

# Pemanfaatan Algoritma Runut-balik dalam Penentuan Golongan Suara pada Dunia Paduan Suara

Stevanno Hero Leadervand (13515082)<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia  
<sup>1</sup>13515082@std.stei.itb.ac.id

**Abstrak**—Manusia di dunia mempunyai warna suara yang berbeda-beda. Warna suara dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis kelamin, usia, dan lingkungan. Dalam dunia paduan suara, suara manusia dibedakan menjadi empat golongan yaitu sopran, alto, tenor, dan bass. Sopran dan alto dimiliki oleh wanita, sedangkan tenor dan bass dimiliki oleh pria. Dengan menggunakan algoritma runut-balik (*backtracking*) yang memanfaatkan cara penjelajahan secara mendalam atau DFS (*Depth-first Search*), dapat ditentukan golongan suara manusia menggunakan sebuah pohon dinamis dengan simpul-simpul yang merepresentasikan nada-nada pada masing-masing golongan suara yang ada sehingga dapat didapatkan suatu rentang dan diambil kesimpulan dari hasil penjelajahan tersebut.

**Kata kunci**—Runut-balik, Sopran, Alto, Tenor, Bass, Ambitus

## I. PENDAHULUAN

Manusia adalah salah satu ciptaan paling sempurna yang ada di muka bumi. Manusia diciptakan oleh Tuhan dengan keunikannya sendiri-sendiri. Keunikan itu tentunya berbeda-beda satu dengan lainnya. Salah satu hal unik yang ada pada manusia yaitu warna suara. Ada yang memiliki warna suara ringan, juga ada yang mempunyai warna suara berat.

Warna suara manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis kelamin, usia, dan faktor lingkungan. Pria cenderung memiliki warna suara yang lebih tegas, berat, dan kasar. Sedangkan, wanita cenderung memiliki suara yang lebih nyaring dan halus. Tetapi tidak sedikit juga pria yang memiliki suara mirip seperti wanita.

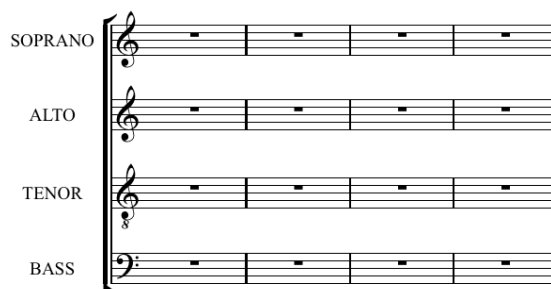
Pada dunia paduan suara di dunia, golongan suara dibagi menjadi 4 macam, yaitu sopran, alto, tenor, dan bass. Secara garis besar, sopran dan alto adalah golongan suara pada wanita, sedangkan tenor dan bass adalah golongan suara yang dimiliki oleh pria. Sopran memiliki rentang suara yang lebih tinggi daripada alto. Golongan suara tenor memiliki rentang yang lebih tinggi daripada bass. Dengan kata lain, sopran dan tenor adalah orang yang memiliki suara yang tinggi.

Pada suatu paduan suara, tidak semua orang menyanyikan suatu lagu dengan nada yang sama, tetapi akan dilakukan pemecahan suara agar terjadi harmonisasi nada saat lagu dinyanyikan. Untuk mendapatkan pecahan suara perlu dilakukan proses yang disebut ambitus, yaitu proses seleksi yang mana orang akan diuji sampai mana dia bisa mengambil nada, dari situ dia dapat diputuskan akan mendapat golongan

suara apa kelak saat menyanyikan lagu. Juga tidak ada orang yang memiliki golongan suara ganda, walaupun pada beberapa kasus bisa terjadi saat rentang suara seseorang terlalu lebar seperti seorang pria yang bisa mengambil nada wanita dan pria sekaligus.

Algoritma runut-balik atau lebih dikenal sebagai algoritma *backtracking* bisa diterapkan pada pemilihan golongan suara pada sebuah paduan suara, dengan memanfaatkan graf yang sudah dihidupkan semua simpulnya, maka bisa ditentukan golongan suara orang tersebut.

Pada makalah ini akan dibahas proses penentuan golongan suara dengan asumsi penguji ambitus sudah mengetahui jenis kelamin objek yang akan melakukan ambitus sehingga bisa langsung dibedakan jenis graf yang dipakai.



Gambar 1. Pembagian suara pada partitur lagu

## II. DASAR TEORI

### A. Algoritma Pencarian Solusi Basis Pohon

Algoritma ini digunakan untuk pencarian solusi pada masalah yang bisa dipetakan dengan bentuk pohon (tree) atau graf (graph). Struktur pencarian solusi masalah algoritma ini adalah dengan menggunakan sebuah pohon dinamis yaitu pohon yang dibangun selama pencarian solusi berlangsung.

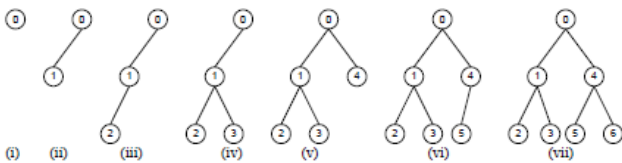
Cara membangun pohon ini berbeda untuk setiap metode traversal yang digunakan. Pohon dinamis menyatakan status-status persoalan pada saat pencarian solusi berlangsung.

- 1) Status persoalan (problem state): simpul-simpul di dalam pohon dinamis yang memenuhi kendala (constraints).
- 2) Status solusi (solution state): satu atau lebih status yang menyatakan solusi persoalan.
- 3) Status tujuan (goal state): status solusi yang merupakan simpul daun.
- 4) Ruang solusi (solution space): himpunan semua status solusi.
- 5) Ruang status (state space): Seluruh simpul di dalam pohon dinamis dan pohonnya dinamakan juga pohon ruang status (state space tree).

### B. Algoritma DFS (Depth-first Search)

DFS adalah algoritma untuk melakukan pencarian solusi pada pohon atau graf dengan prinsip memulai pencarian dari akar lalu dilanjutkan dengan memilih rute sejauh mungkin sebelum melakukan backtracking. Algoritma DFS adalah berikut:

- 1) Masukkan simpul akar ke dalam antrian Q. Jika simpul akar = simpul solusi, maka stop.
- 2) Jika Q kosong, tidak ada solusi. Stop.
- 3) Ambil simpul v dari kepala (head) antrian. Jika kedalaman simpul v sama dengan batas kedalaman maksimum, kembali ke langkah 2.
- 4) Bangkitkan semua anak dari simpul v. Jika v tidak mempunyai anak lagi, kembali ke langkah 2. Tempatkan semua anak dari v di awal antrian Q. Jika anak dari simpul v adalah simpul tujuan, berarti solusi telah ditemukan, kalau tidak, kembali lagi ke langkah 2.



Gambar 2. Tahap pembentukan pohon dengan DFS

### C. Algoritma Runut-balik (Backtracking)

Runut-balik atau lebih dikenal dengan *backtracking* adalah algoritma yang berbasis pada metode pencarian pohon DFS untuk mencari solusi persoalan secara lebih mangkus. Runut-balik merupakan perbaikan dari *brute-force*, secara sistematis mencari solusi persoalan pada semua himpunan solusi yang ada. Tetapi dengan menggunakan algoritma runut-balik, tidak perlu dilakukan pencarian disemua himpunan solusi yang ada melainkan hanya pada calon solusi yang mengarah ke solusi akhir saja, sehingga waktu pencarian menjadi lebih singkat. Runut-balik merupakan bentuk tipikal algoritma rekursif. Runut-balik banyak digunakan pada program *games* dan masalah-masalah pada bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*).

### D. Properti Umum pada Algoritma Runut-balik

Properti umum pada algoritma runut-balik dijelaskan seperti berikut:

#### 1) Solusi persoalan

Solusi dinyatakan sebagai vektor dengan n-tuple:

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $x_i \in$  himpunan berhingga  $S_i$ . Mungkin saja  $S_1 = S_2 = \dots = S_n$ .

#### 2) Fungsi pembangkit nilai $x_k$

Fungsi pembangkit dinyatakan sebagai:

$T(k)$

$T(k)$  membangkitkan nilai untuk  $x_k$ , yang merupakan komponen vektor solusi.

#### 3) Fungsi pembatas

Pada beberapa persoalan, fungsi ini dinamakan sebagai fungsi kriteria. Dinyatakan sebagai:

$B(x_1, x_2, \dots, x_k)$

Fungsi pembatas menentukan apakah  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  mengarah ke solusi. Jika ya maka pembangkitan nilai untuk  $x_{k+1}$  dilanjutkan. Tetapi jika tidak maka  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  dibuang dan tidak dipertimbangkan lagi dalam pencarian solusi.

Semua kemungkinan solusi dari persoalan disebut ruang solusi (solution space), dapat dinyatakan:

bahwa jika  $x_i \in S_i$ , maka  $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$

Disebut ruang solusi. Jumlah anggota di dalam ruang solusi adalah  $|S_1| \cdot |S_2| \cdot \dots \cdot |S_n|$ .

### E. Prinsip Pencarian Solusi dengan Algoritma Runut-balik

Prinsip pencarian solusi permasalahan dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Solusi dicari dengan membentuk lintasan dari akar ke daun. Aturan pembentukan yang dipakai adalah mengikuti metode pencarian mendalam (DFS). Simpul-simpul yang sudah dilahirkan dinamakan simpul hidup (live node). Simpul hidup yang sedang diperluas dinamakan simpul-E (Expand-node). Simpul dinomori dari atas ke bawah sesuai dengan urutan kelahirannya.
- 2) Tiap kali simpul-E diperluas, lintasan yang dibangun olehnya bertambah panjang. Jika lintasan yang sedang dibentuk tidak mengarah ke solusi maka simpul-E tersebut "dibunuh" sehingga menjadi simpul mati (dead node). Fungsi yang digunakan untuk membunuh simpul-E adalah fungsi pembatas (bounding function). Simpul yang sudah mati tidak akan pernah diperluas lagi.
- 3) Jika pembentukan lintasan berakhir dengan simpul mati maka proses pencarian diteruskan dengan membangkitkan simpul anak yang lain. Bila tidak ada lagi simpul anak yang dapat membangkitkan maka pencarian solusi dilanjutkan dengan melakukan runut-balik ke simpul hidup terdekat (simpul orangtua).

Selanjutnya simpul ini menjadi simpul-E yang baru. Lintasan baru dibangun kembali sampai lintasan tersebut membentuk solusi.

- 4) Pencarian dihentikan bila kita telah menemukan solusi atau tidak ada lagi simpul hidup untuk runut-balik.

```

procedure RunutBalikR(input k:integer)
(Mencari semua solusi persoalan dengan metode runut-balik; skema
rekursif
Masukan: k, yaitu indeks komponen vektor solusi, x[k]
Keluaran: solusi x = (x[1], x[2], ..., x[n])
)
Algoritma:
for tiap x[k] yang belum dicoba sedemikian sehingga
(x[k]←T(k)) and B(x[1], x[2], ..., x[k])= true do
if (x[1], x[2], ..., x[k]) adalah lintasan dari akar ke daun
then
CetakSolusi(x)
endif
RunutBalikR(k+1) (tentukan nilai untuk x[k+1])
endfor

```

Gambar 3. Runut-balik menggunakan rekursif

```

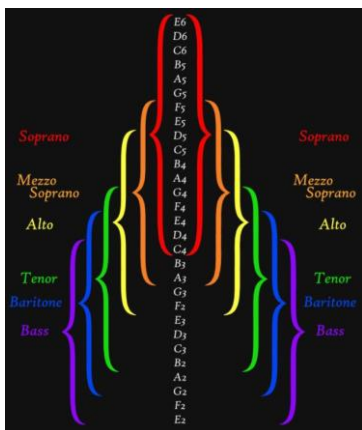
procedure RunutBalikI(input n:integer)
(Mencari semua solusi persoalan dengan metode runut-balik; skema
iteratif.
Masukan: n, yaitu panjang vektor solusi
Keluaran: solusi x = (x[1], x[2], ..., x[n])
)
Delarasi:
k : integer
Algoritma:
k←1
while k > 0 do
if (x[k] belum dicoba sedemikian sehingga x[k]←T(k)) and
(B(x[1], x[2], ..., x[k])= true)
then
if (x[1], x[2], ..., x[k]) adalah lintasan dari akar ke daun
then
CetakSolusi(x)
endif
k←k+1 (indeks anggota tuple berikutnya)
else (x[1], x[2], ..., x[k] tidak mengarah ke simpul solusi )
k←k-1 (runut-balik ke anggota tuple sebelumnya)
endif
endwhile
(k = 0)

```

Gambar 4. Runut-balik menggunakan iteratif

F. Golongan Suara (Paduan Suara)

Dalam dunia paduan dikenal empat golongan suara berdasarkan pada rentang suara yang dimiliki orang tersebut. Empat golongan suara yaitu sopran, alto, tenor, dan bass.

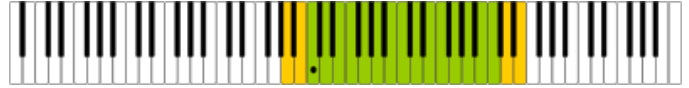


Gambar 5. Pembagian golongan suara manusia

Keempat golongan suara dijelaskan sebagai berikut:

1) Sopran

<sup>[2]</sup>Sopran adalah jenis suara pada wanita yang memiliki rentang nada paling tinggi dari semua golongan suara. Golongan suara sopran mempunyai banyak sub tipe seperti *coloratura*, *soubrette*, *lyric*, *spinto*, dan *dramatic*. Tetapi, pada paduan suara yang biasa dinyanyikan, hanya ada satu atau dua saja penggolongan sopran. Rentang suara sopran berkisar antara C<sub>4</sub> (*middle C*) sampai C<sub>6</sub>, tapi ada juga yang bisa mencapai nada paling rendah A<sub>3</sub>.



Gambar 6. Rentang suara sopran

2) Alto

Alto adalah golongan suara pada wanita yang rendah atau bisa juga disebut golongan suara yang memiliki rentang suara tertinggi kedua dari semua golongan suara. Rentang suara alto adalah dari F<sub>3</sub> sampai F<sub>5</sub>, tetapi ada juga yang bisa mencapai nada yang lebih rendah atau lebih tinggi.



Gambar 6. Rentang suara alto

3) Tenor

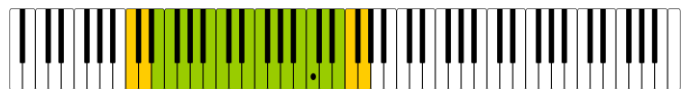
Tenor adalah tipe atau golongan suara pada pria dengan rentang suara yang paling tinggi. Rentang suara tenor berada antara C<sub>3</sub> dan C<sub>5</sub>. Tetapi, ada juga yang bisa mencapai nada F<sub>5</sub>. Tenor juga mempunyai sub tipe yaitu *leggero*, *lyric*, *spinto*, *dramatic*, *heldentenor*, dan *spieltenor*.



Gambar 7. Rentang suara tenor

4) Bass

Bass adalah tipe suara pada pria yang memiliki rentang nada rendah atau disebut juga golongan suara dengan nada paling rendah diantara empat golongan lainnya. Rentang suara bass berada diantara E<sub>2</sub> dan E<sub>4</sub>. Golongan suara bass juga mempunyai sub tipe yaitu *basso cantante*, *basso profundo*, *bass-baritone*, *comic*, *lyric*, dan *dramatic bass*.



Gambar 8. Rentang suara bass

Wanita	
Sopran	C4-C6
Alto	F3-F5
Pria	
Tenor	C3-C5
Bass	E2-E4

Tabel 1. Rentang nada tiap golongan suara

### III. PEMBAHASAN

#### A. Properti Penentuan Suara dengan Algoritma Runut-balik

##### 1) Status Pohon

Status pada pohon atau simpul-simpul pada pohon pencarian merepresentasikan nada-nada yang mencakup semua nada pada rentang suara semua golongan suara.

H adalah himpunan status daun pada pohon.

$H = \{ C_2, D_2, E_2, F_2, G_2, A_2, B_2, C_3, D_3, E_2, F_3, G_3, A_3, B_3, C_4, D_4, E_4, F_4, G_4, A_4, B_4, C_5, D_5, E_5, F_5, G_5, A_5, B_5, C_6 \}$

Dengan akar pohon  $C_4$  (*middle C*) sebagai nada universal dari semua golongan suara.

##### 2) Solusi Persoalan

S adalah himpunan solusi dari pohon pencarian.

$S = \{ \text{Sopran1, Sopran2, Alto1, Alto2, Tenor1, Tenor2, Bass1, Bass2} \}$

Pada dunia paduan suara, kadang dibutuhkan dua jenis sopran dengan Sopran1 adalah sopran yang mengambil nada lebih rendah dari Sopran1, tetapi tidak termasuk Alto.

Begitu pula dengan pembagian dua bagian pada golongan suara lainnya.

##### 3) Fungsi Pembangkit

Misalkan fungsi pembangkit untuk membangkitkan setiap simpul pada pohon adalah  $F(k)$ .

##### 4) Fungsi Pembatas

Fungsi pembatas disini tidak bisa dituliskan secara matematis, melainkan proses menuju simpul satu dan lainnya yang menentukan salah solusi dari himpunan solusi adalah kemampuan seorang mencapai suatu nada dengan suara asli (bukan *head voice* atau *false*).

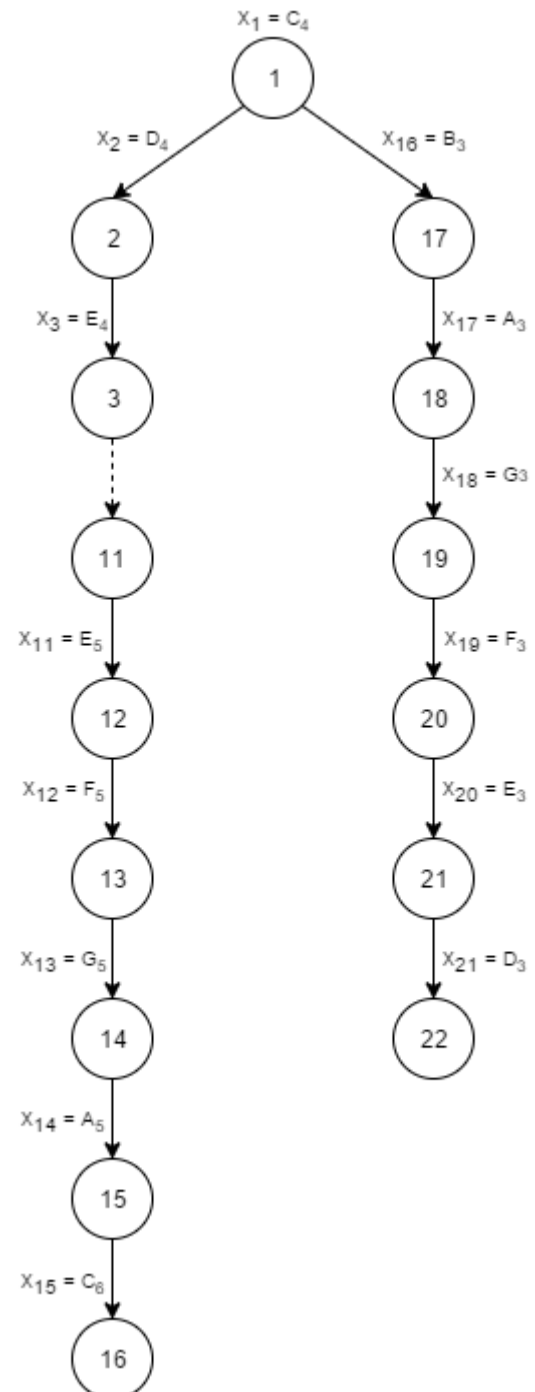
Setiap simpul pada pohon mempunyai parameter *true* dan *false* yang berarti orang tersebut mampu mengambil nada yang sedang diujikan.

$B(\text{true}, \text{false})$

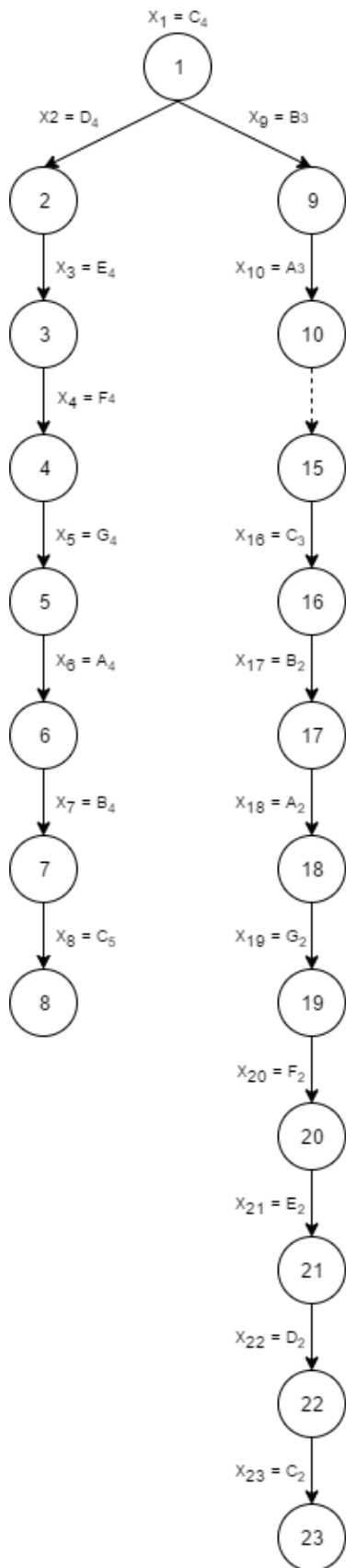
#### B. Penentuan Golongan Suara Menggunakan Algoritma Runut-balik

Penjelahan dimulai dari simpul akar yaitu dengan  $x_1 = C_4$  sebagai nada universal bagi semua golongan suara.  $C_4$  diambil karena nada tersebut ada disemua golongan suara yang telah dijelaskan sebelumnya.

Berikut adalah pohon status persoalan dari penjelahan golongan suara:



Gambar 9. Contoh pohon pencarian solusi (wanita)



Gambar 10. Contoh pohon pencarian solusi (pria)

Dua contoh pohon pencarian sebelumnya bisa berubah karena pencarian pada metode ini termasuk dalam pohon dinamis dengan *uninformed search*. Jadi bisa berubah setiap saat tergantung skenario yang terjadi dilapangan.

C. Contoh Kasus Penentuan Golongan Suara

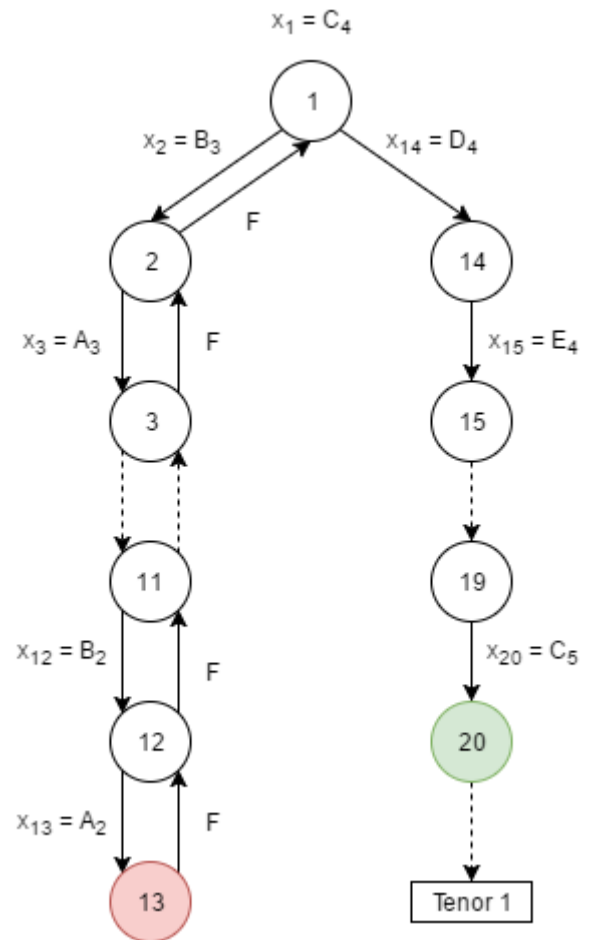
Dengan prekondisi orang yang akan melakukan ambitus sudah mempunyai asumsi golongan suaranya, contoh:

Seseorang sudah pernah mengikuti paduan suara sebelumnya yaitu tenor dan ingin mencoba ambitus ulang untuk mencari golongan suara yang baru karena dia mengalami pubertas dan suaranya berubah.

Berikut dijabarkan 3 studi kasus menggunakan pohon pencarian solusi yang sudah dibuat.

1) Contoh 1

Seseorang dengan latar belakang tenor, ingin mencoba ambitus. Setelah dicoba ternyata dia sanggup sampai F<sub>4</sub> pada batas atas dan A<sub>2</sub> pada batas bawah.

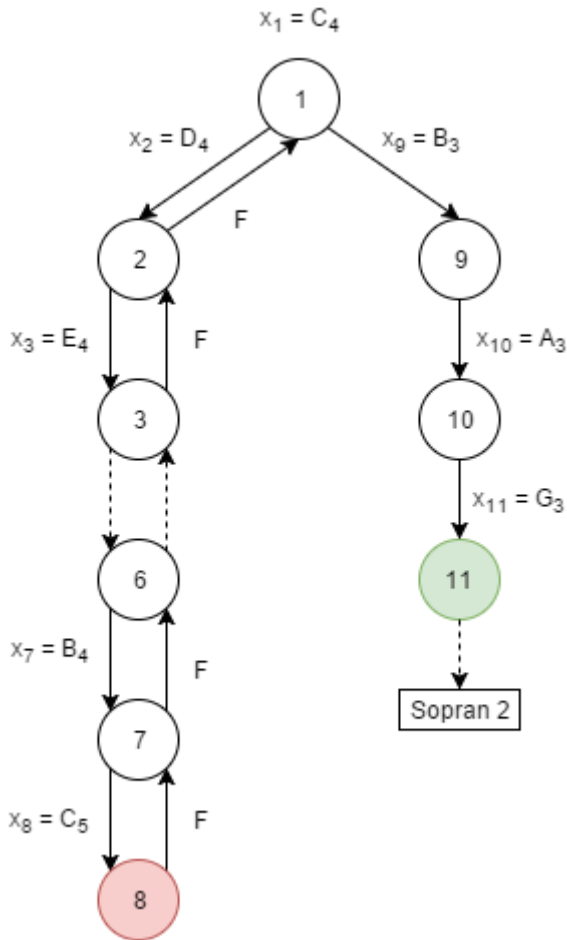


Gambar 11. Pohon pencarian solusi contoh 1

Hasil menunjukkan bahwa orang ini masuk dalam golongan suara tenor1 karena suaranya cenderung tinggi, walaupun tidak mampu mencapai nada batas atas C<sub>5</sub>. Rentang suaranya masih dalam rentang tenor1.

2) Contoh 2

Seseorang dengan latar belakang sopran, ingin mencoba ambitus. Setelah dicoba ternyata dia sanggup sampai  $A_5$  pada batas atas dan  $G_3$  pada batas bawah.



Gambar 12. Pohon pencarian solusi contoh 2

Hasil menunjukkan bahwa orang ini masuk dalam golongan suara sopran2 karena suaranya cenderung tinggi, tetapi mampu mencapai beberapa nada alto. Jadi, dia golongkan dalam golongan suara sopran2, pembatas antara sopran1 dan alto1, atau bisa disebut juga *mezosoprano*.

D. Analisis Skenario

Dalam pengambilan keputusan, selama rentang suara sebagian besar masih dalam rentang yang sudah ditentukan, orang tersebut akan masuk dalam golongan suara tersebut. Walaupun dalam proses pengujian orang tersebut tidak menyentuh batas atas rentang, ataupun melebihi batas rentang sedikit dan sebaliknya. Pengambilan keputusan juga mempertimbangkan hal-hal lain seperti warna suara, orang dengan warna suara berat, tetapi bisa menembak nada tinggi dalam rentang sopran, masih akan masuk dalam golongan suara sopran, bukan alto. Begitu pula dengan pria yang suaranya tinggi namun warna suaranya lebih bagus jika dinyanyikan pada nada bass dan dia mampu, maka dia akan masuk pada golongan

suara bass. Pengambilan keputusan juga tergantung pada hal-hal eksternal lain seperti pertimbangan lain pengujian ambitus.

IV. SIMPULAN

Manusia diciptakan dengan keunikannya sendiri-sendiri. Salah satu hal unik yang dimiliki manusia yaitu warna suara. Dari warna suara itu dapat ditentukan tipe suara atau golongan suaranya berdasarkan pada rentang nada yang bisa diambil oleh orang tersebut melalui ambitus yaitu proses penentuan golongan suara. Golongan suara pada dunia paduan suara dibedakan menjadi sopran, alto, tenor, dan bass. Sopran dan alto adalah golongan suara pada wanita, sedangkan tenor dan bass adalah golongan suara pada pria.

Penentuan golongan bisa dilakukan menggunakan penjelajahan graf menggunakan algoritma runut-balik atau disebut juga algoritma *backtracking* yang berprinsip pada penjelajahan dengan metode DFS (Depth-first Search). Dengan simpul-simpul daun yang merepresentasikan nada, penjelajahan bisa dilakukan dimulai dari simpul akar sebagai nada universal semua golongan suara.

Seseorang yang dulunya sopran, contoh sopran1, belum tentu akan menjadi sopran1 lagi karena golongan suara sifatnya tidak tentu, ada faktor usia dan lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada dosen pengajar kelas 1 yaitu Ibu Dr. Masayu Leyla Khodra S.T, M.T atas pengajaran materinya serta dosen pembimbing Strategi Algoritma Bapak Dr. Ir. RIL'13 yang telah membantu memberi Rinaldi Munir, M.T. Ucapan terimakasih juga diberikan kepada Joshua Atmadja IF'14 dan Dimas Bimo M. sudah menambah referensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munir, Rinaldi. 2004. Diktat IF2211 Strategi Algoritma. Bandung.
- [2] Stark, James. 2003. Bel Cantos: A History of Vocal Pedagogy. University of Toronto Press.

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, 18 Mei 2017

Stevanno Hero Leadervand, 13515082