Penerapan Teorema Euclidean dan Aritmetika Modulo dalam Konversi Nomor Angklung

Tabitha Permalla - 13521111[1]
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
[1]13521111@std.stei.itb.ac.id

***Abstract*—Angklung adalah salah satu alat musik tradisional Indonesia. Sama seperti alat musik melodis pada umumnya, angklung dapat dimainkan di nada dasar yang berbeda-beda, bergantung pada lagu yang dimainkan. Tiap-tiap angklung menghasilkan suatu nada mutlak tertentu. Namun, umumnya partitur yang digunakan dalam penampilan angklung adalah partitur not angka. Partitur not angka adalah partitur yang menggunakan nada relatif. Oleh karena itu, perlu dilakukan konversi nomor angklung ke nada relatif sesuai dengan tangga nada yang dimainkan. Dengan memanfaatkan teorema Euclidean, aritmetika modulo, dan konsep kriptografi, dapat diketahui nada relatif dari suatu nomor angklung tertentu ketika dimainkan di suatu nada dasar tertentu.**

***Keywords*—Angklung, Aritmetika Modulo, Konversi Nomor Angklung, Nada**

I. Pendahuluan

Angklung adalah alat musik yang terbuat dari bambu dan berasal dari kebudayaan Sunda. Diperkirakan, sekitar abad ke-12 sampai abad ke-16, angklung digunakan oleh masyarakat Sunda untuk melakukan upacara terhadap Nyai Sri Pocahi atau 'Dewi Sri' sebagai Dewi Padi. Upacara ini diyakini dapat membuat tanah padi menjadi subur. [1]

Selain digunakan untuk upacara, angklung juga seringkali digunakan untuk membangkitkan semangat peperangan. Karena alasan ini, pada zaman penjajahan Belanda, angklung sempat dilarang dimainkan di beberapa daerah di Indonesia.

Seiring dengan berjalannya waktu, budaya angklung terus menyebar luas. Angklung bukan hanya dimainkan oleh masyarakat Sunda. Angklung telah menyebar ke berbagai daerah di Indonesia, bahkan juga telah menyebar sampai ke luar negeri.

Hingga, pada 16 November 2010, UNESCO telah menetapkan angklung sebagai *Representatice List of The Intangible Cultural Heritage of Humanity.* Sejak saat itu, Hari Angklung sedunia diperingati setiap tanggal 16 November. Sekarang, angklung telah dimainkan secara luas di berbagai negara dan diakui sebagai budaya asli milik bangsa Indonesia. [2]

Sebagai penerus-penerus bangsa, mahasiswa, dan juga seluruh masyarakat Indonesia, sudah sepatutnya menjaga dan melestarikan budaya Indonesia, termasuk alat musik angklung. Oleh karena itu, penting bagi masyarakat Indonesia untuk memahami seni dari bermain angklung itu sendiri.

Seperti alat musik tradisional Indonesia pada umumnya, angklung awalnya diciptakan untuk dimainkan dalam tangga nada pentatonis (Da Mi Na Ti La). Namun, seiring dengan berjalannya waktu, tangga nada pentatonis menjadi semakin jarang digunakan. Menjawab persoalan ini, pada tahun 1938, Daeng Soetigna menciptakan angklung dengan tangga nada diatonis (Do Re Mi Fa Sol La Si). Angklung diatonis ini juga dikenal dengan sebutan Angklung Padaeng. [1]

Tidak seperti alat musik lainnya yang dapat menghasilkan berbagai nada sekaligus, satu buah angklung hanya dapat menghasilkan satu nada tertentu. Nada yang dihasilkan angklung ini adalah suatu nada mutlak. Namun, dalam permainan angklung, partitur yang biasanya digunakan adalah partitur yang menggunakan nada relatif.

Oleh karena itu, untuk setiap nomor angklung yang akan dimainkan, perlu dilakukan konversi dari nada mutlak angklung tersebut ke nada realtifnya, sesuai dengan nada dasar lagu. Konversi ini berkaitan erat dengan teori bilangan, khususnya aritmetika modulo. Hal ini menjadi salah satu contoh penerapan matematika diskrit dalam teori musik.

Dalam makalah ini, penulis akan membahas cara mengonversi nomor angklung ke nada relatif dengan memanfaatkan teorema euclidean dan aritmetika modulo, serta segelintir konsep kriptografi.

II. Landasan Teori

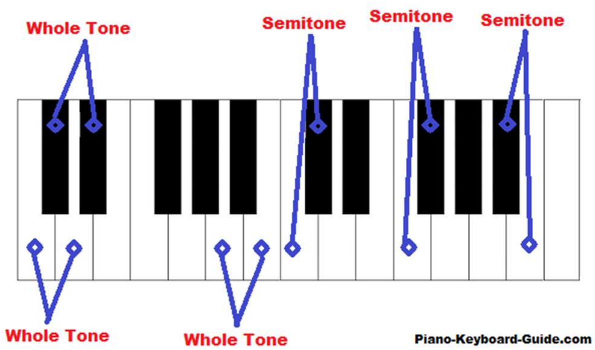
A. Nada

Nada adalah tinggi rendahnya suatu bunyi[3], atau dalam kata lain, frekuensi suatu bunyi. Nada dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu nada relatif dan nada mutlak. Nada relatif adalah nada yang bunyinya bergantung pada nada dasarnya. Nada relatif biasanya dinyatakan dalam angka (1,2,3,4,5,6,7). Sedangkan nada mutlak adalah nada yang frekuensinya mutlak, atau tetap. Sebagai contoh, standar musik dunia menggunakan A4 = 440Hz. Nada mutlak biasanya dinyatakan dalam huruf (C,D,E,F,G,A,B).

B. Interval Nada

Interval nada adalah jarak frekuensi antara satu nada dengan nada lainnya. Jarak ini biasanya dinyatakan dalam *semitone* dan *whole-tone*. Di mana, *semitone* adalah setengah dari *whole tone*. Sebagai contoh, interval antar dua tuts piano yang bersebelahan adalah 1 *semitone*. Satu *semitone* biasanya dinyatakan sebagai

½ *tone*, dan satu *whole-tone* sebagai 1 *tone*.

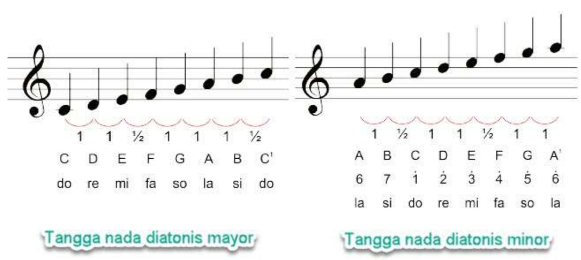


Gambar 2.1 Interval Nada pada Piano
Sumber: https://www.piano-keyboard-guide.com/tones-and-semitones.html

C. *Tangga Nada*

Tangga nada adalah susunan atau deretan nada dengan interval tertentu. Tangga nada dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu tangga nada pentatonis dan tangga nada diatonis. Di dalam makalah ini, penulis akan berfokus pada tangga nada diatonis.

Berdasarkan intervalnya, tangga nada diatonis umumnya terbagi lagi menjadi dua jenis, yaitu tangga nada mayor dan tangga nada minor. Tangga nada mayor terbentuk dari 7 nada dengan interval 1-1-½-1-1-1-½. Sedangkan tangga nada minor terbentuk dari 7 nada dengan interval 1-½-1-1-½-1-1. Pada umumnya, interval antar nada-nada relatif mengikuti tangga nada mayor.



Gambar 2.2 Interval Tangga Nada Diatonis Mayor dan Minor
Sumber: https://www.utakatikotak.com/Ciri-ciri-Lagu-Bertangga-Nada-Diatonis-Minor-dan-Diatonis-Mayor/kongkow/detail/22283

D. *Oktaf*

Menurut KBBI, oktaf adalah selang antara dua bunyi yang rasio frekuensi dasarnya sama dengan dua[4]. Satu oktaf terdiri dari 7 nada yang berurutan. Sehingga jarak antar satu oktaf dengan oktaf lainnya adalah 6 *whole-tones* atau 12 *semitones.* Baik pada nada relatif ataupun nada mutlak, satu oktaf pasti akan terdiri atas 12 *semitones*.

1	$\cancel{1}$	2	$\cancel{2}$	3	4	$\cancel{4}$	5	$\bcancel{5}$	6	$\bcancel{7}$	7
Do	Di	Re	Ri	Mi	Fa	Fi	Sol	Sel	La	Tu	Si

Gambar 2.3 12 Semitones dalam Nada Relatif
Sumber: Draft Materi Mentoring KPA 2022

Pada penulisan nada relatif, oktaf dasarnya biasanya dituliskan dalam notasi angka seperti pada Gambar 2.3. Namun, selain oktaf dasar, seringkali juga ada oktaf di bawah dan di atas oktaf dasar tersebut. Nada yang lebih rendah satu oktaf biasanya dituliskan dengan notasi yang serupa ditambahkan satu titik di bawah setiap angka. Sedangkan nada yang lebih tinggi satu oktaf biasanya dituliskan dengan satu titik di atas setiap angka. Apabila nada lebih rendah dua oktaf, atau lebih tinggi dua oktaf, maka ditambahkan dua titik pada notasi nada tersebut.

Gambar 2.4 Notasi Nada Oktaf Rendah dan Nada Oktaf Tinggi
Sumber: https://www.sahabatkuseni.com/2015/08/cara-membaca-not-angka.html

E. *Nomor dan Jenis Angklung*

Angklung yang umumnya dimainkan di masyarakat saat ini adalah Angklung Padaeng, ciptaan Daeng Soetigna. Angklung Padaeng dikelompokkan menjadi dua, yaitu angklung melodi dan angklung akompanyemen.

Angklung akompanyemen adalah angklung yang umumnya terdiri dari tiga sampai empat tabung suara. Nada-nada tabung-tabung suara ini bersesuaian dengan akor pada tangga nada diatonis.

Sedangkan, angklung melodi adalah angklung yang terdiri dari dua tabung suara dengan beda nada 1 oktaf. Berdasarkan ukuran dan nada yang dimainkan, angklung melodi terbagi menjadi 4. Pembagiannya adalah sebagai berikut:

(i) Angklung Gajah (huruf Cg s.d. Fisg)
(ii) Angklung Bass (huruf G s.d F)
(iii) Angklung Melodi (nomor 0 s.d. 30)
(iv) Angklung Semut (nomor 31 s.d. 35)

Angklung Cg (C Gajah) adalah angklung terbesar dan adalah angklung dengan nada terendah. Sedangkan angklung 35 adalah angklung terkecil dan adalah angklung dengan nada paling tinggi.

Nada mutlak pada suatu angklung bergantung pada ukuran angklung tersebut. Nada pada angklung biasanya ditandai dengan suatu nomor atau huruf. Nomor atau huruf ini merepresentasikan suatu nada mutlak tertentu.

NOMOR DAN JENIS ANGKLUNG

Setiap **nomor angklung berasosiasi dengan nada mutlak** tertentu.

Kunci	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
Gajah	Cg	Cisg	Dg	Disg	Eg	Fg	Fisg					
Huruf (Bas)								G	Gis	A	Ais	B
	C	Cis	D	Dis	E	F						
Angka							0fis	1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	30											
Semut		31	32	33	34	35						

Gambar 2.5 Nomor dan Jenis Angklung
Sumber: Draft Materi Mentoring KPA 2022

Serupa dengan tuts pada piano, interval antara satu nomor angklung dengan nomor selanjutnya adalah satu *semitone*.

F. Nada Dasar dalam Partitur Angklung

Nada dasar sebuah lagu umumnya selalu dituliskan pada partitur lagu tersebut. Pada partitur not angka, nada dasar umumnya dituliskan di sebelah kiri atas dari partitur, di bawah judul lagu. Sedangkan pada partitur not balok, selain dituliskan di sebelah kiri atas partitur, nada dasar biasanya dapat diketahui dari letak tanda kromatis pada bar pertama lagu.

Gambar 2.6 Nada Dasar dalam Partitur
Sumber: https://www.filenya.com/2014/03/not-balokangkalirik-lagu-tanah-airku.html

Umumnya, partitur yang digunakan dalam penampilan angklung adalah partitur not angka. Sehingga nada dasar lagu biasanya dituliskan di bagian kiri atas partitur. Namun, ada sedikit perbedaan dalam penulisan nada dasar pada partitur angklung. Dalam partitur penampilan angklung, nada dasar yang digunakan biasanya dinyatakan dalam notasi sebagai berikut:

Do = *[Nada dasar]* (No. *[nomor angklung]*)

Sebagai contoh, apabila lagu dimainkan di tangga nada C mayor, maka nada dasar akan dituliskan sebagai berikut:

Do = C (No.6)

Gambar 2.7 Nada Dasar dalam Partitur Angklung KPA
Sumber: Arsip Partitur Penampilan KPA

G. Bilangan Bulat

Bilangan bulat adalah bilangan yang nilainya bulat, yang tidak mempunyai komponen pecahan ataupun desimal. Contoh dari bilangan bulat antara lain adalah 1, 5, 39, 2120, -75, -6, 0. Sedangkan contoh bilangan yang bukan bilangan bulat adalah 7.40, 0.05, 50½, √2, dan lain sebagainya. Himpunan bilangan bulat (biasanya dinotasikan sebagai $\mathbb{Z}$) terdiri atas bilangan 0, bilangan bulat positif, dan bilangan bulat negatif.

H. Sifat Pembagian pada Bilangan Bulat dan Teorema Euclidian

Hasil pembagian bilangan bulat tidaklah selalu merupakan bilangan bulat juga. Namun, ada satu cara apabila hasil pembagian bilangan bulat ini mau dinyatakan sebagai bilangan bulat juga. Misal suatu bilangan bulat sembarang dibagi dengan suatu bilangan bulat positif, maka hasilnya adalah hasil bagi dan sisa pembagian. Contohnya:

(i) $14 \div 4 = 3$ sisa 2
(ii) $15 \div 3 = 5$ sisa 0
(iii) $-17 \div 5 = 4$ sisa 3

Hal ini tertuang dalam teorema Euclidean yang berbunyi sebagai berikut:

> Misalkan m dan n bilangan bulat, $n > 0$. Jika m dibagi dengan n maka terdapat bilangan bulat unik q *(quotient)* dan r *(remainder)*, sedemikian sehingga
>
> $$m = nq + r \qquad (1)$$
>
> dengan $0 \le r < n$. [5]

I. Aritmetika Modulo

Operasi modulo pada dasarnya menghasilkan sisa pembagian. Dalam aritmetika modulo, operator yang digunakan adalah mod. Definisi dari operator mod dinyatakan sebagai berikut:

> Misalkan a dan m bilangan bulat, dengan $m > 0$. Operasi a mod m (dibaca "a modulo m") akan memberi sisa jika a dibagi dengan m. Dengan kata lain, a mod $m = r$ sedemikian sehingga $a = mq + r$, dengan $0 \le r < m$. Bilangan m disebut modulus atau modulo, dan hasil aritmetika modulo m terletak di dalam himpunan $\{0, 1, 2, \ldots, m - 1\}$. [5]

Berikut adalah beberapa contoh hasil operasi dengan operator modulo:

(i) 17 mod 7 = 3
(ii) 15 mod 3 = 0
(iii) 0 mod 8 = 0
(iv) – 23 mod 6 = 1
(v) – 44 mod 11 = 0

Untuk a yang bernilai negatif, a mod $m = m$ - $|a|$ mod m, dengan syarat $|a|$ mod $m \neq 0$. Sehingga untuk butir (iv), –23 mod 6 = 6 – | –23 | mod 6 = 6 – 5 = 1.

J. Kekongruenan

Seringkali, kita dapat menemukan lebih dari satu bilangan yang mempunyai sisa yang sama jika dibagi dengan bilangan bulat positif yang sama. Misal bilangan bulat a dan b memiliki sisa yang sama jika dibagi dengan bilangan bulat positif m. Maka, dikatakan bahwa a dan b kongruen dalam modulo m, jika dan hanya jika $m \mid (a - b)$. Kekongruenan ini dilambangkan sebagai berikut:

$$a \equiv b \pmod{m} \qquad (2)$$

Sedangkan, jika a tidak kongruen dengan b, maka dituliskan:

$$a \not\equiv b \pmod{m} \qquad (3)\ [5]$$

Misalnya 17 mod 5 = 2, 42 mod 5 = 2, dan 58 mod 5 = 3, maka $17 \equiv 42 \pmod 5$ tetapi $17 \not\equiv 58 \pmod 5$.

Kekongruenan $a \equiv b \pmod{m}$ juga dapat dituliskan dalam hubungan sebagai berikut:

$$a = b + km,\ k \in \mathbb{Z} \qquad (4)$$

Sesuai dengan definisi aritmetika modulo, kita juga dapat menuliskan a mod $m = r$ sebagai berikut:

$$a \equiv r \pmod{m} \qquad (5)$$

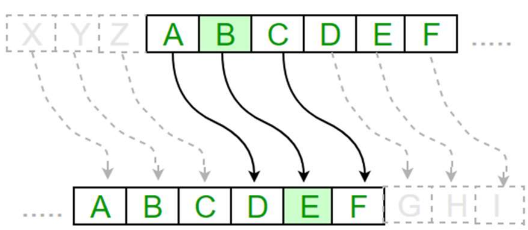
Sifat-sifat lain kekongruenan, khususnya dalam operasi perkalian dan penjumlahan modulo, adalah sebagai berikut:

1. Jika $a \equiv b \pmod{m}$ dan c adalah sembarang bilangan bulat, maka
   a. $(a + c) \equiv (b + c) \pmod{m}$ (6)
   b. $ac \equiv bc \pmod{m}$ (7)
   c. $a^P \equiv b^P \pmod{m}$, untuk P bilangan bulat tidak negatif (8)
2. Jika $a \equiv b \pmod{m}$ dan $c \equiv d \pmod{m}$, maka
   a. $(a + c) \equiv (b + d) \pmod{m}$ (9)
   b. $ac \equiv bd \pmod{m}$ (10)

K. *Kriptografi dan Caesar Cipher*

Kriptografi adalah ilmu sekaligus seni untuk menjaga kerahasiaan pesan atau data dengan menggunakan algoritma matematika tertentu. Dalam kriptografi, proses menyandikan suatu pesan disebut enkripsi. Hasil dari enkripsi ini disebut cipherteks. Sedangkan proses mengembalikan cipherteks ke pesan aslinya disebut sebagai dekripsi.

Salah satu algoritma enkripsi sederhana yang cukup terkenal adalah *Caesar Cipher*. *Caesar Cipher* adalah algoritma enkripsi sederhana yang digunakan pada masa Julius Caesar. Algoritma enkripsi yang digunakan adalah menggeser tiap huruf alfabet sejauh 3 huruf ke kanan secara *wrapping*. [6]



Gambar 2.6 Enkripsi Caesar Cipher
Sumber: https://www.geeksforgeeks.org/caesar-cipher-in-cryptography/

Misal, tiap huruf alfabet dikodekan dengan angka. Dimulai dari A = 0, B = 1, sampai Z = 25. Misal p adalah huruf di dalam pesan, dan c adalah huruf di dalam cipherteks. Maka enkripsi *Caesar Cipher* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$c = E(p) = (p + 3) \bmod 26 \qquad (11)$$

Sedangkan dekripsi *Caesar Cipher* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p = D(c) = (c - 3) \bmod 26 \qquad (12)$$

Jika kita membuat sistem enkripsi yang serupa, tetapi dengan pergesaran sejauh k ke kanan, maka enkripsi dan dekripsinya adalah sebagai berikut:

$$c = E(p) = (p + k) \bmod 26 \qquad (13)$$

$$p = D(c) = (p - k) \bmod 26 \qquad (14)\ [6]$$

III. Penerapan Teorema Euclidean dan Aritmetika Modulo dalam Konversi Nomor Angklung

A. *Representasi Nada dalam Bilangan Bulat*

Dalam penerapan Teorema Euclidean dalam konversi nomor angklung, dapat dikatakan bahwa hasil bagi adalah representasi oktaf, sedangkan sisa pembagian adalah representasi nada relatif.

Oktaf suatu nada dapat dinyatakan dalam bilangan bulat q, dengan $-2 \le q \le 2$. Sebab lagu-lagu pada umumya hanya dimainkan dalam rentang oktaf rendah rendah sampai ke oktaf tinggi-tinggi. Representasi oktaf dalam bilangan bulat dapat dinyatakan sebagai berikut:

Tabel I: Representasi Oktaf dalam Bilangan Bulat

Oktaf	Bilangan Bulat
Rendah rendah	-2
Rendah	-1
Sedang (dasar)	0
Tinggi	1
Tinggi tinggi	2

Sedangkan nada relatif dapat dinyatakan dalam bilangan bulat r, dengan $0 \le r < 12$. Sebab, dalam satu oktaf, terdapat 12 *semitones*. Representasi nada relatif dalam bilangan bulat dapat dinyatakan sebagai berikut:

Tabel II: Representasi Nada Relatif dalam Bilangan Bulat

Nada Relatif	Notasi	Bilangan Bulat
Do	1	0
Di	$\cancel{1}$	1
Re	2	2
Ri	$\cancel{2}$	3
Mi	3	4
Fa	4	5
Fi	$\cancel{4}$	6
Sol	5	7
Sel	$\cancel{5}$	8
La	6	9
Tu	$\cancel{7}$	10
Si	7	11

B. *Representasi Angklung Huruf dalam Bilangan Bulat*

Tidak semua nada angklung telah diberikan representasi menggunakan nada. Ada beberapa angklung yang menggunakan huruf. Oleh karena itu, untuk mempermudah perhitungan, kita dapat memberikan representasi bilangan bulat untuk tiap-tiap angklung Gajah dan angklung Bas. Karena angklung dengan nada Fis dinyatakan sebagai angklung 0, maka angklung Bas dan angklung Gajah akan direpresentasikan dengan bilangan bulat negatif. Representasi angklung Gajah dan angklung Bas dapat dinyatakan sebagai berikut:

Tabel III: Representasi Angklung Gajah dan Angklung Bas dalam Bilangan Bulat

Angklung	Bilangan Bulat
F	-1
E	-2
Dis	-3
D	-4
Cis	-5
C	-6
B	-7
Ais	-8
A	-9
Gis	-10
G	-11
Fisg	-12
Fg	-13
Eg	-14
Disg	-15
Dg	-16
Cisg	-17
Cg	-18

C. Perumusan Perhitungan Konversi Nomor Angklung

Menciptakan rumus untuk konversi nomor angklung hampir serupa dengan merumuskan suatu enkripsi yang serupa dengan *Caesar Cipher*. Oleh karena itu, ada beberapa konstanta dan variabel yang perlu diperhatikan. Diantaranya adalah konstanta pembagi dan variabel *offset*.

Pembagi yang digunakan adalah bilangan bulat yang memberikan suatu pola tertentu. Dalam hal ini, seperti yang telah dibahas dalam bagian-bagian sebelumnya, satu oktaf terdiri dari 12 *semitone*. Oleh karena itu, dalam konversi nomor angklung, angka 12 akan menjadi pembagi yang digunakan.

Sedangkan *offset* yang digunakan bergantung pada nada dasar yang dimainkan. Nomor angklung yang menjadi nada dasar inilah yang menjadi *offset* yang digunakan.

Misal n adalah sembarang nomor angklung dan k adalah nomor angklung yang menjadi nada dasar. Maka nada relatif yang dimainkan angklung tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Nada Relatif} = (n - k) \bmod 12 \qquad (15)$$

Kemudian, hasil dari 'enkripsi' di atas yang berupa bilangan bulat dapat dikonversi menjadi nada relatif, seperti yang tertulis dalam Tabel II.

Sebagai contoh, misal lagu dimainkan di nada dasar Do = C (No.6). Misal kita ingin mengetahui nada relatif yang dimainkan oleh angklung nomor 10. Maka

$$\text{Nada Relatif} = (10 - 6) \bmod 12 = 4 \rightarrow \text{Mi}$$

Dari persamaan (15) di atas, dapat diketahui nada relatif dari nomor angklung tertentu. Namun, kita juga perlu mengetahui oktaf dari nomor angklung itu. Sesungguhnya, oktaf dari suatu nomor angklung adalah hasil bagi dari (nomor angklung – nomor angklung nada dasar) dibagi dengan 12.

Misal n adalah sembarang nomor angklung dan k adalah nomor angklung yang menjadi nada dasar. Dengan memanfaatkan teorema Euclidean, oktaf dan nada relatif dari nomor angklung itu sendiri sesungguhnya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$n - k = \text{Oktaf} \times 12 + \text{Nada Relatif} \qquad (16)$$

Sebagai contoh, untuk nada dasar Do = C (No.6) dan angklung nomor 10. Maka

$$10 - 6 = \text{Oktaf} \times 12 + \text{Nada Relatif}$$
$$4 = 0 \times 12 + 4$$

Artinya, angklung nomor 10 memainkan Mi biasa (dinotasikan 3).

Contoh lainnya, untuk nada dasar yang sama, tetapi untuk angklung nomor 1 dan angklung nomor 32.

1. Angklung no. 1
   $1 - 6 = \text{Oktaf} \times 12 + \text{Nada Relatif}$
   $-5 = -1 \times 12 + 7$
   Maka, angklung nomor 1 memainkan Sol rendah (dinotasikan $\underset{\cdot}{5}$)
2. Angklung no. 32
   $32 - 6 = \text{Oktaf} \times 12 + \text{Nada Relatif}$
   $26 = 2 \times 12 + 2$
   Maka, angklung nomor 32 memainkan Re tinggi tinggi (dinotasikan $\ddot{2}$)

D. Penerapan Rumus Konversi Nomor Angklung dalam Tabel Konversi

Dengan menggunakan persamaan 15 dan 16, kita dapat melakukan konversi nomor angklung ke nada relatif untuk tiap-tiap nomor angklung untuk tiap-tiap nada dasar. Hasil konversi ini dapat dituliskan dalam tabel untuk mempermudah pencatatan.

Misal untuk nada dasar Do = C (No.6), maka tabel konversi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

Tabel IV: Tabel Konversi Nomor Angklung untuk Nada Dasar Do = C (No.6)

Nomor Angklung	Cg	Cisg	Dg	Disg	Eg	Fg
Nada Relatif	$\underset{\cdot\cdot}{1}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{1}}$	$\underset{\cdot\cdot}{2}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{2}}$	$\underset{\cdot\cdot}{3}$	$\underset{\cdot\cdot}{4}$
Nomor Angklung	Fisg	G	Gis	A	Ais	B
Nada Relatif	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{4}}$	$\underset{\cdot\cdot}{5}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{5}}$	$\underset{\cdot\cdot}{6}$	$\underset{\cdot\cdot}{\bcancel{7}}$	$\underset{\cdot\cdot}{7}$
Nomor Angklung	C	Cis	D	Dis	E	F
Nada Relatif	$\underset{\cdot}{1}$	$\underset{\cdot}{\cancel{1}}$	$\underset{\cdot}{2}$	$\underset{\cdot}{\cancel{2}}$	$\underset{\cdot}{3}$	$\underset{\cdot}{4}$
Nomor Angklung	0Fis	1	2	3	4	5
Nada Relatif	$\underset{\cdot}{\cancel{4}}$	$\underset{\cdot}{5}$	$\underset{\cdot}{\cancel{5}}$	$\underset{\cdot}{6}$	$\underset{\cdot}{\bcancel{7}}$	$\underset{\cdot}{7}$
Nomor Angklung	6	7	8	9	10	11
Nada Relatif	1	$\cancel{1}$	2	$\cancel{2}$	3	4
Nomor Angklung	12	13	14	15	16	17
Nada Relatif	$\cancel{4}$	5	$\cancel{5}$	6	$\bcancel{7}$	7
Nomor Angklung	18	19	20	21	22	23
Nada Relatif	$\dot{1}$	$\dot{\cancel{1}}$	$\dot{2}$	$\dot{\cancel{2}}$	$\dot{3}$	$\dot{4}$
Nomor Angklung	24	25	26	27	28	29
Nada Relatif	$\dot{\cancel{4}}$	$\dot{5}$	$\dot{\cancel{5}}$	$\dot{6}$	$\dot{\bcancel{7}}$	$\dot{7}$
Nomor Angklung	30	31	32	33	34	35
Nada Relatif	$\ddot{1}$	$\ddot{\cancel{1}}$	$\ddot{2}$	$\ddot{\cancel{2}}$	$\ddot{3}$	$\ddot{4}$

Tabel Konversi ini dapat dibuat bukan hanya untuk nada dasar Do = C (No.6), tetapi juga untuk berbagai nada dasar lainnya, sesuai dengan lagu yang dimainkan.

Contoh lain adalah untuk nada dasar Do = E (No.10). Maka tabel konversi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

Tabel IV: Tabel Konversi Nomor Angklung untuk Nada Dasar Do = E (No.10)

Nomor Angklung	Cg	Cisg	Dg	Disg	Eg	Fg
Nada Relatif					$\underset{\cdot\cdot}{1}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{1}}$
Nomor Angklung	Fisg	G	Gis	A	Ais	B
Nada Relatif	$\underset{\cdot\cdot}{2}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{2}}$	$\underset{\cdot\cdot}{3}$	$\underset{\cdot\cdot}{4}$	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{4}}$	$\underset{\cdot\cdot}{5}$
Nomor Angklung	C	Cis	D	Dis	E	F
Nada Relatif	$\underset{\cdot\cdot}{\cancel{5}}$	$\underset{\cdot\cdot}{6}$	$\underset{\cdot\cdot}{\bcancel{7}}$	$\underset{\cdot\cdot}{7}$	$\underset{\cdot}{1}$	$\underset{\cdot}{\cancel{1}}$
Nomor Angklung	0Fis	1	2	3	4	5
Nada Relatif	$\underset{\cdot}{2}$	$\underset{\cdot}{\cancel{2}}$	$\underset{\cdot}{3}$	$\underset{\cdot}{4}$	$\underset{\cdot}{\cancel{4}}$	$\underset{\cdot}{5}$
Nomor Angklung	6	7	8	9	10	11
Nada Relatif	$\underset{\cdot}{\cancel{5}}$	$\underset{\cdot}{6}$	$\underset{\cdot}{\bcancel{7}}$	$\underset{\cdot}{7}$	1	$\cancel{1}$
Nomor Angklung	12	13	14	15	16	17
Nada Relatif	2	$\cancel{2}$	3	4	$\cancel{4}$	5
Nomor Angklung	18	19	20	21	22	23
Nada Relatif	$\cancel{5}$	6	$\bcancel{7}$	7	$\dot{1}$	$\dot{\cancel{1}}$
Nomor Angklung	24	25	26	27	28	29
Nada Relatif	$\dot{2}$	$\dot{\cancel{2}}$	$\dot{3}$	$\dot{4}$	$\dot{\cancel{4}}$	$\dot{5}$
Nomor Angklung	30	31	32	33	34	35
Nada Relatif	$\dot{\cancel{5}}$	$\dot{6}$	$\dot{\bcancel{7}}$	$\dot{7}$	$\ddot{1}$	$\ddot{\cancel{1}}$

E. Penerapan Rumus Konversi Nomor Angklung dalam Penampilan

Dalam praktiknya, tiap-tiap orang tidak perlu melakukan konversi untuk semua nomor angklung. Tiap-tiap penampil hanya perlu melakukan konversi terhadap nomor angklung yang mereka pegang. Umumnya dalam satu kali penampilan, satu orang penampil dapat memegang dua sampai dengan enam angklung, bergantung pada jumlah penampil, jumlah lagu yang dimainkan, dan kompleksitas lagu itu sendiri.

Sebagai contoh, dalam penampilan untuk Wisuda, penampil diminta untuk memainkan tiga lagu. Secara keseluruhan, penampil memegang lima buah angklung: angklung Dis, angklung no.5, angklung no.10, angklung no.14, dan angklung no.15.

Dalam lagu pertama, penampil memainkan angklung no.10, no.14, dan no.15 dengan nada dasar lagu Do = C (No.6). Maka penampil akan memainkan nada-nada relatif sebagai berikut:

1. Angklung no.10 :
   10 – 6 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
   4 = 0 × 12 + 4
   Mi biasa (dinotasikan 3)
2. Angklung no.14:
   14 – 6 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
   8 = 0 × 12 + 8
   Sel biasa (dinotasikan $\cancel{5}$)
3. Angklung no.15:
   15 – 6 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
   9 = 0 × 12 + 9
   La biasa (dinotasikan 6)

Dalam lagu kedua, penampil memainkan angklung Dis dan no.15 dengan nada dasar lagu Do = G (No.1). Maka penampil akan memainkan nada-nada relatif sebagai berikut:

1. Angklung Dis :
   –3 – 1 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
   –4 = –1 × 12 + 8
   Sel rendah (dinotasikan $\underset{\cdot}{\cancel{5}}$)
2. Angklung no.15:
   15 – 1 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
   14 = 1 × 12 + 2
   Re tinggi (dinotasikan $\dot{2}$)

Sedangkan dalam lagu ketiga, penampil memainkan angklung no.5, no.14, dan no.15. Namun, berbeda dengan dua lagu pertama, lagu ketiga mengalami beberapa kali perubahan nada dasar. Sehingga dalam lagu yang ketiga, ada 4 nada dasar berbeda dalam lagu, yaitu Do = F# (no.0), Do = D (no.8), Do = Eb (no.9), dan Do = E (no.10). Maka penampil akan memainkan nada-nada relatif sebagai berikut:

1. Angklung no.5 :
   a. Nada dasar Do = F# (no.0)
      5 – 0 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
      5 = 0 × 12 + 5 → Fa biasa (dinotasikan 4)
   b. Nada dasar Do = D (no.8)
      5 – 8 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
      –3 = –1 × 12 + 9 → La rendah (dinotasikan $\underset{\cdot}{6}$)
   c. Nada dasar Do = Eb (no.9)
      5 – 9 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
      –4 = –1 × 12 + 8 → Sel rendah (dinotasikan $\underset{\cdot}{\cancel{5}}$)
   6 Nada dasar Do = E (no.10)
      5 – 10 = Oktaf × 12 + Nada Relatif
      –5 = –1 × 12 + 7 → Sol rendah (dinotasikan $\underset{\cdot}{5}$)

Apabila operasi di atas diterapkan untuk angklung no.14 dan angklung no.15, maka hasilnya dapat digambarkan dalam tabel berikut:

Tabel V: Representasi Nada Relatif dalam Bilangan Bulat

Nomor Angklung	Do = F# (no.0)	Do = D (no.8)	Do = Eb (no.9)	Do = E (no.10)
5	4	$\underset{\cdot}{6}$	$\underset{\cdot}{\cancel{5}}$	$\underset{\cdot}{5}$
14	2	$\cancel{4}$	4	3
15	$\cancel{2}$	$\dot{5}$	$\cancel{4}$	4

IV. KESIMPULAN

Matematika adalah ilmu yang dapat diterapkan dalam berbagai bidang di dunia ini, termasuk dalam seni musik. Salah satu proses dalam bidang musik yang memanfaatkan konsep matematika adalah konversi nada mutlak ke nada relatif. Hal ini dapat diterapkan di dalam konversi nomor angklung ke nada relatif. Konsep-konsep yang digunakan dalam konversi nomor angklung di antara lain adalah teorema Euclidean, aritmetika modulo, dan konsep kriptografi.

Penulis berharap melalui makalah ini, masyarakat dapat semakin banyak memanfaatkan berbagai konsep matematika dalam berbagai bidang. Di sisi lain, penulis juga berharap, melalui makalah ini, pembaca terdorong untuk mempelajari dan melestarikan budaya Indonesia lebih lagi.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sebab hanya oleh kasih dan pertolongan-Nya makalah ini dapat selesai dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Fariska Zakhralativa Ruskanda, S.T.,M.T. selaku dosen

pengampu matakuliah IF2120 Matematika Diskrit kelas K2. Penulis juga berterimakasih kepada segala pihak yang telah menginspirasi berbagai aspek dalam penulisan makalah ini.

REFERENSI

[1] Cahyadi, Nurdin, "Angklung". https://disdik.purwakartakab.go.id/berita/detail/angklung?/berita/detail/angklung#:~:text=Dua%20tokoh%20yang%20berperan%20dalam,angklung%20dengan%20tangga%20nada%20diatonis. (diakses 9 November 2022).

[2] Tim Editor Kumparan. "Sejarah Hari Angklung Sedunia 16 November yang Jadi Google Doodle Hari Ini". https://kumparan.com/berita-hari-ini/sejarah-hari-angklung-sedunia-16-november-yang-jadi-google-doodle-hari-ini-1zG2cg4TlzI/full (diakses 9 November 2022).

[3] KBBI Daring. https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/nada (diakses 9 November 2022).

[4] KBBI Daring. https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/oktaf (diakses 9 November 2022).

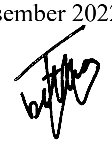
[5] Munir, Rinaldi. "Teori Bilangan (Bagian 1). https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Teori-Bilangan-2020-Bagian1.pdf (diakses 9 November 2022).

[6] Munir, Rinaldi. "Teori Bilangan (Bagian 3). https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Teori-Bilangan-2020-Bagian3.pdf (diakses 9 November 2022).

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, 10 Desember 2022



Tabitha Permalla
13521111