tegang senar, serta kelajuan perambatan bunyi pada keadaan *tuning*/pelarasan standar dari senar I s/d VI ditunjukkan dalam Tabel 2. Sedangkan diameter masing-masing senar berturut-turut adalah (0.23, 0.28, 0.41, 0.61, 0.81, 1.07) mm.

Tabel 2. Karakteristik fisis masing-masing senar gitar pada keadaan pelarasan standar.

Senar	μ (kg/m) ($\times 10^{-5}$)	Deret Nada	L (m)
I	38.13	E ₄	0.6514 $\pm$ 0.0004
II	48.35	B ₃	
III	94.44	G ₃	
IV	202.35	D ₃	
V	353.23	A ₂	
VI	574.42	E ₂	

Tabel 3. Perolehan frekuensi harmonik masing-masing senar gitar pada keadaan pelarasan standar.

f_{acuan} Nada Dasar	Frekuensi Harmonik, $f_n = 0, 1, 2, 3, \dots$ (Hz)				
	0	1	2	3	4
330	331.77	662.13	993.76	1322.29	-
247	244.49	497.38	747.58	999.13	1230.98
196	200.18	396.22	586.45	785.63	986.60
147	147.81	296.77	443.58	591.10	739.70
110	110.62	220.08	331.08	442.01	551.14
82.5	81.92	162.49	246.27	330.07	412.43

Tabel 4. Besarnya kelajuan dan ketegangan pada masing-masing senar gitar.

Senar	v (m/s)	F (N)
I	432.30	71.26
II	318.57	49.07
III	261.03	64.35
IV	192.45	74.94
V	144.09	73.34
VI	106.67	65.36

Panjang senar, dapat berubah-ubah sesuai fret nada sehingga berpengaruh ke frekuensi bunyi. Ketegangan senar dapat diabaikan karena pada saat jari menekan senar pada suatu fret tertentu simpangan senar sangat kecil sehingga perubahan ketegangan tidak signifikan (dianggap konstan). Massa senar, luas penampang senar, dan atau kerapatan senar juga konstan. Pada nada-nada pelarasan standar dengan panjang senar yang identik diperoleh frekuensi dasar yang dihasilkan dari senar VI s/d. I berturut-turut 81,90–331,77 Hz yang mana *range* frekuensi ini merupakan frekuensi dari tangga nada E₂, A₂, D₃, G₃, B₃, dan E₄.

2. Hasil analisis Fourier nada penyusun D_{mayor}.
akord D_{mayor} pada gitar dapat dihasilkan dengan beberapa cara/pola tertentu, yaitu: pola-1, pola-2, dan pola-3.

Akord D_{mayor} pola-1 dapat dibunyikan sebanyak empat senar yang dihasilkan dengan cara menekan senar I-diantara fret 2 dan 3 (selanjutnya disebut fret 3), senar II-fret 4, senar III-fret 3, senar IV-fret 1 (tanpa tekan). Akord D_{mayor} pola-2 dibunyikan dalam lima senar.

Sedangkan D_{mayor} pola-3 dibunyikan pada seluruh senar.

Adapun hasil analisis nada penyusun akord D_{mayor} untuk masing-masing pola diperoleh frekuensi harmonik rata-rata dari masing-masing nada ditunjukkan dalam Tabel 5(a,b,c).

Tabel 5. a) Hasil analisis nada penyusun akord D_{mayor} pola-1.

tangga Nada	fret ke-	L (m)	Frekuensi harmonik (Hz)			
			f_0	f_1	f_2	f_3
D _{3,IV}	1	0.651	147,81	296,77	443,58	591,10
A _{3,III}	3	0,569	221,66	439,64	659,41	880,25
D _{4,II}	4	0,535	292,73	588,69	883,20	1179,51
F _{4#,I}	3	0,571	371,16	739,08	1110,13	1484,76

b) Hasil analisis nada penyusun akord D_{mayor} pola-2.

tangga Nada	fret ke-	L (m)	Frekuensi harmonik (Hz)			
			f_0	f_1	f_2	f_3
D _{3,V}	6	0.475	147.25	296.18	443.33	594.06
A _{3,IV}	8	0.425	219.42	440.98	661.20	886.78
D _{4,III}	8	0.425	292.73	588.69	883.20	1179.51
F _{4#,II}	8	0.425	371.61	743.11	1113.44	1485.66
A _{4,I}	6	0.475	440.99	877.83	1319.60	1767.19

c) Hasil analisis nada penyusun akord D_{mayor} pola-3.

tangga Nada	fret ke-	L (m)	Frekuensi harmonik (Hz)			
			f_0	f_1	f_2	f_3
D _{3,VI}	11	0.385	146.74	294.53	-	-
A _{3,V}	13	0.340	220.50	441.79	664.15	885.80
D _{4,IV}	13	0.340	289.70	587.79	877.38	1183.98
F _{4#,III}	12	0.360	372.05	744.00	1112.37	1487.00
A _{4,II}	11	0.380	438.30	-	-	-
D _{5,I}	11	0.380	586.45	1173.16	-	-

Pada akord D_{mayor} pola-1 untuk senar I posisi penekanan jari berada pada fret 3 akibatnya panjang senar yang bergetar memendek menjadi 0,571 m sehingga menimbulkan frekuensi meningkat dan diperoleh sebesar 371,16 Hz dimana nilai ini merupakan frekuensi dasar untuk nada F_{4#}, atau (Fis) dalam sistem tangga nada musik. Demikian pula untuk keadaan senar-senar yang lain.

Dengan memperhatikan nada D_{3,IV} yaitu frekuensi f_0 , f_1 , dan nada D_{4,II} pada frekuensi f_0 terlihat bahwa interval tangga nadanya merupakan 1-oktaf. Sedangkan jumlah kandungan frekuensi harmonik selain karena sifat getaran senar, dapat juga dipengaruhi oleh faktor redaman bunyi untuk setiap nada pada saat dimainkan.

Berdasarkan hasil analisis dalam Tabel 5, dinyatakan bahwa nada-nada penyusun akord D_{mayor} pola-1 tersusun oleh nada-nada: D₃ pada senar IV (D_{3,IV}) dengan panjang senar 0,651 m, A_{3,III}- 0,569 m, D_{4,II}-0,535 m, dan F_{4#,I}- 0,571 m dalam sistem tangga nada musik modern. Pola-2 disimpulkan juga tersusun oleh nada-nada: D_{3,V}, 0,475 m; A_{3,IV}, 0,425 m; D_{4,III}, 0,425 m; dan F_{4#,II}, 0,475 m. Sedangkan nada-nada penyusun akord D_{mayor} pola-3 adalah D_{3,VI}, 0,385 m; A_{3,V}, 0,340 m;

D_4^{IV} , 0.340 m; $F_{4\#}^{III}$, 0.360 m; A_4^{II} , 0.380 m; dan D_5^I , 0.380 m.

3. Analisis Fourier *akord* D_{mayor} .

Selanjutnya, bentuk gelombang dan hasil analisis *FFT* bunyi *akord* D_{mayor} pola-1, 2 dan 3 ditunjukkan dalam Gambar 2.

Gambar 2. Contoh bentuk gelombang dan hasil analisis *FFT* bunyi *akord* D_{mayor} untuk pola-1.

Rangkuman deretan frekuensi yang dihasilkan pada berbagai pola ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata kandungan frekuensi bunyi *akord* D_{mayor} (Hz).

f_a	f_b	f_c	f_d	f_e	f_f	f_g	f_h	f_i
(147)	(294)	(441)						
147.45	220.14	294.14	372.20	441.43	588.47	662.00	741.38	879.17
↓								
D	A	D	F $\#$	A	D	A	F $\#$	D

Sesuai data Tabel 6, diperoleh bahwa bunyi *akord* D_{mayor} pada berbagai pola muncul dengan berbagai frekuensi bunyi dominan dengan frekuensi dimulai pada 147.45 Hz. Berdasarkan nilai-nilai ini, terlihat bahwa kandungan frekuensi muncul tidak membentuk deretan harmonik, hal ini dapat disebabkan karena adanya supposisi berbagai bunyi nada murni penyusun *akord* tersebut. Meskipun tidak membentuk harmonik, namun dapat dianalisis bahwa kandungan frekuensi penyusun *akord* merupakan frekuensi-frekuensi yang bersesuaian dengan frekuensi harmonik pada deretan tangga nada penyusun *akord* ini. Sehingga menunjukkan bahwa meski pola penyusunan *akord* D_{mayor} berbeda-beda namun tetap memberikan kekonstitenan frekuensi-frekuensi yang sesuai dengan frekuensi nada-nada penyusun *akord* D_{mayor} tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan data dan hasil analisis, bunyi *akord* D_{mayor} pada alat musik gitar bukan merupakan suatu deretan harmonik, dan secara konsep fisika dapat dibuktikan bahwa *akord* D_{mayor} pada alat musik gitar tersusun oleh nada-nada A, D, dan Fis (F $\#$).

Referensi

- [1] David, R. L., *The Physics of Music and Musical Instruments*, Wright center for innovative science education: Tufts University, 2002.
- [2] Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Erlangga: Jakarta, 1998, p.103.
- [3] Halliday, D., dan Resnick, R., *Fisika Jilid 2*, Erlangga: Jakarta, 1997, p.85.
- [4] Huggins, E. R., *Fourier Analysis in Introductory Physics*, 2007. <http://www.lish.huggins@Dartmouth.edu>. [dakses 13 maret 2015].
- [5] Imam Slamet, "Analisis Triad D_{Mayor} pada Gitar Akustik, *Skripsi Sarjana*, UNY, Yogyakarta Indonesia, 2005.
- [6] Indra, E. I., *Pelajaran IPA Fisika*, Yrama Widya: Bandung, 2007.
- [7] Presto, C. M., *Experimenting with Brass Musical Instruments*, 2003. <http://www.iop.org/EJ/abstract/0031-9120/38/4/302>. [diakses 20 Mei 2015].
- [8] Nugroho, S., *Sejarah Gitar*, 2006. Website: http://id.wikipedia.org/w/index.php?title=Gitar_list&action=edit. [diakses 2 Mei 2015].
- [9] Petersen, M. R., "Musical Analysis and Synthesis in Matlab", *The college mathematics journal*, vol.35. NO.5, (2004).
- [10] Proakis, J. G., dan Manolakis, D. G., *Pemrosesan Sinyal Digital, Prinsip-prinsip, Algoritma, dan Aplikasi, Edisi Bahasa Indonesia jilid 1*, Jakarta: PT. Prenhallindo, 1997.
- [11] Sears, F.W., Zemansky, M. W., Young, H. D., Freedman, R. A., *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 2*, Erlangga: Jakarta, 2001.
- [12] Sears, Soedarjana, *Mekanika Panas Bunyi*, Diwantera : Bandung, 1963.
- [13] Sutrisno, *Seri Fisika Dasar Gelombang dan Optik*, ITB :Bandung, 1979.
- [14] Suwondo, N., "Perancangan Sistem Elektronik Penentu Parameter Sinyal Berbasis PC", *Journal Penelitian dan Kajian Ilmiah MIPA*, Vol. 2. NO. 1, (2003).
- [15] Sulistyono, Setyono P., *Intisari Fisika*, Pustaka Setia: Bandung, 2003.
- [16] Tipler, P.A., *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 1*, Erlangga: Jakarta, 2001.
- [17] Widagdo, M, *Buku Pelajaran Fisika Jilid 2*, Jakarta: Erlangga, 1984.
- [18] Nelkon, et.al, *Advanced Level Physics, Third edition with SI units*. Heinem Education Book, Ltd, 1975.
- [19] Sobel M, "Teaching resonance and Harmonics with guitar and piano". *the physics teacher journal*, Vol.52. February, (2014).
- [20] LoPresto, C. M. "Experimenting with Guitar Strings". *The physics teacher of journal*, vol.44. NO. 509, November, (2006).

Khairil Anwar*

Program Pascasarjana Pendidikan IPA, UPI Bandung
hairil_physic@yahoo.com

Sparisoma Viridi

Nuclear Physics and Biophysics Research Division, Institut Teknologi Bandung
dudung@fi.itb.ac.id

*Corresponding author