

# Analisis Graf Siklik dalam Circle of Fifth dan Aplikasinya dalam Harmonisasi Lagu Bohemian Rhapsody

Miguel Rangga Deardo Sinaga- 13524069

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: [miguelsinaga06@gmail.com](mailto:miguelsinaga06@gmail.com) , [13524069@std.stei.itb.ac.id](mailto:13524069@std.stei.itb.ac.id)

**Abstract**—Circle of Fifth merupakan hasil perkembangan teori musik yang secara ekspilist pertama kali digambarkan oleh musisi Rusia bernama Nikolay Diletsky pada abad ke-17. Pada dasarnya, Circle of Fifth merupakan sebuah graf yang memiliki simpul berupa nada-nada yang tersusun secara melingkar. Nada-nada ini tersusun sedemikian rupa sehingga memiliki hubungan *perfect fifth* jika diperhatikan secara *clockwise* dan berhubungan *perfect fourth* apabila diperhatikan secara *counterclockwise*. Simpul dari graf ini dapat disusun secara sirkuit sehingga dapat merepresentasikan tanggana, harmoni, dan progresi di musik, terutama musik yang bersifat tonal. Dalam makalah ini, saya akan membuat representasi graf siklik (graf lingkaran) berdasarkan Circle of Fifts sehingga dapat menganalisis progresi dan harmonisasi akor dalam lagu *Bohemian Rhapsody* oleh Queen.

**Keywords**—Interval; harmoni; tonal; progression; chord

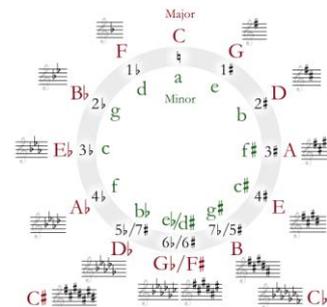
## I. PENDAHULUAN

Teori graf, sebagai cabang fundamental matematika diskrit, telah terbukti menjadi alat analitis yang sangat kuat dan serbaguna, dengan aplikasi luas di berbagai disiplin ilmu. Secara umum, sebuah graf  $G$  didefinisikan sebagai pasangan terurut dua himpunan, yaitu himpunan tak kosong  $V$  yang elemen-elemennya disebut simpul (*vertices*), dan himpunan yang mungkin kosong  $E$  yang elemen-elemennya disebut sisi (*edge*). Sisi-sisi ini berfungsi untuk menghubungkan pasangan simpul dalam graf.

Dalam konteks musik, teori graf menyediakan kerangka kerja formal untuk menganalisis hubungan harmonik antara kunci, skala, akor, dan nada. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang prinsip-prinsip komposisi yang mendasari sebuah karya musik. Selain itu, penggunaan graf memfasilitasi eksplorasi cara-cara untuk menciptakan transisi harmonik atau modulasi yang inovatif. Keberhasilan dan validasi teori graf dalam memodelkan sistem yang kompleks di berbagai disiplin ilmu, memberikan landasan metodologis yang kuat untuk penerapannya dalam menganalisis struktur musik. Ini menunjukkan bahwa meskipun musik adalah bentuk seni, namun tetap memiliki struktur dasar (seperti hubungan nada, progresi akor, dan modulasi) yang dapat direpresentasikan secara abstrak dan dianalisis secara kuantitatif. Dengan demikian, teori graf menawarkan lensa yang objektif dan terukur untuk memeriksa fenomena musik,

melampaui pemahaman musik yang semata-mata subjektif atau kualitatif.

Circle of Fifths merupakan hasil perkembangan teori musik yang menggunakan konsep graf. Circle of Fifths mengurutkan 12 nada secara *clockwise* berdasarkan interval kwint sempurna (*perfect fifths*) sehingga membentuk graf siklik. Siklus dimulai dari nada C dan bergerak secara *clockwise* sejauh interval kwint sehingga nada disebelahnya merupakan *perfect fifths* dari nada tersebut. Oleh karena itu, sekuens dari Circle of Fifths yaitu C, G, D, A, E, B, F $\sharp$  atau G $\flat$ , C $\sharp$  atau D $\flat$ , G $\sharp$  atau A $\flat$ , D $\sharp$  atau E $\flat$ , A $\sharp$  atau B $\flat$ , F, dan kembali ke C. Graf ini juga bisa dilihat secara *counterclockwise* sehingga setiap nada yang bersebelahan memiliki hubungan *perfect fourth* atau kuart sempurna.



Gambar 1.1 Circle of Fifths

Circle of Fifth dimulai dengan nada C yang merupakan *natural note*, tanpa tanda kres ataupun mol. Lalu, setiap bergerak secara *clockwise* nada yang tertuju berubah secara tonal sebanyak satu kres. Nada G memiliki satu kres, D memiliki dua kres, dan seterusnya hingga C $\sharp$ . Sebaliknya, setiap bergerak secara *counterclockwise* nada yang tertuju berubah sebanyak satu mol. Nada F memiliki satu mol, B $\flat$  memiliki dua mol, dan seterusnya hingga C $\flat$ . Hal ini disebabkan oleh penyusunan Circle of Fifths yang berdasarkan interval kwint (*clockwise*) dan interval kuart (*counterclockwise*) sehingga sesuai dengan penyusunan tangga nada tonal.

*Bohemian Rhapsody*, lagu ciptaan Queen, merupakan salah satu lagu legendaris sepanjang masa. Lagu asal Inggris ini dikenal luas tak hanya karena popularitasnya pada zaman itu,

tetapi juga karena strukturnya yang unik jika dilihat dari kacamata teori musik. Lagu *masterpiece* karya Freddie Mercury ini memadukan berbagai genre musik dan memiliki struktur yang tidak konvensional jika dibandingkan dengan tren pada zaman itu. Selain itu, lagu ini juga memiliki berbagai perpindahan tonal dan harmonisasi yang unik pada tiap-tiap bagian lagunya. Hal inilah yang membuat lagu ini menjadi objek ideal untuk dianalisis menggunakan model graf berdasarkan Circle of Fifths. Melalui analisis graf, kita dapat menelusuri bagaimana progresi akor dalam *Bohemian Rhapsody* membentuk lintasan-lintasan harmonik di dalam (dan kadang di luar) struktur siklik Circle of Fifths. Hal ini tidak hanya memberikan wawasan baru terhadap strategi harmonisasi dalam karya tersebut, tetapi juga menunjukkan potensi pendekatan matematis dan struktural dalam menafsirkan komposisi musik populer yang kompleks.

## II. DASAR TEORI

### A. Definisi Graf, Graf Sederhana, dan Graf Siklik

Sebuah graf  $G$  didefinisikan sebagai  $G = (V, E)$ ,  $V$  merupakan himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul (*vertices*) dan  $E$  adalah himpunan sisi (*edges*) yang menghubungkan gabungan simpul. Graf pada umumnya digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut.

Graf sederhana adalah graf yang tidak memiliki sisi ganda dan sisi gelang. Sisi ganda adalah dua buah sisi yang menghubungkan dua simpul yang sama. Sedangkan sisi gelang atau *loop* adalah sisi yang menghubungkan suatu simpul terhadap simpul itu sendiri.

Graf siklik, atau yang biasa disebut dengan graf lingkaran, adalah graf yang memiliki  $n$  simpul dengan batasan  $n \geq 3$  dan setiap simpulnya berderajat dua. Hal ini berarti setiap simpul pada graf harus memiliki tepat dua sisi dan membentuk lintasan tertutup atau siklus yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama. Graf siklik dengan  $n$  simpul dinotasikan sebagai  $C_n$ .

### B. Musik Tonal

Musik tonal adalah sebuah komposisi musik yang berdasarkan oleh suatu *key center* atau nada dasar. Musik tonal seolah-olah membuat sebuah lagu akan beresolusi ke nada dasar. Konsep ini awalnya berkembang pada zaman Barok dan menjadi konsep musik dominan bahkan lagu tren masa kini menggunakan konsep musik ini.

Permainan musik tonal biasanya dimulai dari penentuan kunci dasar. Setelah itu, komposisi musik akan *revolves around* kunci dasar tersebut. Tangga nada yang dipakai juga biasanya merupakan tangga nada dari kunci dasar tersebut. Walaupun begitu, di berbagai permainan musik tonal bisa menggunakan tangga nada di luar nada dasar, tetapi penggunaannya jarang dan pemilihan nada eksternal tersebut tergantung konteks permainan.

### C. Interval dan Tangga Nada pada Musik Tonal

Interval adalah jarak antara dua nada. Jarak ini biasanya diukur dalam satuan semitone. Karena dalam musik tonal

terdapat 12 nada, satu oktaf dibagi menjadi 12 semitone sehingga setiap semitone memiliki rasio frekuensi tertentu terhadap nada dasar, yaitu  $\sqrt[12]{2}$ . Oleh karena itu, setiap semitone mempunyai perbedaan frekuensi sekitar 1.059463 Hz.

Dalam teori musik, setiap interval memiliki nama dan karakteristik tertentu dalam harmoni.

Nama Interval	Jarak (Semitone)	Contoh dengan nada dasar C
Unison (Prime)	0	C - C
Minor Second	1	C - C $\sharp$
Major Second (Sekon)	2	C - D
Minor Third	3	C - E $\flat$
Major Third (Terts)	4	C - E
Perfect Fourth (Kuart)	5	C - F
Tritone	6	C - F $\sharp$
Perfect Fifth (Kwint)	7	C - G
Minor Sixth	8	C - A $\flat$
Major Sixth (Sext)	9	C - A
Minor Seventh	10	C - B $\flat$
Major Seventh (Septim)	11	C - B
Octave	12	C - C'

### D. Circle of Fifths

Model graf siklik dengan 12 simpul dapat merepresentasikan Circle of Fifths. Pada dasarnya, Circle of Fifths merupakan graf  $C_{12}$  terdiri dari 12 simpul yang merupakan himpunan dari nada yang terdiri dari C, G, D, A, E, B, F $\sharp$  atau G $\flat$ , C $\sharp$  atau D $\flat$ , G $\sharp$  atau A $\flat$ , D $\sharp$  atau E $\flat$ , A $\sharp$  atau B $\flat$ , dan F. Simpul-simpul ini sejatinya memiliki hubungan *perfect fifth*, namun hubungan antarsimpul dapat dimodifikasi menjadi graf siklik dengan simpul  $3 \leq n \leq 12$  sehingga dapat merepresentasikan *chord* atau harmonisasi nada. Sisi dari graf ini juga dapat dimodifikasi sehingga membentuk lintasan yang merepresentasikan progresi akor atau *chord progression*.

### E. Chord dan Harmonisasi

Harmoni adalah penggabungan beberapa nada yang menciptakan kesan baru. Sedangkan *chord* atau akor adalah gabungan nada yang dimainkan bersamaan sehingga menciptakan harmoni. Pada dasarnya, *chord* terdiri dari tiga nada yang biasa disebut dengan *triad*. Susunan chord ini dapat mengikuti pola tertentu tergantung jenis dari *chord* tersebut.

Susunan dari *chord* bergantung pada jenis *chord* itu sendiri. *Chord* terdiri dari berbagai jenis, seperti mayor, minor, *diminished*, dan *augmented*. Untuk mendapatkan susunan *chord*, langkah pertama yang dilakukan adalah mengurutkan tangga nada yang tonalnya merupakan nada yang kita cari susunan *chord*-nya.

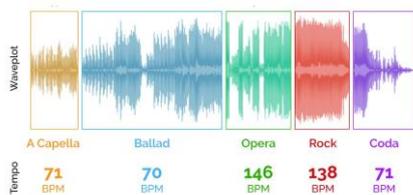
Sebagai contoh, kalau ingin mencari *chord* C mayor, susun terlebih dahulu tangga nada C. Tangga nada C adalah C, D, E, F, G, A, B, C. Karena ingin dicari *chord* C mayor, ambil nada pertama, ketiga, dan kelima yakni C, E dan G. Nada tersebut merupakan *chord* C mayor. Contoh lain, jika ingin mencari *chord* G mayor, urutkan terlebih dahulu susunan tangga nada dengan tonal G. Tangga nada dengan tonal G adalah G, A, B, C, D, E, F#, G. Dengan cara yang sama, yaitu mengambil nada pertama, ketiga, dan kelima, maka kita mendapatkan *chord* G yakni G, B, dan D.

Susunan nada yang diambil menjadi berbeda jika ingin mencari *chord* jenis lain. Untuk mencari *chord* minor, kita perlu mengambil nada pertama, ketiga tapi diturunkan satu semitone (diberi tanda mol), dan kelima. Sebagai contoh ingin mencari C mayor, dengan urutan tangga nada yang sudah diketahui, kita mendapatkan susunan nada yakni C, Eb, dan G.

### III. METODE

Analisis harmonisasi pada lagu *Bohemian Rhapsody* pada makalah ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan berbasis teori graf. Pendekatan ini digunakan untuk merepresentasikan elemen-elemen musik tonal, khususnya *chord* dan *progression* sebagai atribut dari harmoni.

Karena struktur lagu *Bohemian Rhapsody* yang rumit, tidak mengikuti format bait – reffrain seperti lagu pada biasanya, segmentasi atau batasan akan ditetapkan. Fokus utama analisis akan dilakukan pada bagian *ballad*, lebih tepatnya saat lirik “Mama, just killed a man” hingga sebelum bagian solo gitar.



Gambar 3.1 Struktur Lagu *Bohemian Rhapsody*

Dalam batasan ini, setiap *chord* yang dimainkan diidentifikasi. Hubungan antara nada-nada penyusun *chord* akan direpresentasikan dengan bentuk graf berbasis Circle of Fifths. Selain itu, *progression* dan modulasi juga akan dianalisis dengan membentuk lintasan pada Circle of Fifths. Setiap *chord* pada batasan ini direpresentasikan sebagai graf yang simpulnya merupakan nada-nada pada Circle of Fifths dan sisinya mewakili relasi harmonik antarnada. Pembentukan siklus ini menggambarkan penyusunan *broken chord* yang menunjukkan hubungan erat antar komponen dari *chord* tersebut. Di sisi lain, *progression* dan modulasi direpresentasikan sebagai graf berarah berbasis Circle of Fifths yang menunjukkan perubahan *chord* (*progression*) dan tonal (modulasi).

Untuk mempermudah penggambaran graf ini, pemodelan graf diimplementasikan menggunakan program Python dengan bantuan *library* *networkx*, *library* yang men-support penggambaran graf, dan *matplotlib* untuk visualisasi dari graf tersebut. Selain itu, *library* *numpy* juga digunakan untuk membantu tata letak simpul agar dapat diposisikan seperti lingkaran menggunakan fungsi trigonometri dari *library* tersebut.

Berikut adalah *source code* Python untuk mendapatkan graf siklik yang merepresentasikan *chord*.

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Array Nada pada Circle of Fifths
circle_of_fifths = [
    "C", "G", "D", "A", "E", "B", "F#", "Db", "Ab", "Eb",
    "Bb", "F"
]

# Konfigurasi chord, bagian ini dapat di konfigurasi ulang
untuk mendapatkan variasi chord lain
chord_name = "Bb"
notes = ["Bb", "D", "F"]
chord_color = "tomato"

G = nx.Graph()
G.add_nodes_from(circle_of_fifths)

for i in range(len(notes)):
    G.add_edge(notes[i], notes[(i + 1) % len(notes)])

angle_per_node = 2 * np.pi / len(circle_of_fifths)
pos = {
    note: (np.cos(-i * angle_per_node + np.pi / 2), np.sin(-i
* angle_per_node + np.pi / 2))
    for i, note in enumerate(circle_of_fifths)
}

node_colors = ["orange" if n in notes else "lightgray" for n
in G.nodes]

plt.figure(figsize=(8, 8))
nx.draw_networkx_nodes(G, pos, node_color=node_colors,
node_size=1200)
nx.draw_networkx_edges(G, pos, edge_color=chord_color,
width=3)
nx.draw_networkx_labels(G, pos, font_size=12,
font_weight='bold')
plt.title(f"Susunan Chord: {chord_name}", fontsize=14)
plt.axis("off")
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Selain itu, berikut adalah *source code* Python untuk mendapatkan graf berarah yang merepresentasikan *progression* dan modulasi

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Array Nada dalam Circle of Fifths
circle_of_fifths = [
    "C", "G", "D", "A", "E", "B", "F#", "Db", "Ab", "Eb",
    "Bb", "F"
]

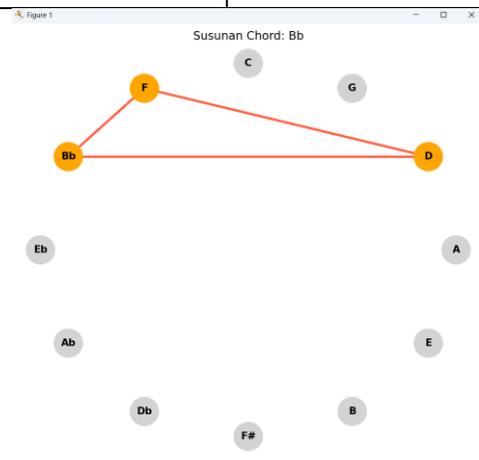
# Konfigurasi progression atau modulasi, bagian ini dapat di
# konfigurasi ulang untuk mendapatkan variasi progression atau
# modulasi lain
chord_progression = ["Bb", "G", "C", "F", "Bb"]
G = nx.DiGraph()
G.add_nodes_from(circle_of_fifths)
edges = [(chord_progression[i], chord_progression[i+1]) for i
in range(len(chord_progression)-1)]
G.add_edges_from(edges)
angle_per_node = 2 * np.pi / len(circle_of_fifths)
pos = {
    note: (np.cos(-i * angle_per_node + np.pi / 2), np.sin(-i
* angle_per_node + np.pi / 2))
    for i, note in enumerate(circle_of_fifths)
}
node_colors = ["orange" if note in chord_progression else
"lightgray" for note in G.nodes]
plt.figure(figsize=(10, 10))
nx.draw_networkx_nodes(G, pos, node_color=node_colors,
node_size=1200)
nx.draw_networkx_labels(G, pos, font_size=12,
font_weight="bold")
nx.draw_networkx_edges(
    G, pos, edgelist=edges,
    arrowstyle='->', arrowsize=25, edge_color='crimson',
    width=2, connectionstyle="arc3,rad=0.1"
)
# plt.title("Chord Progression", fontsize=14) # Judul,
# sementara di-comment tergantung untuk progression atau
# modulasi
plt.axis("off")
plt.tight_layout()
plt.show()
```

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

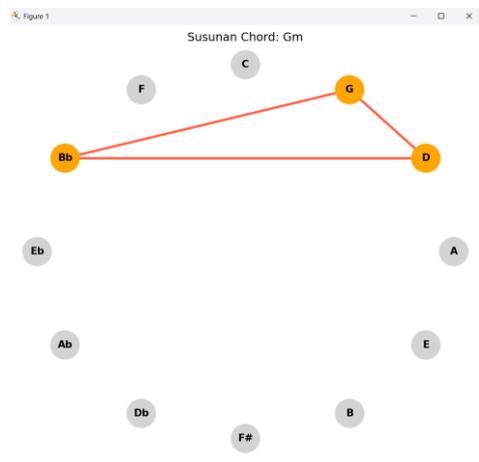
##### A. Representasi Chord pada Graf Circle of Fifths

Setiap *chord* pada bagian *ballad* lagu *Bohemian Rhapsody* dapat direpresentasikan sebagai graf tak berarah siklik atau lingkaran yang simpulnya terdiri dari nada-nada di Circle of Fifths dan sisinya menunjukkan hubungan *triad* sebagai penyusun *chord*. Graf ini tak berarah karena *chord* tersebut akan selalu sama secara definisi walau dimainkan dengan urutan yang berbeda. Berikut adalah *chord* dan *triad* pada bagian *ballad* lagu ini.

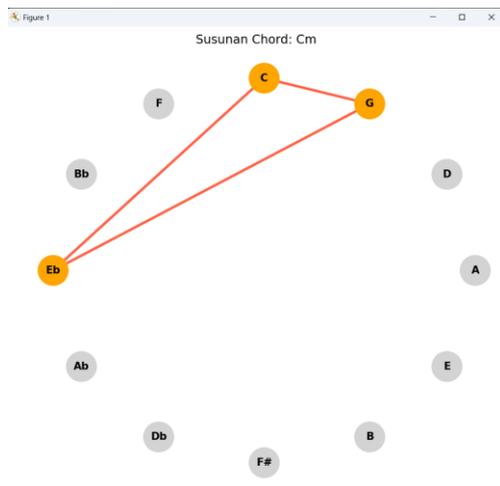
Chord	Triad / Susunan nada
Bb	Bb - D - F
Gm	G - Bb - D
Cm	C - Eb - G
F	F - A - C
Fm	F - Ab - C
Eb	Eb - G - Bb



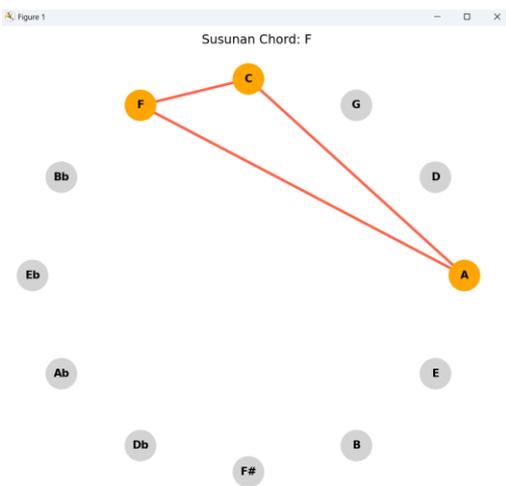
Gambar 4.1 Siklus chord Bb



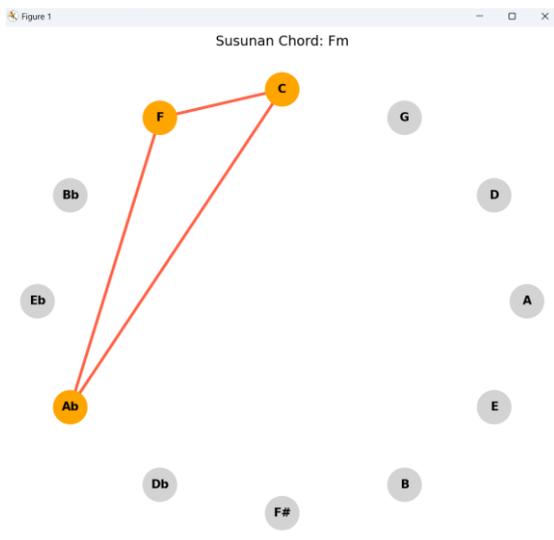
Gambar 4.2 Siklus chord Gm



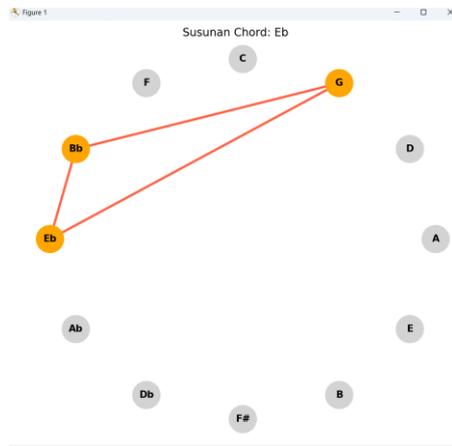
Gambar 4.3 Siklus *chord* Cm



Gambar 4.4 Siklus *chord* F



Gambar 4.5 Siklus *chord* Fm



Gambar 4.6 Siklus *chord* Eb

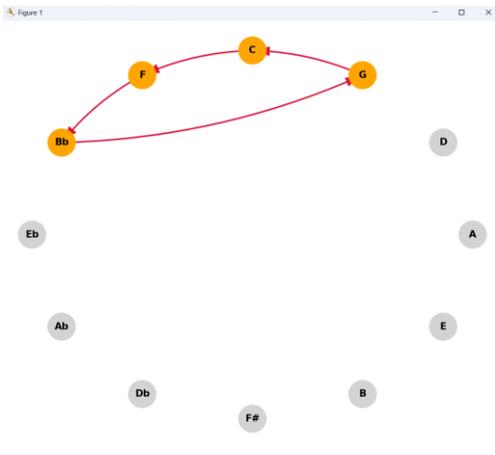
Dengan memperhatikan representasi *chord* pada graf seperti gambar, sebuah pola harmonisasi *chord* dapat diidentifikasi. Setiap *chord* membentuk segitiga yang panjang sisinya selalu sama. Dengan kata lain, melalui bantuan graf ini, kita juga mendapatkan metode baru untuk mencari *chord* dari suatu nada.

Untuk mencari *chord* mayor, yang pertama dilakukan adalah cari *root note* dari *chord* yang ingin dicari. Lalu, bergerak sekali secara *clockwise* untuk mendapatkan *perfect fifths*, nada kelima jika menggunakan metode yang disebutkan di dasar teori, dari nada tersebut. Terakhir, bergerak tiga langkah untuk mendapatkan nada ketiga atau *major third*. Contohnya, untuk mencari *chord* F, cari dahulu letak F pada graf Circle of Fifths. Lalu, bergerak satu langkah secara *clockwise* sehingga mendapatkan C. Dari nada C, gerak tiga langkah sehingga mendapatkan nada A. Terakhir, hubungkan ketiga simpul yang sudah didapatkan.

Sedangkan untuk mencari *chord* minor, langkah yang kita perlukan memiliki sedikit perubahan. Langkah pertama dan kedua masih sama, yaitu cari *root note* lalu bergerak sekali secara *clockwise* dari *root note* tersebut. Terakhir, gerak 3 langkah secara *counterclockwise* dari *root note*. Sebagai contoh, jika ingin mencari *chord* Fm, cari *root note*, yaitu F, lalu bergerak sekali secara *clockwise* sehingga mendapatkan nada C. Lalu, bergerak tiga langkah secara *counterclockwise* dari F sebagai *root note* sehingga mendapatkan nada Ab. Terakhir, hubungkan ketiga nada yang didapatkan.

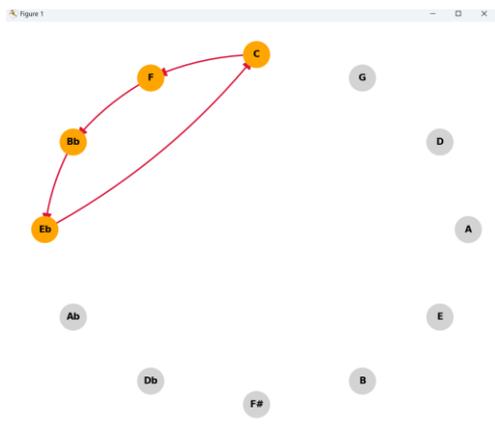
### B. Representasi Progression dan Modulasi pada Graf Circle of Fifths

Pada bagian awal *ballad*, lagu *Bohemien Rhapsody* memiliki *progression* yaitu  $Bb \rightarrow Gm \rightarrow Cm \rightarrow F \rightarrow Bb$ . Urutan ini dapat direpresentasikan menjadi graf berarah yang berbasis Circle of Fifths.



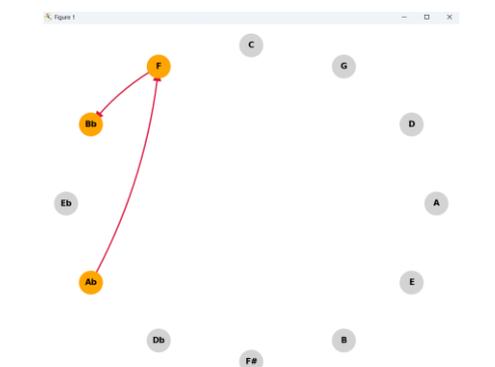
Gambar 4.7 Siklus *progression*

Setelah sekuens *progression* tersebut, lagu ini mengubah tonal atau nada dasarnya ke Eb, tepatnya pada lirik “Mama, ooh, didn’t mean to make you cry..”. *Progression* pada bagian tersebut yakni  $Eb \rightarrow Eb$  (on D)  $\rightarrow Cm \rightarrow Fm \rightarrow Bb \rightarrow Eb$ .



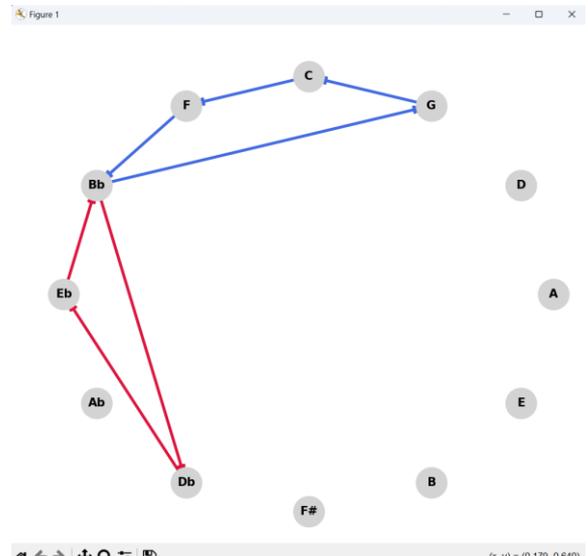
Gambar 4.8 Siklus *progression* pada modulasi

Hal ini menunjukkan ada perubahan tonal (modulasi) dari lagu ini, yaitu menjadi nada dasar Eb. Setelah itu, *progression* bergerak kembali sehingga mengarah ke tonal Bb untuk mempersiapkan *ballad* bait 2, lebih tepatnya pada lirik “Too late, my time has come..”. *Progression* tersebut adalah  $Ab \rightarrow Fm \rightarrow Bb$ . Setelah ini, tonal kembali berada di nada dasar Bb.



Gambar 4.9 Siklus *progression* pada modulasi kembali ke Bb.

Perubahan tonal ini merupakan modulasi sementara atau yang biasa disebut dengan *chromatic mediant* karena modulasi terjadi hanya sebagai mediasi ke struktur lagu lain. Penggunaan *chromatic mediant* menciptakan efek perluasan pada *progression* karena *chord* yang digunakan berada di luar tangga nada utama. Namun, *chromatic mediant* pada lagu ini tetap memiliki unsur koneksi ke tonal pusat, yaitu Bb.



Gambar 4.7 Siklus *progression* (biru) dan modulasi (merah)

## V. KESIMPULAN

Dengan menggunakan teori graf dalam konteks Circle of Fifths, harmonisasi dalam musik bisa divisualisasikan. Struktur musik yang selama ini hanya bisa didengar, bisa digambarkan menjadi bentuk graf yang berpola. Circle of Fifths, dapat dimodelkan sebagai graf siklik atau lingkaran  $C_{12}$  yang simpulnya merupakan 12 nada pada musik tonal dan sisinya menunjukkan hubungan *perfect fifths*.

Melalui analisis harmoni lagu *Bohemian Rhapsody*, pola-pola harmoni dapat ditemukan pada graf Circle of Fifths. Pola-pola ini merupakan siklus pada graf tersebut. Pola ini dapat membantu kita sebagai metode baru untuk penentuan harmoni yang tepat pada suatu lagu.

Progresi akor dalam bagian ballad lagu ini, seperti progresi  $Bb \rightarrow Gm \rightarrow Cm \rightarrow F \rightarrow Bb$ , membentuk lintasan tertutup dalam graf berarah. Sementara itu, modulasi seperti  $Bb \rightarrow Db \rightarrow Eb \rightarrow Bb$  membentuk cabang atau loop tambahan yang keluar dari jalur utama, memperlihatkan fungsi modulasi sementara yang dikenal sebagai *chromatic mediant*. Dalam representasi graf, modulasi ini terlihat sebagai perubahan arah yang tetap terkoneksi, menunjukkan bahwa perpindahan tonal pun dapat direpresentasikan sebagai struktur hubungan yang logis dan konsisten.

## VI. LAMPIRAN

Video demonstrasi :

[https://drive.google.com/file/d/1hGarvbgKg-KNMnFWsYmF-f7u\\_eujVw4N/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1hGarvbgKg-KNMnFWsYmF-f7u_eujVw4N/view?usp=sharing)

<https://medium.com/@purandare.sarang/what-makes-bohemian-rhapsody-a-masterpiece-a-data-science-perspective-3d9366d20550>

- [4] Wikipedia contributors.2023. *Circle of fifths*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Circle\\_of\\_fifths](https://en.wikipedia.org/wiki/Circle_of_fifths)
- [5] Munir, Rinaldi. 2020. "Graf (Bagian 1)". <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

## VII. UCAPAN TERIMAKASIH

Pertama-tama, terima kasih penulis ucapkan pada Tuhan Yang Maha Esa karena karunia-Nya selama pengerjaan makalah ini. Tak lupa, terima kasih pula kepada keluarga dan teman-teman penulis, khususnya teman-teman di IF 24, atas dukungannya sehingga makalah ini dapat diselesaikan. Terlebih lagi, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T., yang memimbing perkuliahan IF1220 Matematika Diskrit. Tak hanya karena bimbingan beliau, tetapi juga karena beliau telah menginspirasi penulis untuk melihat matematika sebagai alat pemodelan yang luas.

## 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, 1 Juni 2025



Miguel Rangga Deardo Sinaga 13524069

## REFERENSI

- [1] Aldwell, E., Schachter, C., & Cadwallader, A.2011. *Harmony and Voice Leading* (4th ed.). Boston: Schirmer.
- [2] McKinney, W. (2022). *Python for Data Analysis* (3rd ed.). O'Reilly Media.
- [3] Purandare, S. (2020, May 31). *What makes Bohemian Rhapsody a masterpiece? A data science perspective*. Medium.