

Analisis Twelve-tone Technique Melalui Penerapan Graf

Sarah Azka Arief - 13520083¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13520083@std.stei.itb.ac.id

Abstract—*Twelve-tone technique* merupakan teknik yang memastikan semua nada dari suatu tangga nada kromatis memiliki jumlah kemunculan yang merata dalam suatu *tone row*. Melalui teknik tersebut, suatu karya musik dapat terbebaskan dari aturan standar kunci dan nada sehingga tercipta ruang untuk berekspresi. Terdapat banyak kemungkinan pola yang dapat digunakan untuk menghasilkan suatu *tone row* dengan menggunakan *twelve-tone technique*. Untuk membantu proses penelusuran pola, digunakan graf untuk memetakan hubungan antarnada pada suatu *twelve-tone row*.

Keywords—Twelve-tone, Musik, Graf

I. PENDAHULUAN

Musik hadir sebagai wadah ekspresi diri. Melalui musik, manusia dapat merangkai suatu kisah dalam bentuk kumpulan nada dan melodi. Karena nada dan melodi tidak terdiri atas kalimat yang dapat dipahami, suatu karya musik harus bisa dirasakan oleh pendengar agar kisah dibaliknya dapat tersampaikan. Hal ini dapat dilakukan dengan membangun suasana yang memungkinkan pendengar untuk merasakan emosi serta atmosfer yang dicurahkan oleh sang komposer. Pembangunan suasana ini dapat dilakukan menggunakan suatu pusat nada.

Pusat nada terbentuk atas melodi dan juga harmoni. Ibarat bab dalam suatu buku, pusat nada berfungsi sebagai penentu yang mendefinisikan suasana dari kisah yang sedang diceritakan. Oleh karena itu, umumnya suatu karya musik akan berputar di sekitar suatu pusat nada atau nada dasar agar lantunan yang tercipta terkesan padu dan koheren. Namun, terdapat jenis musik yang memilih untuk mengabaikan standar kunci, nada, dan pola tonal tersebut, contohnya musik yang berlandaskan metode *twelve-tone technique*.

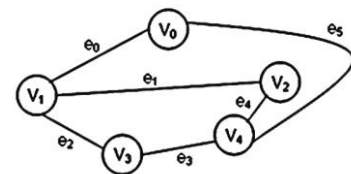
Twelve-tone technique merupakan sebuah metode yang memberikan basis baru kepada struktur musik. Metode ini menghiraukan prinsip tonalitas yang menggunakan pusat nada atau satu hingga dua nada sebagai fokus utama dari sebuah komposisi. Sebagai gantinya, metode ini memastikan bahwa seluruh nada pada tangga nada kromatis memiliki jumlah kemunculan yang merata sehingga tidak ada nada yang dominan. Hal ini diterapkan dengan tujuan menghadirkan kemungkinan baru bagi komposer untuk menemukan nada-nada inkonvensional yang sebelumnya tidak terpikirkan sehingga memperluas batasan ruang untuk ekspresi diri.

Pada makalah ini, analisis terhadap *twelve-tone technique* akan dilakukan dengan menerapkan graf yang dipelajari pada mata kuliah Matematika Diskrit IF2120. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menelusuri eksistensi serta keunikan dari *twelve-tone technique* sekaligus meninjau manfaatnya dari segi ruang kombinatorial.

II. LANDASAN TEORI

A. Graf

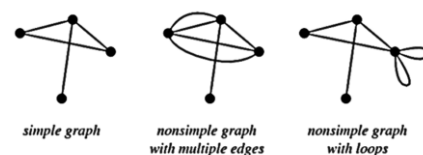
Graf merupakan himpunan dari objek yang diindikasikan dengan suatu titik atau simpul dan dihubungkan oleh garis atau sisi. Suatu graf G yang terdiri atas himpunan tidak-kosong dari titik atau simpul (V) dan himpunan garis atau sisi yang menghubungkan sepasang titik atau simpul (E) dapat dinotasikan sebagai $G = (V, E)$ dengan $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ dan $E = \{e_0, e_1, \dots, e_n\}$. Graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong (N_n) dapat disebut graf kosong atau *null graph*.



Gambar 1. Graf

<https://sites.google.com/site/learnwithdatastructures/>

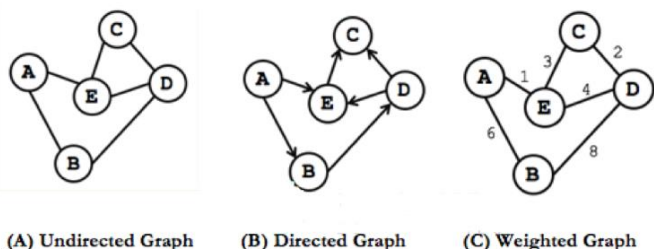
Graf dapat digolongkan menjadi berbagai jenis. Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf, graf dapat dibagi menjadi dua jenis yakni graf sederhana dan graf tak-sederhana. Graf yang tidak mengandung gelang (*loop*) maupun sisi ganda merupakan graf sederhana, sementara graf yang sebaliknya adalah graf tak-sederhana. Graf tak-sederhana dapat dibedakan lagi menjadi graf yang mengandung sisi ganda alias graf ganda dan graf yang mengandung gelang alias graf semu.



Gambar 2. Graf sederhana, graf ganda dan graf semu

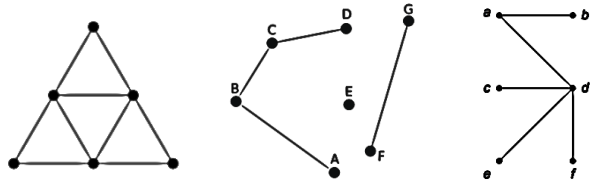
<https://mathworld.wolfram.com/>

Berdasarkan orientasi arah yang terdapat pada sisi, suatu graf dapat dibagi menjadi dua jenis yakni graf tak-berarah dan graf berarah. Graf tak-berarah merupakan graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah, sementara graf berarah merupakan sebaliknya. Selain orientasi arah, graf juga dapat digolongkan sebagai graf berbobot apabila terdapat nilai pada sisinya.



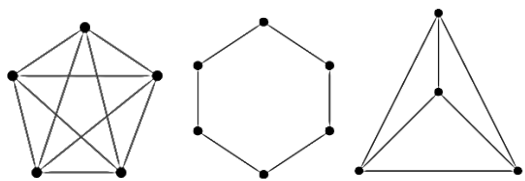
Gambar 3. Graf tak-berarah, graf berarah, dan <https://dzone.com/articles/an-overview-to-working-of-graphs-in-data-structure>

Berdasarkan keterhubungannya, suatu graf dapat dibagi menjadi dua yakni graf terhubung dan graf tidak terhubung. Perbedaan antara graf terhubung dan tidak terhubung adalah graf terhubung memiliki lintasan dari satu simpul ke simpul lainnya untuk setiap simpul yang terdapat pada graf tersebut, sementara graf tak-terhubung sebaliknya. Selain itu, suatu graf tak-berarah yang terhubung dan tidak mengandung sirkuit dan sisi ganda dapat dikatakan sebagai graf pohon.



Gambar 4. Graf tak-terhubung, graf terhubung, dan graf pohon <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

Adapula beberapa graf khusus seperti graf lengkap, graf lingkaran, dan juga graf teratur. Graf lengkap adalah graf yang setiap simpulnya bertetangga dengan simpul lainnya, alias setiap simpulnya memiliki sisi ke semua simpul lainnya. Graf lingkaran adalah graf sederhana yang simpulnya berderajat dua. Terakhir, graf teratur adalah graf yang setiap simpul berderajat sama.



Gambar 5. Graf lengkap, graf lingkaran, graf teratur <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

Dalam teori graf, terdapat beberapa terminologi yang kerap digunakan. Berikut istilah yang sering dijumpai dalam teori graf beserta penjelasan ringkasnya:

- Ketetangaan**
Untuk dua buah simpul v_1 dan v_2 , apabila v_1 dan v_2 terhubung langsung maka keduanya dinyatakan bertetangaan (memiliki ketetangaan).
- Bersisian**
Untuk suatu sembarang sisi $e = (v_j, v_k)$, e dinyatakan bersisian dengan simpul v_j dan v_k . Untuk suatu sembarang simpul v .
- Derajat**
Untuk suatu sembarang simpul v , jumlah sisi yang bersisian dengan v dapat disebut sebagai derajat dengan notasi: $d(v)$.
- Graf kosong**
Graf yang himpunan sisinya adalah himpunan kosong (N_n).
- Simpul terpercil**
Untuk suatu sembarang simpul v , apabila v berderajat nol maka v dinyatakan sebagai simpul terpercil.
- Lintasan**
Barisan simpul dan sisi yang berselang-seling dan membentuk $v_0, e_1, v_1, \dots, e_n, v_n$ dengan n adalah panjang lintasan (jumlah sisi yang dilalui lintasan), v_0 adalah simpul awal, dan v_n adalah simpul akhir sehingga $e_1 = (v_0, v_1)$, $e_2 = (v_1, v_2)$, \dots , $e_n = (v_{n-1}, v_n)$ merupakan sisi dari graf G .
- Siklus atau sirkuit**
Lintasan yang memiliki simpul awal dan akhir yang sama dengan panjang siklus/sirkuit berupa jumlah sisi dalam siklus/sirkuit tersebut.
- Keterhubungan**
Untuk simpul v_1 dan v_2 , keduanya dapat dinyatakan terhubung apabila terdapat lintasan dari v_1 ke v_2 .
- Upagraf**
Untuk suatu graf $G = (V, E)$, $G_1 = (V_1, E_1)$ merupakan upagraf dari G apabila $V_1 \subseteq V$ dan $E_1 \subseteq E$.
- Komplemen upagraf**
Untuk suatu graf $G = (V, E)$ dengan upagraf $G_1 = (V_1, E_1)$, $G_2 = (V_2, E_2)$ merupakan komplemen upagraf dari G_1 apabila $E_2 = E - E_1$ dan V_2 adalah himpunan simpul yang bersisian dengan anggota-anggota E_2 .
- Komponen graf**
Jumlah maksimum upagraf terhubung dalam graf G .
- Upagraf merentang**
Untuk suatu graf $G = (V, E)$ dengan upagraf $G_1 = (V_1, E_1)$, G_1 adalah upagraf merentang apabila $V_1 = V$ alias G_1 mengandung semua simpul dari G .
- Cut-Set**
Untuk suatu graf G , Cut-Set adalah himpunan sisi yang apabila dibuang dari G akan membuat G menjadi tidak terhubung.

Graf dapat direpresentasikan dalam beragam bentuk. Selain dalam bentuk gambar berisi simpul dan sisi, berikut beberapa contoh representasi lain yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan graf:

1. Adjacency Matrix

Representasi graf dalam bentuk matriks persegi dengan baris dan kolom yang terdiri atas simpul dengan nilai pada posisi masing-masing berupa 1 atau 0 berdasarkan apakah suatu pasang simpul bertetangga atau tidak.

$$A = [a_{ij}]$$

$A_{ij} = 1$ jika simpul i dan j bertetangga, 0 jika simpul i dan j tidak bertetangga

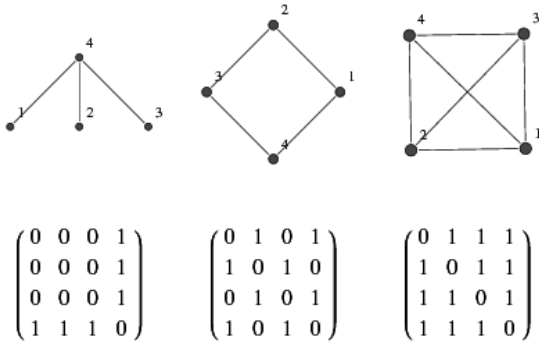
Derajat tiap simpul i untuk graf tak berarah adalah

$$d(v_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

sementara untuk graf berarah

$$\text{din}(v_j) = \text{jumlah nilai pada kolom } j$$

$$\text{dout}(v_i) = \text{jumlah nilai pada baris } i$$



Gambar 6. Adjacency Matrix

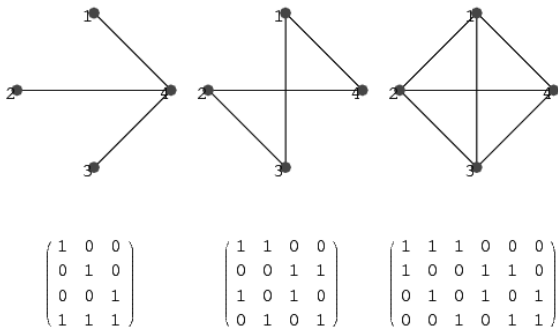
<https://mathworld.wolfram.com/AdjacencyMatrix.html>

2. Incidence Matrix

Representasi graf dalam bentuk matriks persegi dengan baris terdiri atas simpul dan kolom terdiri atas sisi dengan nilai pada posisi masing-masing berupa 1 atau 0 berdasarkan apakah suatu sisi dan simpul bersisian atau tidak.

$$A = [a_{ij}]$$

$A_{ij} = 1$ jika simpul i dan sisi j bersisian, 0 jika simpul i dan sisi j tidak bersisian

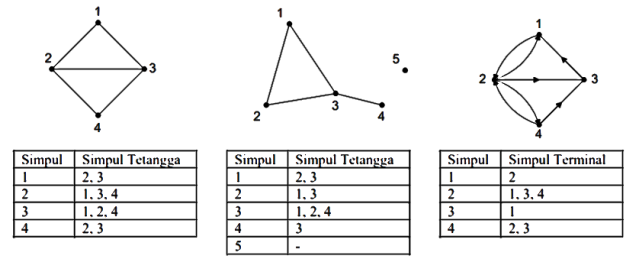


Gambar 7. Incidency Matrix

<https://mathworld.wolfram.com/IncidenceMatrix.html>

3. Adjacency List

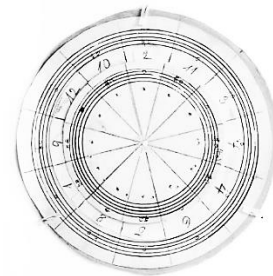
Representasi graf dalam bentuk n buah list dimana setiap list untuk setiap simpul v_i dengan $1 \leq i \leq n$, dan berisi simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul v_i .



Gambar 8. Adjacency List

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian2.pdf>

B. Twelve-tone Technique



Gambar 9. 12 Tone Wheel Chart karya Arnold Schoenberg

<https://www.openculture.com/2017/06/arnold-schoenberg-creates-a-hand-drawn-paper-cut-wheel-chart-to-visualize-his-12-tone-technique.html/>

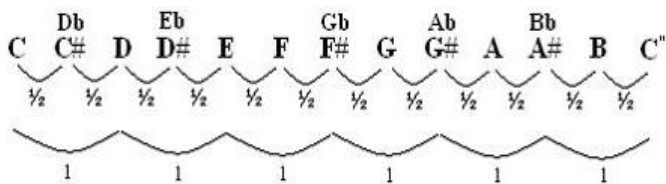
Twelve-tone technique diciptakan oleh Arnold Schoenberg sebagai metode yang menghindari penekanan terhadap satu atau lebih nada tertentu. Hilangnya kehadiran pusat nada membuat musik yang dihasilkan oleh metode ini bersifat atonal alias tidak memiliki kunci utama dan tidak mengikuti modes seperti Ionian atau Phrygian sehingga komposisinya terkesan disonan dan tidak koheren. Untuk mencapai atonalitas tersebut, metode ini akan memastikan bahwa keseluruhan nada dari suatu tangga nada kromatis memiliki jumlah kemunculan yang merata. Dalam penerapannya, apabila seluruh nada pada tangga nada kromatis telah muncul, akan terbentuk suatu *twelve-tone row* yang merupakan rangkaian nada yang terdiri atas 12 nada yang terurut sesuai aturan *twelve-tone technique*.

Aturan pada *twelve-tone technique* yang memastikan semua 12 nada pada tangga nada kromatis memiliki frekuensi kemunculan yang sama adalah sebagai berikut:

1. Semua 12 nada pada tangga nada kromatis harus muncul.
2. Sebuah nada dalam suatu *twelve-tone row* baru boleh diulang apabila 11 nada lainnya dari tangga kromatis telah muncul (pengecualian terhadap pengulangan nada yang sama dengan nada yang terakhir dimainkan, *trills*, dan juga *tremolo*).
3. Diperbolehkan untuk melakukan inversi, *retrograde*¹, atau inversi *retrograde* terhadap suatu *twelve-tone row*.
4. Urutan nada dalam suatu *twelve-tone row* bersifat tetap.

Sebelum lanjut lebih dalam lagi, dibutuhkan definisi dari nada yang akan dijadikan simpul graf pada tahap analisis. Nada yang dapat disusun dengan *twelve-tone technique* adalah nada yang berasal dari tangga nada kromatis. Tangga nada kromatis sendiri

merupakan tangga nada yang terdiri atas 12 macam nada dengan jarak antarnada berupa setengah (interval semitone). Pada suatu tangga kromatis, dua belas nada tersebut akan terdiri atas nada C, C#/Db, D, D#/Eb, E, F, F#/Gb, G, G#/Ab, A, A#/Bb, B dengan visualisasi interval dalam satu oktaf sebagai berikut:



Gambar 10. Nada pada tangga nada kromatis
<https://tambahpinter.com/jenis-tangga-nada/>

Seperti yang dapat dilihat, jarak yang sama antara sharp (notasi: #) dan flat (notasi: b) membuat beberapa nada dapat didefinisikan dengan dua cara yang berbeda, yaitu dengan menaikkan 1/2 nada sebelumnya dengan menggunakan sharp atau menurunkan 1/2 nada setelahnya dengan menggunakan flat. Pada makalah ini, notasi yang digunakan adalah notasi sharp.

Merujuk pada aturan *twelve-tone technique*, urutan nada pada suatu *twelve-tone row* bersifat tetap dan tidak bisa berubah. Namun, suatu *twelve-tone row* dapat dimanipulasi sehingga didapat *twelve-tone row* lain yang berakar dari *twelve-tone row* tersebut. Proses manipulasi yang dapat dilakukan adalah inversi, *retrograde*, dan inversi *retrograde* dimana inversi sendiri dalam terminologi musik berarti memutarbalikkan interval sementara *retrograde* berarti memutarbalikkan urutan.

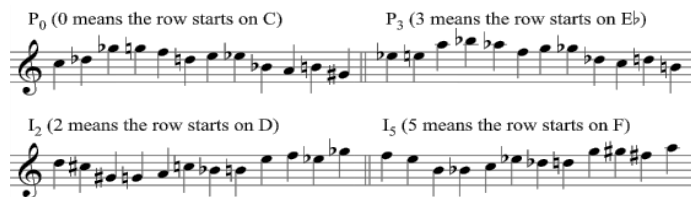
Untuk suatu *twelve-tone row* P, *retrograde* akan menghasilkan suatu *twelve-tone row* R yang merupakan rangkaian berisi nada-nada dari P dengan urutan terbalik (dimulai dari nada terakhir P hingga nada pertama P). Pada inversi, dihasilkan suatu *twelve-tone row* I yang merupakan rangkaian nada-nada dari P dengan interval yang terbalik (berlawanan arah). Pada inversi *retrograde* P, akan dihasilkan suatu *twelve-tone row* IR yang merupakan rangkaian berisi nada yang didapat dari membalikkan urutan nada pada P kemudian membalikkan interval nada-nada tersebut.



Gambar 11. Contoh P serta hasil R, I, dan IR yang didapat
https://en.wikipedia.org/wiki/Retrograde_inversion

Twelve-tone row P, R, I, dan IR masing-masing dapat dimulai dengan nada manapun dari seluruh dua belas nada yang tersedia pada suatu tangga nada kromatis. Hal ini dilakukan dengan melakukan transpos terhadap suatu *twelve-tone row*.

Sebagai contoh, apabila terdapat suatu *twelve-tone row* P0 yang menandakan P yang dimulai pada nada C, maka P3 adalah *twelve-tone row* yang dimulai pada nada D# dan seterusnya. Hal ini berlaku untuk *twelve-tone row* P dan I.



Gambar 12. Contoh P dan I yang ditranspos
<https://musictheory.pugetsound.edu/mt21c/TwelveToneTechnique.html>

Namun, pada *twelve-tone row* R dan IR, nada yang digunakan sebagai indikator transpos adalah nada terakhir dari *twelve-tone row* tersebut. Sehingga apabila terdapat suatu *twelve-tone row* R1 yang berakhir pada nada C#, maka IR7 akan berakhir pada nada G.



Gambar 13. Contoh R dan IR yang ditranspos
<https://musictheory.pugetsound.edu/mt21c/TwelveToneTechnique.html>

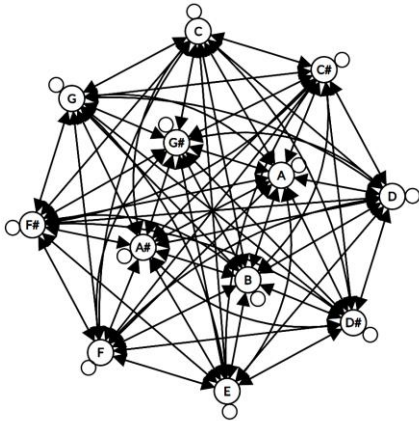
Dengan adanya kemampuan untuk transpos, hal ini berarti terdapat sebanyak 47 permutasi dari *twelve-tone row* awal atau P yang dapat digunakan, sehingga kemungkinan maksimum suatu *twelve-tone row* dapat dihasilkan adalah sejumlah 48 kemungkinan *twelve-tone row*. Namun, tidak semua P dapat menghasilkan 48 kemungkinan *twelve-tone row*. Pada *invariance*, terdapat beberapa transformasi dari P yang apabila ditranspos dapat menyerupai dengan satu sama lain sehingga variasi kemungkinannya tidak mencapai sebanyak 48 kemungkinan karena adanya kemungkinan yang identik satu sama lain. Contoh dari *invariance* ini dapat dilihat pada suatu tangga nada kromatis yang naik. Apabila tangga nada tersebut bertindak sebagai P dan dicari IR dari P tersebut, maka IR tersebut akan identical dengan P. Tidak hanya itu, pada tangga nada kromatis yang naik, hasil *twelve-tone row* R akan identik dengan *twelve-tone row* I. Oleh karena itu, pada kasus ini hanya terdapat sebanyak 24 kemungkinan variasi yang dapat dihasilkan dari P.



Gambar 14. P, R, I, dan IR dari tangga nada kromatis naik
https://en.wikipedia.org/wiki/Twelve-tone_technique

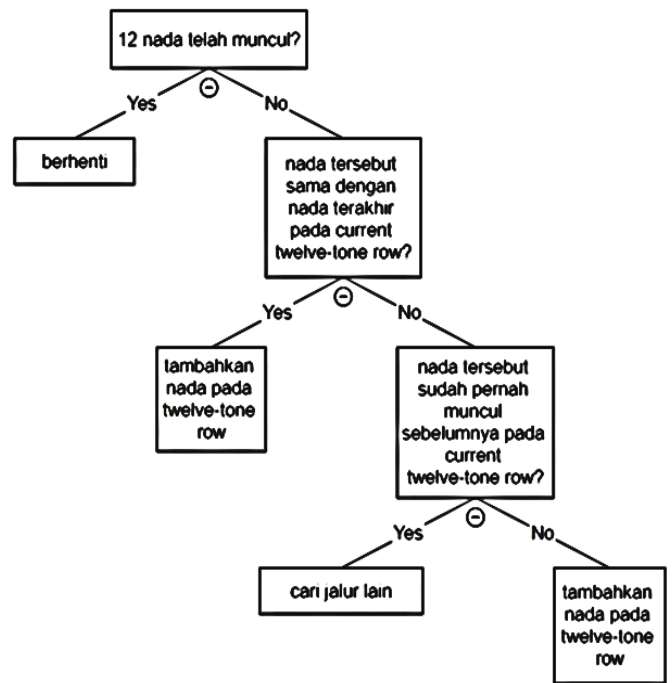
III. IMPLEMENTASI GRAF DAN PEMBAHASAN

Pada proses pembuatan suatu rangkaian nada dalam musik, tidak ada ketentuan yang mengatur urutan nada, sehingga suatu nada dapat dilanjutkan dengan nada lainnya secara bebas. Oleh karena itu, pada proses pembuatan suatu rangkaian nada, relasi yang menggambarkan urutan nada dalam bentuk lintasan yang bisa ditelusuri dapat direpresentasikan dalam bentuk graf terarah. Pada suatu tangga nada kromatis, graf terarah tersebut akan terdiri atas 12 simpul berupa nada pada tangga nada kromatis serta 144 sisi dengan orientasi arah yang berbeda-beda. Lintasan yang didapat dari hasil penelusuran graf menggambarkan kemungkinan rangkaian nada yang dihasilkan.



Gambar 15. Graf terarah pada tangga nada kromatis

Walaupun graf tersebut dapat menggambarkan kemungkinan lintasan yang dapat ditelusuri untuk menghasilkan suatu rangkaian nada, graf tersebut tidak dapat menggambarkan kemungkinan lintasan yang dapat ditelusuri untuk menghasilkan suatu *twelve-tone row*. Hal ini dikarenakan graf tersebut tidak memiliki ketentuan yang mengatur urutan nada pada rangkaian nada yang dihasilkan, sedangkan *twelve-tone row* yang dihasilkan dengan menerapkan *twelve-tone technique* identik dengan urutan nadanya yang diatur sedemikian rupa sehingga kemunculan 12 nada pada tangga nada kromatis sama rata. Oleh karena itu, agar graf dapat menggambarkan kemungkinan lintasan yang dapat ditelusuri untuk menghasilkan suatu *twelve-tone row*, dapat dilakukan modifikasi terhadap graf tersebut dengan menanam suatu algoritma yang memungkinkan agar proses penelusuran lintasan pada graf tersebut diiringi dengan sebuah tahap pemutusan. Sebelum berpindah dari suatu simpul ke simpul berikutnya, tahap pemutusan akan menentukan apakah suatu lintasan dapat ditelusuri atau tidak berdasarkan aturan dari *twelve-tone technique*. Algoritma penentuan keputusan ini dapat divisualisasikan dalam graf pohon berikut:



Gambar 16. Pohon keputusan aturan *twelve-tone technique*

Dengan menerapkan algoritma yang digambarkan oleh graf pohon di atas, lintasanpun akan terbatas dengan ketentuan aturan dari *twelve-tone technique* sehingga urutan *twelve-tone row* yang dihasilkan juga akan sesuai dengan ketentuan kemunculan yang rata dari seluruh nada tangga nada kromatis. Perlu dicatat bahwa hasil akhir pada graf berupa lintasan yang didapat merupakan gambaran dari *twelve-tone row* yang dapat dihasilkan, sedangkan nada terakhir merujuk kepada simpul yang sedang disinggahi.

Pencarian kemungkinan suatu *twelve-tone row* ini dilakukan dengan menelusuri setiap lintasan yang tersedia dan memutuskan eligibilitasnya berdasarkan graf pohon di atas. Hal ini berarti untuk simpul awal, akan terdapat 12 kemungkinan lintasan dan seiring panjang lintasan bertambah maka kemungkinan lintasan yang dapat dilalui juga berkurang. Sehingga pada akhirnya didapat pencarian kemungkinan suatu *twelve-tone row* yang didapat dengan pencarian graf dengan ketentuan *twelve-tone technique* akan menghasilkan sebanyak 12 faktorial ruang pencarian yakni sebesar 479.001.600 alias hampir setengah miliar ruang pencarian.

IV. SIMPULAN

Graf merupakan suatu konsep dalam matematika yang dapat diaplikasikan dan digunakan untuk beragam macam persoalan. Persoalan ini tidak hanya terbatas pada cakupan ilmu pengetahuan alam, tetapi bahkan dapat diaplikasikan dalam ilmu musik. Hal ini dapat dilihat pada makalah ini, dimana suatu metode dalam musik yang bernama *twelve-tone technique* dapat digambarkan dalam bentuk graf terarah yang diiringi dengan penggunaan graf pohon untuk mengaplikasikan algoritma yang didapat dari penerapan aturan *twelve-tone technique* itu sendiri.

Suatu *twelve-tone technique* dapat menghasilkan beragam variasi *twelve-tone rows*. Pencarian kemungkinan *twelve-tone*

row dengan menggunakan graf tersebut akan menghasilkan ruang pencarian yang identik dengan ruang pencarian yang akan didapat apabila menggunakan pencarian secara kombinatorial.

Pengembangan dapat dilakukan dengan mencari suatu skema pencarian yang ruang pencariannya lebih efisien. Hal ini dapat dilakukan dengan mempersempit ruang pencarian seperti mencari kemungkinan *twelve-tone row* yang masih mengandung unsur tonalitas diantara rangkaian nada yang cenderung atonal tersebut.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini secara tepat waktu. Dalam penyusunan makalah ini, penulis menyadari adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dra. Harlili, M.Sc. selaku dosen pengampu mata kuliah Matematika Diskrit IF2120 Kelas 02 yang telah mendidik penulis selama satu semester dengan penuh kesabaran dan kasih sayang. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga serta teman-teman penulis atas dukungan moral yang telah diberikan kepada penulis. Terakhir, penulis menyadari bahwa makalah ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membagnun dari pembaca, sehingga makalah selanjutnya dapat lebih baik lagi.

REFERENCES

- [1] Hutchinson, Robert. Music Theory for the 21st-Century Classroom. Diakses melalui <https://musictheory.pugetsound.edu/mt21c/TwelveToneTechnique.html> pada 8 Desember 2021 pukul 16.47 WIB.
- [2] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Twelve-Tone Technique. Diakses melalui <https://www.britannica.com/art/12-tone-music> pada 8 Desember 2021 pukul 17.15 WIB.
- [3] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Atonality. Diakses melalui <https://www.britannica.com/art/atonality> pada 8 Desember 2021 pukul 18.00 WIB.
- [4] Molder, Natahan. Taking Notes: Generating Twelve-Tone Music with Mathematics. Diakses melalui <https://dc.etsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5051&context=etd> pada 9 Desember 2021 pukul 19.31 WIB.
- [5] Munir, Rinaldi. Graf Bagian 1. Diakses melalui <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf> pada 10 Desember 2021 pukul 20.21 WIB
- [6] Munir, Rinaldi. Graf Bagian 2. Diakses melalui <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian2.pdf> pada 10 Desember 2021 pukul 21.13 WIB

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, 13 Desember 2021



Sarah Azka Arief 13520083