

# Penggunaan Elemen Musik dalam Kriptografi

Emeraldy Widiyati 13508067  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia  
If18067@students.itb.ac.id

**Abstrak--**Pada dunia kriptografi, dikenal banyak bahasa, sistem huruf atau simbol-simbol, dan metode-metode yang dipakai dalam menyusun dan mengembangkan teknik enkripsi yang dapat mengkodekan pesan sehingga terahasiakan dengan baik. Di antara simbol-simbol yang dipakai, secara garis besar ada dua jenis simbol, yaitu simbol yang lazim dan tidak lazim dipakai oleh masyarakat luas (hanya komunitas tertentu).

Nada-nada, merupakan bunyi, notasi, simbol, yang diketahui oleh masyarakat luas sebagai suatu yang dapat dinikmati ketika dirangkai dalam suatu alunan melodi yang harmonis. Nada-nada dapat kita sebut sebagai elemen dalam musik. Ternyata, selain berguna untuk pengetahuan dan pengembangan ilmu dan industri musik, ternyata elemen musik juga dapat digunakan untuk kepentingan kriptografi.

Pada makalah ini, penulis akan memberikan suatu contoh penerapan sederhana elemen musik untuk kepentingan kriptografi dengan menjadikan elemen tersebut sebagai unsur dari kriptografi, yaitu teks asli, kunci, dan teks terenkripsi.

**Kata kunci**—simbol, nada, notasi, musik, kriptografi.

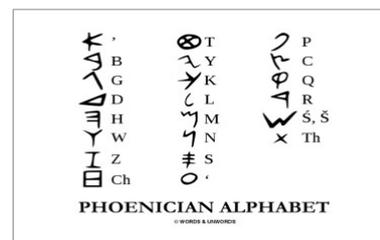
## I. PENDAHULUAN

Informasi merupakan suatu yang bersifat vital bagi manusia. Dengan adanya informasi, manusia dapat belajar, melakukan *reasoning*, serta menambah pengetahuan dirinya sendiri dan menambah pengetahuan orang lain, jika informasi tersebut memang diteruskan kepada orang lain, dengan cara apapun.

Di antara informasi yang beredar di dunia ini, selain informasi yang bersifat umum atau dapat secara bebas diketahui oleh orang-orang, adapula informasi yang tidak boleh diketahui oleh umum. Dengan kata lain, informasi tersebut bisa saja merupakan informasi yang sangat penting, berbahaya, atau terlarang, sehingga hanya boleh diketahui oleh beberapa kalangan tertentu saja. Untuk keamanan penyampaian informasi yang dirahasiakan ini, sejak jaman dahulu, orang-orang yang terlibat dalam peredarannya terus mencari dan mengembangkan cara atau metode untuk menyembunyikan informasi ketika

menyampaikannya pada orang yang dituju. Hal inilah yang melatarbelakangi lahirnya suatu cabang ilmu baru, yaitu kriptografi.

Berdasarkan penelitian, kriptografi diperkirakan sebenarnya telah ada sejak jaman dahulu kala, yaitu sekitar 4000 tahun silam di peradaban bangsa mesir kuno. Dulu, mereka menggunakan baik simbol-simbol maupun alat enkripsi sederhana untuk menyamarkan pesan. Seiring dengan perkembangan zaman, daya pikir manusia pun semakin kreatif dan ikut berkembang pula. Selama itu, telah ditemukan ciptaan-ciptaan baru manusia yang berkaitan dengan kriptografi, baik itu mesin enkripsi, metode enkripsi, maupun simbol-simbol baru yang digunakan sebagai pesan yang terenkripsi.



Gambar 1 Contoh simbol yang digunakan dalam kriptografi

Salah satu penyimbolan yang pernah digunakan untuk menyembunyikan pesan yaitu menggunakan elemen-elemen musik. Dari mulai tulisan notasi, hingga nada-nada yang direpresentasikan dalam bunyi, tercatat pernah digunakan oleh pemakai elemen ini yang sebagian besar merupakan komposer lagu untuk menyampaikan efek atau maksud tersendiri yang tersembunyi dalam lagu.

Elemen-elemen musik amat banyak, sehingga sangat mungkin untuk dikembangkan secara lebih jauh lagi untuk kepentingan kriptografi. Menurut sumber, beberapa contoh elemen yang sering dipakai oleh kriptologis untuk melakukan pengkodean yaitu not balok dan pola melodi (repetitif, familiar, janggal). Walaupun sifatnya belum terlalu aplikatif, namun terdapat suatu seni tersendiri dalam menggabungkan antara musik dan kriptografi. Setidaknya hal inilah yang membuat kriptografi menjadi semakin indah, dan musik menjadi semakin bermisteri.

## II. TEORI DASAR

Pada teori dasar ini, hanya akan dijelaskan beberapa elemen musik yang terkait dengan penggunaannya sebagai media cipher yang dijelaskan pada makalah ini, diantaranya yaitu nada, notasi, dan tangga nada. Selain itu, terdapat pula teori dasar mengenai kriptografi musikal.

### II.1 Nada

**Nada** adalah bunyi yang beraturan, yaitu memiliki frekuensi tunggal tertentu. Dalam teori musik, setiap nada memiliki tinggi nada atau tala tertentu menurut frekuensinya ataupun menurut jarak relatif tinggi nada tersebut terhadap tinggi nada patokan. Nada dasar suatu karya musik menentukan frekuensi tiap nada dalam karya tersebut. Nada dapat diatur dalam tangga nada yang berbeda-beda.

### II.2 Not

Not merupakan elemen yang paling fundamental dalam musik. **Not** adalah salah satu bagian dalam notasi musik yang merepresentasikan nada. Jika dianalogikan dalam bahasa manusia sehari-hari, not adalah alphabet, yang menyusun kata dan kalimat. Dengan menggunakan not, manusia dapat mengetahui dan mengerti nada yang sedang dibunyikan, sehingga dapat membunyikan nada tersebut berdasarkan representasi not yang telah ada. Hingga saat ini, terdapat dua jenis representasi not yang digunakan secara luas oleh orang-orang dalam dunia musik yaitu not angka dan not balok.

Sesuai dengan namanya, notasi musik angka (**not angka**), atau lebih dikenal sebagai berikut, *simplified Chinese*: 简谱; *traditional Chinese*: 简谱; pinyin: jiǎnpǔ; harfiah "notasi yang disederhanakan" dalam bahasa Cina, adalah sistem notasi musik yang menggunakan numerisasi dari nada-nada dan banyak digunakan di kalangan orang-orang Cina. Beberapa orang menyebutnya notasi numerik atau notasi integer. Sejarahnya berasal dari notasi Gongche pada Dinasti Tang.

Notasi ini juga dikenal sebagai *Ziffersystem*, yang berarti "sistem numerik" atau "sistem cipher" dalam bahasa Jerman. Perlu diperhatikan bahwa beberapa sistem lain yang tidak terkait notasi musik juga disebut notasi cipher. Sistem yang sama atau sistem yang sangat mirip yang digunakan sampai batas tertentu di beberapa negara Eropa, dan populer di beberapa negara Asia.

Berikut ini merupakan contoh dari notasi angka yang umum digunakan di daerah Asia, termasuk Indonesia:

do=C

Note:	C	D	E	F	G	A	B
Solfege:	do	re	mi	fa	sol	la	si
Notation:	1	2	3	4	5	6	7

Notasi yang kedua yaitu not balok. **Not balok** merupakan sistem notasi yang berasal notasi musik klasik Eropa dan sekarang digunakan oleh para musisi dari genre yang berbeda-beda di seluruh dunia. Representasi nada spade notasi ini diperlihatkan oleh simbol berupa bulatan-bulatan, baik memiliki tangkai maupun tidak, yang terletak pada garis paranada, yaitu garis yang menunjukkan ketinggian atau pitch dari suatu nada. Contoh dari not balok adalah sebagai berikut:



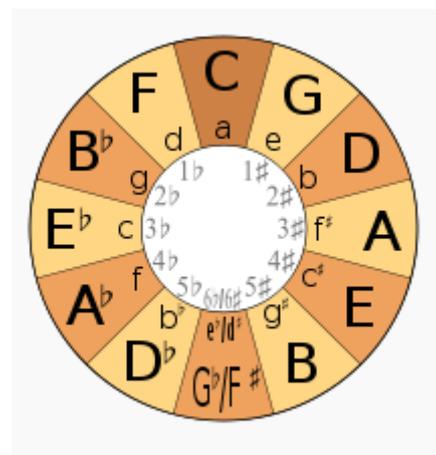
Gambar 2 Not balok

Selain merepresentasikan ketinggian atau interval nada, not juga berfungsi sebagai penunjuk panjang nada dalam satuan ketukan. Sebagai contohnya yaitu pada gambar nilai dari not balok di bawah ini:

Nama Not	Bentuk Not	Tanda Istirahat	Nilai
Not Penuh			4 Ketuk
Not 1/2			2 Ketuk
Not 1/4			1 Ketuk
Not 1/8			1/2 Ketuk
Not 1/16			1/4 Ketuk
Not 1/32			1/8 Ketuk

Gambar 3 Bentuk not balok beserta panjang not

### II.4 Tangga Nada



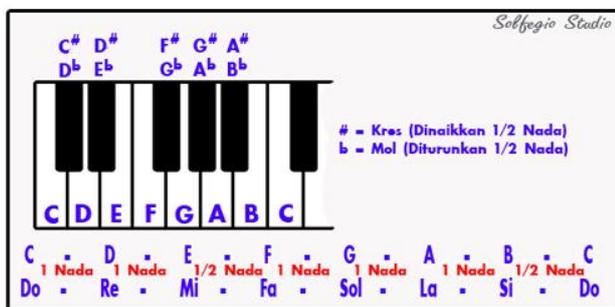
Gambar 4 Perbandingan nada dasar tangga nada (huruf besar : mayor, kecil minor)

	mol		kres	
	mayor	minor	mayor	minor
0	C	a	C	a
1	F	d	G	e
2	B $\flat$	g	D	b
3	E $\flat$	c	A	f $\sharp$
4	A $\flat$	f	E	c $\sharp$
5	D $\flat$	b $\flat$	B	g $\sharp$
6	G $\flat$	e $\flat$	F $\sharp$	d $\sharp$
7	C $\flat$	a $\flat$	C $\sharp$	a $\sharp$

Gambar 5 Perbandingan nada dasar tangga nada (huruf besar : mayor, kecil minor)

Salah satu elemen musik yang sangat penting dalam menyusun lagu adalah tangga nada. **Tangga nada** merupakan susunan berjenjang dari nada-nada pokok suatu sistem nada, mulai dari salah satu nada dasar sampai dengan nada oktafnya, misalnya do, re, mi, fa, so, la, si, do. Dalam dunia musik diatonis, atau musik yang pada umumnya digunakan secara universal oleh orang-orang di dunia, terdapat dua jenis skala tangga nada. yaitu skala mayor dan skala minor.

**Skala mayor** (major scale) merupakan skala tangga nada yang tersusun oleh delapan not, nada utama (natural) dari skala ini adalah do=C, dan jarak-jarak antara not yang berurutan dalam skala mayor adalah 1, 1, 1/2, 1, 1, 1, 1/2. Maksud dari angka 1 dan 1/2 di sini merepresentasikan nada-nada yang mengikuti aturan jarak atau interval. Penggambaran jarak atau interval dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6 Jarak nada pada media tuts piano

Sedangkan contoh tangga nada mayor yang mengikuti aturan tersebut adalah sebagai berikut:

do=C (major scale)

C D E F G A B C'  
do re mi fa sol la si do

jarak C-D = 1 (C-Cis-D)  
jarak D-E = 1 (D-Dis-E)

jarak E-F = 1/2 (E-F)  
jarak F-G = 1 (F-Fis-G)  
jarak G-A = 1 (G-Gis-A)  
jarak A-B = 1 (A-Ais-B)  
jarak B-C' = 1/2 (B-C')

**Skala minor** (minor scale) merupakan skala tangga nada yang tersusun oleh delapan not, nada utama (natural) dari skala ini adalah do=A (terlihat pada gambar), dan jarak-jarak antara not yang berurutan dalam skala mayor adalah 1, 1/2, 1, 1, 1/2, 1, 1. Tangga nada minor dapat dilihat sebagai mode musik keenam dalam tangga nada mayor. Tangga nada minor kadangkala dianggap mempunyai bunyi yang cenderung lebih sedih dibandingkan dengan tangga nada mayor. Contoh tangga nada minor adalah sebagai berikut:

do=A (minor scale)

A B C D E F G A'  
do re mi fa sol la si do

jarak A-B = 1 (A-Ais-B)  
jarak B-C = 1/2 (B-C)  
jarak C-D = 1 (C-Cis-D)  
jarak D-E = 1 (D-Dis-E)  
jarak E-F = 1/2 (E-F)  
jarak F-G = 1 (F-Fis-G)  
jarak G-A' = 1 (G-Gis-A')

Pada tangga nada, baik tangga nada mayor atau minor, intinya jika kita ingin menggunakan skala do=X, dengan X adalah nada (C, Cis, D, dsb), kita tidak boleh lupa jenis tangga nada yang kita mainkan, karena penyusunan nada-nada berikutnya harus mengacu pada jarak atau interval yang sudah ditentukan, kecuali jika ada kasus tertentu seperti tangga nada minor melodi meningkat, tangga nada minor harmonis, dan sebagainya.

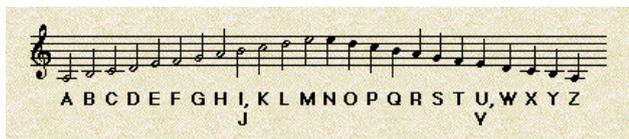
### II.3 Kriptografi Musikal

Sebuah "cipher" adalah metode mengubah teks menjadi kode rahasia. Saat ini, hal tersebut dilakukan biasanya untuk tujuan mata-mata atau spionase. Pada zaman dahulu, penyihir dan pesulap menggunakan cipher untuk membuat kalimat-kalimat ajaib untuk jimat atau untuk penulisan grimoires (buku mantra-mantra dan ritual). Bahkan, sejarawan melacak asal-usul dari ilmu kriptografi pada risalah abad ke-15, Steganographia, oleh Abbot Trithemius - pesulap yang adalah mentor dan guru dari pesulap yang paling terkenal, Agrippa. Penggunaan cipher untuk kebutuhan mantra dan lagu-lagu ritual inilah yang mengilhami pengembangan elemen-elemen musik tertentu dalam cipher.

Pada literatur referensi, terdapat suatu contoh cipher yang menerjemahkan huruf-huruf alfabet ke dalam notasi musik dan ritme. Sistem yang digunakan merupakan adaptasi dari salah satu yang dijelaskan oleh G. Porta, *De furtivis notis literarum* (Pada catatan rahasia dari huruf), 1602. Sistem yang digunakan dalam cipher ini menggunakan

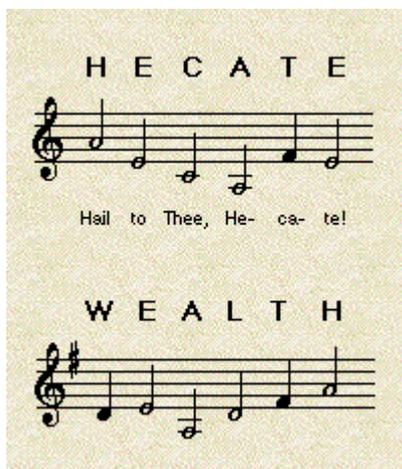
koncisi alami antara huruf pada skala musik dan huruf pada alphabet (huruf A = not A, huruf B = not B, dan sebagainya), yang mana komposer seperti Bach dan Schumann menggunakannya untuk menciptakan tema musikal. Untuk alasan numerologis, sistem alphabet yang digunakan yaitu sistem alphabet "Latin" 24 huruf, yang mana I sama seperti J, dan U sama seperti V.

Berikut ini merupakan metode dan gambaran cipher tersebut:



Gambar 7 Buku korespondensi

- Tulis huruf dari kata atau frase yang ingin di-encipher pada paranada musik yang kosong (bagian bawah).
- Pada paranada, tulis not musik yang berkorespondensi dengan tiap huruf.
- Untuk melakukan improvisasi, lakukan transpose not ke atas atau ke bawah satu oktaf—dengan kata lain, note dengan nama yang sama (pada contoh, not D ditranspose ke bawah yang berkorespondensi dengan "L" pada "WEALTH").
- Bereksperimen untuk menemukan pada kunci apa melodi terdengar dengan baik/ enak. Contohnya mungkin F bersuara enak seperti Fis, atau B seperti Bes. Di saat seperti ini, ingat karakteristik dari tangga nada yang digunakan.
- Selama perbedaan mendasar antara not yang pendek dan not yang panjang terjaga, ritme dapat diubah-ubah untuk membuat cipher not lebih 'bermusik'.
- Pada contoh di bawah, terdapat cipher not dari kata 'HECATE' dan 'WEALTH'



Gambar 8 Hasil enkripsi translasi

### III. PENGGUNAAN ELEMEN MUSIK DALAM KRIPTOGRAFI

Berikut merupakan rancangan pengimplementasian lain elemen musik pada proses enkripsi dan dekripsi dalam kriptografi. Secara teknik, implementasi elemen musik sebagai mesin cipher relatif sama, yaitu teknik korespondensi satu-satu, di mana tiap huruf umumnya hanya memiliki satu nilai pada cipher teks, dan 'kunci' di sini yaitu table atau paranada yang menunjukkan korespondensi tersebut. Namun, dengan sedikit modifikasi, ternyata ada beberapa elemen musik pembantu yang mampu membuat korespondensi menjadi lebih luas, dan kunci yang dimasukkan oleh pengguna tidak hanya paranada saja, tetapi juga kunci teks seperti kriptografi yang dipakai pada umumnya.

#### III.1 Penerapan I

Penerapan ini merupakan pengembangan sederhana dari contoh pada teori dasar, yaitu translasi kunci. Kunci yang dimasukkan pengguna merupakan string yang akan diranslasikan untuk memilih tangga nada. Jenis tangga nada yang dipakai yaitu tangga nada mayor dan minor, dengan masing-masing memiliki 12 nada dasar (do=C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, B). Dengan total 24 tangga nada ini, kita dapat menghasilkan 24 buku korespondensi untuk melakukan translasi plain teks.

Untuk memilih buku korespondensi yang digunakan, maka string kunci dapat diolah terlebih dahulu hingga menghasilkan nilai antara 0 hingga 23. Sebagai contoh yang sederhana, tiap huruf dalam string diubah menjadi representasi angka dengan kamus alphabet yaitu:

```

/*tiap iterasi*/
case huruf
  A : nilai=1
  B : nilai=2
  ...
  otherwise : nilai=26
endcase

jumlah = jumlah + x

```

Setelah jumlah didapatkan maka selanjutnya dilakukan operasi mod (sisa) antara jumlah dengan 24. Hasilnya akan menentukan buku translasi mana yang dipilih.

Pada buku translasi, setiap elemen dari tangga nada dimasukkan ke dalam suatu struktur seperti *substitution box* (S-Box). Contoh S-Box tersebut seperti gambar berikut:

“do=C mayor” S-Box

1	2	3	4	5	6	7	8	....
C	D	E	F	G	A	B	C'	....

S-Box di sini berupa *array of string*, di mana tiap indeks array menyimpan nada-nada yang sesuai dengan tangga nada terpilih. Setiap huruf pada plain text ditranslasikan menjadi angka, kemudian menjadi nada, yang pada akhirnya, cipher teks berupa nada. Konsepnya sama dengan algoritma pada teori dasar. Contoh kasus:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	B	C	D	E	F	G	A'	B'
10	11	12	13	14	15	16	17	18
C'	D'	E'	F'	G'	A'	Ais'	Cis'	Dis'
19	20	21	22	23	24	25	26	
Fis	Gis	Ais'	Cis'	Dis'	Fis'	Gis'	Ais''	

**Inisialisasi**  
 Plain teks : emerald  
 Kunci : jamrud  
 Urutan S-Box :  
 0 → do=C (mayor)  
 ....  
 19 → do=A (minor)



**Proses**  
 Integer hasil jumlah huruf kunci :  
 $10+1+13+18+21+4 = 67$   
 Sisa dari pembagian dengan 24 :  
 $67 \text{ mod } 24 = 19$   
 S-Box terpilih :  
 do = A (minor)

1	2	3	4	5	6	7	8	....
A	B	C	D	E	F	G	A'	....

**Hasil**  
 Translasi plain teks :  
 e = E  
 m = F'  
 e = E  
 r = G''  
 a = A  
 l = E'  
 d = D

Dengan begitu, oktaf yang terpakai hanya dua (lebih 1 nada), yang cukup wajar, dan seluruh nada menjadi terpakai. Pada kasus yang sama, hasil dari translasinya menjadi seperti ini:

**Hasil**  
 Translasi plain teks :  
 e = E  
 m = F'  
 e = E  
 r = Dis'  
 a = A  
 l = E'  
 d = D

### III.2 Penerapan 2

Mengatasi kelemahan dari penerapan 1 yang menggunakan tidak semua not pada oktaf bawah sehingga menyebabkan jarak oktaf yang besar, maka modifikasi S-Box perlu dilakukan. Terdapat cara yang cukup baik untuk memanfaatkan nada-nada wajar atau oktaf 1 yang tersisa, yaitu dengan membagi dua jumlah alphabet, 16 awal alphabet merupakan nada-nada pada tangga nada yang bersangkutan dan 10 alphabet terakhir merupakan nada-nada yang tersisip di antara nada-nada tersebut. Perbandingan 5:4 diperoleh dari perbandingan antara nada-nada yang dipakai. Jadi, S-Box pada kasus di atas menjadi seperti ini:

### III.3 Penerapan 3

Penerapan berikutnya yaitu menggunakan elemen kunci pada notasi balok. Elemen kunci akan membuat penulisan not balok menjadi berbeda dari sebelumnya. Jika pada contoh kasus, cipher ditulis menggunakan kunci G, maka bila ditranslasikan dan ditulis ke kunci F, hasilnya adalah sebagai berikut:



Lalu, agar pesan di dalam tetap terjaga kerahasiaannya, rahasiakan kunci yang dipakai.



Dengan begitu, proses pemecahan akan semakin rumit, karena enkripsi memiliki dua kunci, yaitu kunci string dan kunci yang 'benar-benar kunci'. Perlu diperhatikan jika perbandingan kunci seperti 'menggeser' posisi nada pada notasi balok. jadi, analogi penggunaan kunci kedua layaknya proses *shifting* pada algoritma kriptografi umum.

Proses dekripsi yang dilakukan yang pertama kali dilakukan yaitu:

- Mengetahui kunci yang digunakan untuk menulis cipher.
- Mentranslasikan not balok ke dalam string nada.
- Memastikan S-Box yang dipakai menggunakan kunci string.
- Mencari indeks yang sesuai dengan string nada.
- Indeks ditranslasikan ke dalam bentuk alfabet.

#### IV. KESIMPULAN

Penerapan elemen musik dalam kriptografi cukup efektif, mengingat perpaduan dari beragamnya elemen-elemen yang terdapat dalam musik, dan banyaknya algoritma atau teknik-teknik yang digunakan dalam kriptografi. Pada intinya ada beberapa yang harus ditaati dalam penggunaan elemen musik, yaitu hukum-hukum atau tata aturan elemen dalam dunia musik. Kendatipun elemen musik terbatas, tidak seluas representasi bit yang dipakai pada algoritma kriptografi modern, namun dengan teknik-teknik kriptografi, eksplorasi dapat dikembangkan hingga menuju tak terbatas.

‘Simbol’ sebenarnya yang digunakan dalam penerapan ini merupakan gabungan dari garis paranada, not balok, tangga nada, dan kunci. Tanpa salah satu dari elemen tersebut, simbol tidak dapat berkorespondensi dengan teks yang akan dienkripsi.

Adapun kendala-kendala yang mungkin dihadapi yaitu translasi dari string menuju notasi balok tidaklah mudah, bahkan sangat rumit, karena adanya elemen seperti paranada yang dibutuhkan untuk menunjukkan nada pada letak-letak tertentu. Dibutuhkan suatu fasilitas khusus, seperti aplikasi translasi not untuk mengubah nada-nada tersebut.

Pengembangan ke depan, kriptografi yang berbasis pada teks musik dua dimensi ini dapat direalisasikan menjadi nada-nada yang dapat didengar, mengingat saat ini sudah banyak terdapat aplikasi pengubah not menjadi bunyi, dan begitu pula sebaliknya.

#### V. ACKNOWLEDGMENT

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada Bapak Rinaldi Munir, selaku dosen pengajar dan pembimbing saya dalam mata kuliah Kriptografi, dan Yunadi Yustinus, teman yang membantu saya dalam mempelajari teori musik.

#### REFERENSI

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Major\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Major_scale)  
waktu akses : 16 Maret 2011
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Minor\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Minor_scale)  
waktu akses : 16 Maret 2011

- [3] [http://en.wikipedia.org/wiki/Musical\\_notation](http://en.wikipedia.org/wiki/Musical_notation)  
waktu akses : 16 Maret 2011
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Musical\\_scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Musical_scale)  
waktu akses : 16 Maret 2011
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Staff\\_%28music%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Staff_%28music%29)  
waktu akses : 22 Maret 2011
- [6] <http://hermanneweta.blog.friendster.com/>  
waktu akses : 22 Maret 2011
- [7] <http://mq.oxfordjournals.org/content/78/3/557.full.pdf+html>  
waktu akses : 21 Maret 2011
- [8] <http://whiemusic.blogspot.com/2010/03/membaca-not-balok.html>  
waktu akses : 22 Maret 2011
- [9] <http://www.oldenwilde.org/oldenwilde/teaching/musci-phr.html>  
waktu akses : 21 Maret 2011

#### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 23 Maret 2011

ttd



Emeraldy Widiyadi  
13508067