

Penerapan Pewarnaan Simpul Graf dengan Algoritma Welch Powell dan Algoritma Depth First Search pada Distribusi Giliran Main Angklung

Fithratulhay Pribadi

Program Studi Teknik Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganeca 10 Bandung
40132, Indonesia
13517140@std.stei.itb.ac.id

Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T.

Program Studi Teknik Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganeca 10 Bandung
40132, Indonesia
rinaldi@informatika.org

Abstract—Angklung merupakan salah satu alat musik tradisional Indonesia. Karena satu angklung hanya dapat memainkan satu nada, untuk memainkan sebuah lagu utuh dengan angklung dibutuhkan sebuah tim dengan jumlah pemain sekitar 10 hingga 40 orang yang memegang satu atau lebih angklung. Pengaturan giliran main pada sebuah lagu sehingga pemain tahu pada ketukan keberapa dan nada apa ia harus bermain dapat disebut sebagai distribusi giliran main angklung. Pada saat ini, masih sering terdapat kesenjangan jumlah giliran main antarpemain karena ada tahap distribusi yang bergantung pada intuisi orang yang melakukannya. Penelitian-penelitian yang berkaitan pun masih belum dapat menjawab masalah ini. Untuk itu, diperlukan modifikasi dari metode yang sudah ada sebelumnya untuk mengatasi masalah tersebut. telah dibuat sebuah aplikasi untuk melakukan proses distribusi giliran main angklung yang memanfaatkan pewarnaan graf dengan algoritma Welch Powell dan algoritma Depth First Search. Pewarnaan graf bertujuan membagi giliran main ke dalam kelompok dimana tidak ada giliran main lain yang harus dimainkan pada saat bersamaan (bentrok). Setelahnya, algoritma Depth First Search akan mengoptimasi jumlah ketukan pada setiap kelompok. Kesimpulan yang didapatkan setelah pengujian adalah aplikasi mampu membuat proses distribusi menjadi lebih efisien dan cukup memuaskan. Namun, masih diperlukan adanya perbaikan karena ada beberapa aspek yang belum dijadikan parameter pada aplikasi.

Keywords— *angklung; pewarnaan graf; Depth First Search*

I. PENDAHULUAN

Angklung merupakan salah satu alat musik tradisional Indonesia yang berasal dari Tanah Sunda [7]. Berbeda dengan alat musik pada umumnya yang dapat membunyikan seluruh nada pada satu alat, satu angklung hanya dapat membunyikan satu nada. Oleh karena itu, untuk memainkan sebuah lagu utuh dengan angklung dibutuhkan sebuah tim dengan jumlah pemain sekitar 10 hingga 40 orang yang memegang satu atau lebih angklung. Setiap pemain akan bermain sesuai gilirannya masing-masing. Pengaturan giliran main pada sebuah lagu sehingga pemain tahu pada ketukan keberapa dan nada apa ia harus bermain dapat disebut sebagai distribusi giliran main angklung.

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan penulis pada tim angklung KPA-ITB, kriteria ideal dalam melakukan distribusi giliran main angklung adalah membuat setiap pemain pada suatu tim memiliki jumlah giliran main yang mendekati rata-rata jumlah giliran main pada tim tersebut dan meminimalkan jumlah angklung yang dipegang pemain. Pemain yang mendapat giliran main terlalu sedikit dapat merasa tidak senang karena banyak menganggur, sedangkan pemain yang bermain terlalu banyak mendapat beban berlebih yang seharusnya dapat diberikan kepada pemain yang bermain terlalu sedikit. Memberi banyak angklung kepada seorang pemain tidak serta merta membuat jumlah giliran main menjadi lebih banyak, karena bisa saja terjadi bentrok. Bentrok adalah kondisi dimana terdapat lebih dari satu angklung yang harus dimainkan bersamaan atau berdekatan sehingga ada angklung yang harus dikorbankan dalam arti tidak dapat dimainkan [3]. Selain itu, jumlah angklung yang dipegang setiap pemain juga perlu diminimalkan untuk meringankan beban yang dibawa pemain dalam penampilan.

Distribusi giliran main angklung yang ada saat ini sudah diusahakan untuk mencapai kondisi ideal. Namun pada praktiknya di lapangan, masih sering terdapat kesenjangan jumlah giliran main antarpemain karena masih ada tahap yang bergantung pada intuisi orang yang melakukannya. Oleh karena itu, perlu dicari solusi agar hasil dari distribusi giliran main angklung lebih mendekati kondisi ideal dimana setiap pemain pada suatu tim memiliki jumlah giliran main yang mendekati rata-rata jumlah giliran main pada tim tersebut. Sebelumnya, telah terdapat penelitian-penelitian yang berkaitan dengan distribusi giliran main angklung dan mempunyai kelebihan masing-masing. Namun, hasil dari penelitian-penelitian tersebut masih sangat memungkinkan kesenjangan giliran main antarpemain terjadi.

Permasalahan ini dapat dicoba untuk diselesaikan dengan pewarnaan simpul graf untuk mengelompokkan giliran main yang tidak bentrok. Giliran main yang ada dalam satu kelompok adalah giliran main yang dimiliki oleh satu pemain. Pewarnaan simpul graf dipilih karena jumlah kelompok (pemain) yang dihasilkan dengan pewarnaan simpul graf adalah jumlah minimal, sehingga diharapkan program dapat digunakan untuk tim angklung yang jumlah pemainnya sedikit.

Namun, jika hanya mengandalkan pewarnaan simpul graf, tetap dapat terjadi ketidakseimbangan jumlah giliran main antarpemain. Selain itu, karena yang dibagi adalah giliran main, satu pemain bisa saja memegang sangat banyak angklung. Oleh karena itu, perlu dilakukan algoritma Depth First Search untuk mengurangi jumlah angklung dan menyeimbangkan jumlah giliran main antarpemain dengan tetap memastikan tidak ada giliran main yang kosong (tidak dimainkan oleh siapapun) ataupun bentrok.

II. DASAR TEORI

A. Angklung

Angklung merupakan salah satu alat musik tradisional Indonesia yang berasal dari Tanah Sunda (Kemendikbud, 2015). Alat musik ini terbuat dari bambu dan dimainkan dengan cara digoyangkan. Ilustrasi sebuah angklung dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr. 1. Ilustrasi Angklung [1]

Pada tahun 1983, terdapat inovasi perubahan nada-nada angklung yang tadinya berlaras pentatonik menjadi diatonik (do-re-mi-fa-sol-la-si-do). Dengan adanya inovasi ini, angklung dapat memainkan bermacam-macam jenis musik karena sudah disesuaikan dengan tangga nada diatonik yang umum dipakai di seluruh dunia. Angklung diatonik juga dikenal sebagai Angklung Padaeng karena pertama kali dibuat dan dikembangkan oleh seorang tokoh bernama Daeng Soetigna.

Partitur angklung pada umumnya ditulis menggunakan nada relatif. Nada relatif adalah nada yang frekuensinya bisa berubah-ubah tergantung pada nada dasarnya. Nada relatif biasa ditulis dalam bentuk angka yang dibaca sebagai do, re, mi, fa, sol, la, dan si. Kenaikan setengah nada akan diberi tanda “/”, sedangkan penurunan setengah nada akan diberi tanda “\”. Setiap berganti ke oktaf yang lebih tinggi, akan ditambahkan satu titik di atas nada tersebut, begitu pula saat berganti ke oktaf yang lebih rendah, akan ditambahkan satu titik di bawahnya. Mengambil referensi dari Keluarga Paduan Angklung Institut Teknologi Bandung (KPA-ITB), partitur ditulis menggunakan Microsoft Excel. Satu sel pada Microsoft Excel bermakna satu ketukan. Jika hanya terdapat satu nada pada satu sel, berarti nada tersebut dimainkan sebanyak 1 ketukan. Jika setelah sel tersebut diisi dengan tanda titik (“.”), berarti nada tersebut dipanjangkan sebanyak ketukan pada titik tersebut. Satu garis yang tertulis di atas nada (contoh : $\overline{4}$) menandakan nada tersebut dimainkan sebanyak setengah ketuk, sedangkan dua garis (contoh : $\overline{\overline{3}}$) menandakan nada dimainkan sebanyak seperempat ketuk

B. Distribusi Giliran Main Angklung

Distribusi giliran main angklung merupakan pengaturan giliran main pada sebuah lagu sehingga pemain tahu pada ketukan keberapa dan nada apa ia harus bermain. Pengaturan giliran main ini harus memenuhi kriteria tertentu untuk mencapai hasil yang ideal. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan penulis pada tim angklung KPA-ITB, kriteria ideal dalam melakukan distribusi giliran main angklung adalah membuat setiap pemain pada suatu tim memiliki jumlah giliran main yang mendekati rata-rata jumlah giliran main pada tim tersebut dan meminimalkan jumlah angklung yang dipegang pemain. Pemain yang mendapat giliran main terlalu sedikit dapat merasa tidak senang karena banyak menganggur, sedangkan pemain yang terlalu banyak bermain mendapat beban berlebih yang seharusnya dapat diberikan kepada pemain yang terlalu sedikit bermain. Memberi banyak angklung kepada seorang pemain tidak serta merta membuat jumlah giliran main menjadi lebih banyak, karena bisa saja terjadi bentrok.

Bentrok adalah kondisi dimana terdapat lebih dari satu angklung yang harus dimainkan bersamaan atau berdekatan sehingga ada angklung yang harus dikorbankan dalam arti tidak dapat dimainkan [3]. Pada partitur, bentrok dapat terlihat jika pasangan angklung tertulis pada kolom yang sama (dimainkan pada ketukan yang sama) atau saling bersebelahan (dimainkan sebelum atau sesudahnya). Sebagai contoh, dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa angklung n pada cell yang diberi warna abu akan bentrok dengan angklung lain pada cell yang diberi warna merah. Selain itu, jumlah angklung yang dipegang setiap pemain juga perlu diminimalkan untuk meringankan beban yang dibawa pemain dalam penampilan

$\overline{\overline{55}}$	0		4	3	$\overline{25}$
$\overline{55}$	0		4	3	$\overline{25}$
.	2	.	6	5	2
.	7	.	1	2	7
.	5	.	1	5	5

Gbr. 2. Contoh Bentrok

Pada KPA-ITB, distribusi giliran main angklung diterapkan melalui beberapa tahap. Tahap-tahap tersebut yaitu melakukan tonjur, membuat distribusi angklung, dan Koordinasi antara pemain dengan pelatih dan sesama pemain dalam menentukan giliran main.

Tonjur adalah cara untuk menghitung bermainnya angklung dalam suatu lagu. Pada awalnya, tonjur dilakukan secara manual dengan cara menyimpan informasi kebentrokkan antar nada pada suatu lagu dalam tabel berbentuk segitiga. Jika terdapat bentrok, maka kotak antara dua nada yang bentrok diberi warna hitam [5]. Sejak tahun 2015, KPA-ITB telah mengembangkan aplikasi untuk melakukan tonjur secara otomatis dengan platform Microsoft Excel. Dengan aplikasi tersebut, penonjur cukup memasukkan partitur. Setelah itu, program akan menghasilkan tabel yang memberitahu angklung mana saja yang saling bentrok.

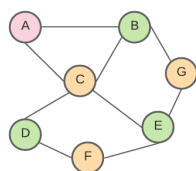
Distribusi angklung bermakna konfigurasi pembagian angklung untuk seluruh pemain dalam satu tim angklung [3]. Pada saat ini, proses distribusi angklung masih dilakukan secara manual mengandalkan intuisi pendistribusi. Untuk melakukan distribusi angklung, pendistribusi akan melihat hasil dari tonjur terlebih dahulu. Setelah itu, pendistribusi akan membagi angklung yang dimainkan ke setiap pemain dengan tujuan setiap pemain dapat bermain sebanyak-banyaknya dengan jumlah bentrok yang sedikit.

Proses distribusi giliran main belum selesai sampai di situ. Sebagai usaha untuk membuat setiap pemain bermain sebanyak-banyaknya, seringkali pemain akan mendapat pasangan angklung yang saling bentrok pada beberapa giliran main. Karena itu, tetap harus terdapat koordinasi baik antara pemain dengan pelatih ataupun sesama pemain yang memegang angklung yang sama untuk mengetahui angklung apa yang harus diprioritaskan pada saat terjadi bentrok.

Pada distribusi giliran main angklung yang dilakukan secara manual, usaha-usaha untuk mencapai kondisi ideal telah dilakukan. Namun pada praktiknya di lapangan, masih sering terdapat kesenjangan jumlah giliran main antarpemain karena tahap membuat distribusi angklung dan koordinasi setelahnya masih bergantung pada intuisi orang yang melakukannya. Oleh karena itu, perlu dicari solusi agar masalah ini dapat diselesaikan sehingga hasil dari distribusi giliran main angklung lebih mendekati kondisi ideal dimana setiap pemain pada suatu tim memiliki jumlah giliran main yang mendekati rata-rata jumlah giliran main pada tim tersebut.

C. Pewarnaan Simpul Graf

Terdapat tiga macam persoalan pewarnaan graf, salah satunya adalah pewarnaan simpul graf. Pewarnaan simpul graf merupakan pemberian warna pada simpul graf, sedemikian rupa sehingga dua simpul yang bertetangga memiliki warna yang berbeda [8]. Jumlah minimal dari banyaknya warna yang dibutuhkan untuk mewarnai graf G disebut dengan bilangan kromatik dan dapat dilambangkan dengan $\chi(G)$ [9]. Tujuan dari pewarnaan simpul graf merupakan pencarian bilangan kromatik tersebut. Contoh hasil pewarnaan simpul graf dapat dilihat pada Gambar 3.



Gbr. 3. Contoh Hasil Pewarnaan Simpul Graf

D. Algoritma Welch Powell

Distribusi giliran main angklung merupakan merupakan pengaturan giliran main pada sebuah lagu sehingga pemain tahu pada ketukan keberapa dan nada apa ia harus bermain. Pengaturan giliran main ini harus memenuhi kriteria tertentu

Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan pewarnaan simpul graf merupakan Algoritma Welch Powell. Untuk dapat menggunakan algoritma ini, perlu diketahui terlebih dahulu matriks adjacency dan derajat simpul.

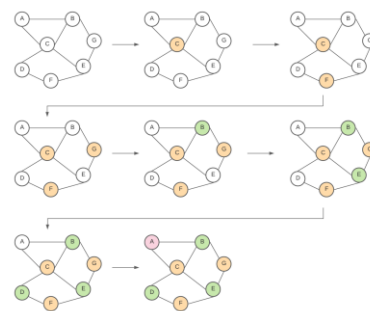
Matriks adjacency adalah matriks yang merepresentasikan status ketetanggaan antar simpul dalam sebuah graf. Pada sebuah matriks adjacency M , nilai tiap $M[i, j]$ merupakan hasil persamaan 1.

$$M[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat sisi yang menghubungkan simpul } i \text{ dengan simpul } j \\ 0, & \text{sebaliknya} \end{cases} \quad (1)$$

Setelah diketahui matriks adjacency suatu graf beserta derajat tiap simpulnya, Algoritma Welch Powell dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Aslan & Baykan, 2016) :

1. Urutkan simpul dari derajat terbesar menuju derajat terkecil.
2. Beri warna pada simpul dengan derajat terbesar yang belum memiliki warna.
3. Cari simpul yang belum diberi warna dari matriks adjacency dimana simpul tersebut tidak bertetangga dengan simpul yang diberi warna pada langkah nomor 2 dan masukkan simpul-simpul tersebut ke dalam sebuah himpunan V' .
4. Beri warna pada simpul dengan derajat tertinggi dalam himpunan V' dengan warna yang sama pada langkah 2 dan hapus simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul tersebut dari himpunan V' . Ulangi langkah ini hingga simpul yang ada dalam himpunan V' sudah diberi warna semua.

Jika terdapat simpul yang masih belum memiliki warna, ulangi langkah 2 hingga 4 dengan warna yang baru. Jika semua simpul sudah memiliki warna, maka proses pewarnaan simpul graf telah selesai. Contoh proses pewarnaan simpul graf dengan algoritma Welch Powell dapat dilihat pada Gambar 4.



Gbr. 4. Contoh Proses Pewarnaan Simpul Graf dengan Algoritma Welch Powell

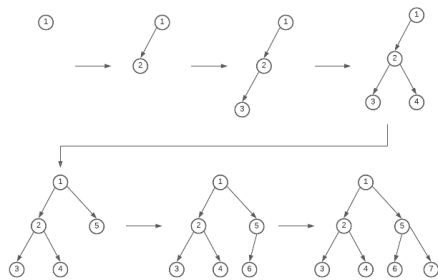
E. Pencarian Solusi

Ada banyak persoalan yang dapat direpresentasikan dengan graf. Pada umumnya, struktur yang banyak digunakan adalah pohon berakar. Pohon adalah graf tak-berarah terhubung yang tidak mengandung sirkuit, dan pohon berakar adalah pohon yang sebuah simpulnya diperlakukan sebagai akar dan sisi-sisinya diberi arah menjauh dari akar [8]. Pencarian solusi persoalan dilakukan dengan mengunjungi atau menelusuri simpul-simpul pada pohon. Dilakukan pengecekan pada setiap simpul untuk memastikan apakah solusi telah tercapai. Jika solusi sudah tercapai, maka proses penelusuran dihentikan. Jika

solusi belum tercapai, dilakukan pengecekan pada simpul berikutnya. Pada umumnya, pohon dibentuk secara dinamis selama pencarian solusi berlangsung.

F. Algoritma Depth First Search

Algoritma Depth First Search, yang biasa disingkat menjadi DFS, merupakan algoritma pencarian pencarian solusi pada sebuah pohon yang menelusuri satu cabang sebuah pohon sampai menemukan solusi yang diinginkan [4]. Algoritma ini akan menelusuri node paling kiri dari setiap level. Jika node paling kiri pada level terdalam bukan merupakan solusi, maka pencarian dilanjutkan ke node yang ada di kanannya. Jika solusi masih juga belum ditemukan, maka pencarian akan kembali menuju level sebelumnya. Proses tersebut akan terus diulang hingga menemukan solusi. Gambaran tahapan pembentukan pohon DFS dapat dilihat pada Gambar 5.



Gbr. 5. Tahapan Pembentukan Pohon DFS

Terdapat dua kelebihan algoritma DFS [2]:

1. Memori yang dibutuhkan lebih kecil karena hanya menyimpan jalur menuju simpul yang masih aktif.
2. Pada pohon dengan banyak percabangan, algoritma DFS memungkinkan ditemukannya solusi tanpa menguji banyak jangkauan pencarian karena tidak perlu menguji seluruh simpul pada level tertentu

G. Penelitian Model Matematika dalam Menentukan Distribusi Angklung pada Suatu Penampilan

Distribusi giliran main angklung merupakan merupakan pengaturan giliran main pada sebuah lagu sehingga pemain tahu pada ketukan beberapa dan nada apa ia harus bermain. Pengaturan giliran main ini harus memenuhi kriteria tertentu

Penelitian Model Matematika Dalam Menentukan Distribusi Angklung Pada Suatu Penampilan dilakukan oleh Riska Aditya Puspa Kania pada tahun 2011 [6]. Penelitian ini berusaha melakukan automasi proses tonjur dan distribusi angklung dengan permodelan graf. Pada model graf yang digunakan, simpul mewakili nomor angklung dan sisi mewakili kebentrokan.

Proses tonjur dilakukan dengan membuat matriks ketetanggaan dari model graf yang dibentuk di awal. Setelah didapatkan matriks ketetanggaan, dilakukan proses distribusi angklung dengan memanfaatkan proses pewarnaan simpul graf. Minimum warna yang digunakan merepresentasikan jumlah pemain minimum yang dibutuhkan.

Pada penelitian ini, tahap koordinasi antara pemain dengan pelatih dan sesama pemain dalam menentukan giliran main tidak lagi diperlukan karena pasangan angklung yang diberikan kepada pemain sudah pasti tidak bentrok dan dapat dimainkan seluruhnya sepanjang lagu. Namun, karena proses-proses tersebut hanya mempertimbangkan kebentrokan pasangan angklung sepanjang lagu, kesenjangan jumlah giliran main antarpemain masih mungkin terjadi.

III. ANALISIS SOLUSI DAN PERANCANGAN SISTEM

A. Analisis Solusi

Sebelumnya, dalam dasar teori, telah dijelaskan salah satu penelitian terkait yaitu Model Matematika dalam Menentukan Distribusi Angklung pada Suatu Penampilan [6]. Dari penelitian tersebut, dianalisis bahwa meskipun berhasil melakukan automasi, metode ini membuat kesenjangan jumlah giliran main antarpemain masih sangat mungkin terjadi. Sebagai contoh, pemain yang mendapat pasangan angklung yang bermain penuh selama satu lagu akan otomatis mendapat giliran main yang terlalu banyak.

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dapat dilakukan modifikasi dengan membuat sistem yang mengelompokkan bukan berdasarkan kebentrokan nomor angklung, melainkan kebentrokan giliran main. Metode pengelompokkan yang direncanakan pada solusi ini tetap menggunakan pewarnaan graf. Algoritma yang akan digunakan pada pewarnaan graf tersebut adalah algoritma Welch Powell. Dengan mengelompokkan berdasarkan kebentrokan giliran main, nomor angklung yang bermain penuh selama satu lagu nantinya dapat dibagi giliran mainnya kepada beberapa pemain, sehingga jumlah giliran main akan menjadi lebih seimbang.

Setelah dikelompokkan, diperlukan adanya penyeimbangan jumlah giliran main antarpemain dan proses yang meminimalkan jumlah nada (angklung) yang dipegang oleh tiap pemain. Untuk proses ini, algoritma yang direncanakan untuk digunakan adalah algoritma Depth First Search. Dengan begitu, akan dihasilkan kelompok giliran main dengan jumlah giliran main antarkelompok yang seimbang dan jumlah angklung yang minimal pada tiap kelompok. Kelompok giliran main inilah yang akan dibagikan kepada setiap pemain.

B. Deskripsi Solusi

Proses penyusunan distribusi giliran main angklung akan dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menerima masukan partitur lagu, jumlah maksimal pemain angklung, dan jumlah maksimal angklung yang dipegang masing-masing pemain.

Partitur lagu dibutuhkan karena hasil distribusi giliran main angklung akan berbeda pada setiap lagu. Contoh partitur yang menjadi masukan dapat dilihat pada Gambar III.1. Untuk langkah selanjutnya, contoh yang diberikan akan mengacu pada contoh partitur tersebut. Jumlah maksimal pemain dibutuhkan agar distribusi yang dihasilkan tidak melebihi kapasitas bermain suatu tim, sedangkan jumlah maksimal

angkung yang dipegang pemain dibutuhkan untuk menghindari kejadian pemain memegang terlalu banyak anklung. Untuk langkah selanjutnya, jumlah maksimal pemain diasumsikan 5 dan jumlah maksimal anklung setiap pemain diasumsikan 3.

2	.	.	.	3	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	6	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

Gbr. 6. Contoh Masukan Partitur

- Memindai partitur untuk mengetahui data giliran main dan kebentrokkan antar giliran main yang ada.

Pada tahap ini, dilakukan pencatatan seluruh giliran main yang ada pada partitur yang menjadi masukan. Bentuk dari giliran main adalah objek yang berisi informasi nada yang dimainkan, pada ketukan keberapa ia mulai bermain, dan berapa ketukan nada tersebut dimainkan.

Proses pemindaian partitur dilakukan dengan cara mengecek setiap cell pada partitur tersebut dimulai dari cell paling kiri atas yang dianggap sebagai ketukan pertama. Jika panjang string pada cell tersebut adalah satu (hanya ada satu nada pada cell), maka didata giliran main dengan nada berupa string tersebut dan panjang ketukannya adalah satu. Jika panjang string lebih dari satu, maka dilakukan pemrosesan setiap dua karakter, dengan karakter pertama adalah representasi panjang ketukan dan karakter kedua adalah nada. Giliran main yang diawali dengan karakter '-' memiliki panjang ketukan 0,5, sedangkan giliran main yang diawali dengan karakter '=' memiliki panjang ketukan 0,25. Pengecekan dilakukan berulang hingga mencapai akhir dari partitur. Contoh hasil pendataan giliran main dapat dilihat pada Tabel I. Proses ini dapat digambarkan secara singkat dengan bentuk pseudo-code sederhana sebagai berikut:

```
function processPartitur(input sheet : Sheet, output
kumpulan_giliran_main : Array of GiliranMain)

kumpulan_giliran_main = []
for (row in sheet)
  start_beat <- 1

  for (cell in row)
    giliran_main <- {}

    if (len(cell) = 1)
      giliran_main.nada <- cell
      giliran_main.panjang_ketukan <- 1
      giliran_main.ketukan_mulai <- start_beat
      kumpulan_giliran_main.append(giliran_main)
      start_beat <- start_beat + 1
    else
      while (len(cell) > 0)
        symbol_ketukan <- cell[0]
        nada <- cell[1]

        if (symbol_ketukan = '-')
          giliran_main.panjang_ketukan <- 0.5
        if (symbol_ketukan = '=')
          giliran_main.panjang_ketukan <- 0.25
        endif

        giliran_main.nada <- nada
        giliran_main.ketukan_mulai <- start_beat
        kumpulan_giliran_main.append(giliran_main)
        start_beat <- start_beat +
          giliran_main.panjang_ketukan
      endwhile
    endif
  endfor
```

```
endfor
return kumpulan_giliran_main
```

Setelah terdapat data giliran main, dilakukan pencatatan kebentrokkan antar giliran main. Contoh data kebentrokkan giliran main dapat dilihat pada Tabel II. Setiap giliran main akan dianggap bentrok dengan giliran main yang dimainkan pada ketukan yang sama, pada ketukan sebelumnya, atau pada ketukan setelahnya. Proses ini dapat digambarkan secara singkat dengan bentuk pseudo-code sebagai berikut:

```
function detectBentrok(input kumpulan_giliran_main :
Array of GiliranMain, output graph : Array of Array
of Integer)

graph <- []
for (giliran_main_1 in kumpulan_giliran_main)
  bentrok <- []
  nada_giliran_main_1 <- giliran_main_1.nada
  start_giliran_main_1 <- giliran_main_1.ketukan_mulai
  end_giliran_main_1 <- start_giliran_main_1 +
    giliran_main_1.panjang_ketukan

  for (giliran_main_2 in kumpulan_giliran_main)
    nada_giliran_main_2 <- giliran_main_2.nada
    start_giliran_main_2 <-
      giliran_main_2.ketukan_mulai
    end_giliran_main_2 <- start_giliran_main_2 +
      giliran_main_2.panjang_ketukan

    if ((nada_giliran_main_1 != nada_giliran_main_2)
      && ((start_giliran_main_1 >= start_giliran_main_2)
      && (start_giliran_main_1 <= end_giliran_main_2)) ||
      ((end_giliran_main_1 >= start_giliran_main_2) &&
      (end_giliran_main_1 <= end_giliran_main_2)) ||
      ((start_giliran_main_2 >= start_giliran_main_1) &&
      (start_giliran_main_2 <= end_giliran_main_1)) ||
      ((end_giliran_main_2 >= start_giliran_main_1) &&
      (end_giliran_main_2 <= end_giliran_main_1)) ||
      ))
      bentrok.append(1)
    else
      bentrok.append(0)
    endif
  endfor

  graph.append(bentrok)
endfor

return graph
```

TABEL I. CONTOH DATA GILIRAN MAIN

Nada	Giliran Main		Simbol Giliran Main
	Ketukan Mulai	Jumlah Ketukan	
2	1	4	A
3	5	4	B
1	9	2	C
7	11	2	D
1	13	4	E
2	17	2	F
3	19	1	G
2	20	1	H
7	1	4	I
6	5	4	J
4	9	2	K
5	11	2	L
6	13	4	M
7	17	2	N
1	19	1	O
7	20	1	P

- Mengelompokkan giliran main yang tidak bentrok menggunakan pewarnaan graf dengan algoritma Welch Powell.

TABEL II. CONTOH DATA KEBENTROKAN

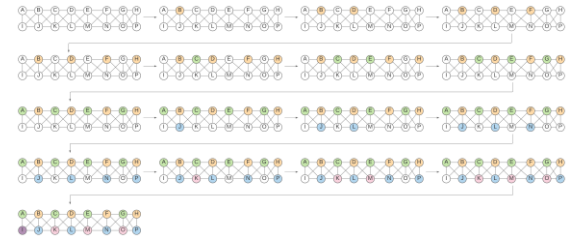
Simbol	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
B	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
C	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
D	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
E	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
F	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
I	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
J	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
K	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
L	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
M	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
N	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
O	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
P	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Setelah terdapat data giliran main, dilakukan pengelompokan giliran main yang tidak bentrok menggunakan pewarnaan graf dengan algoritma Welch Powell. Detail dari tahap ini adalah sebagai berikut :

- Merepresentasikan data giliran main beserta kebentrokannya ke dalam bentuk graf, dengan simpul mewakili data giliran main dan sisi mewakili kebentrokannya antar giliran main.
- Mengurutkan simpul dari derajat terbesar menuju derajat terkecil.
- Memberi warna baru pada simpul dengan derajat terbesar yang belum memiliki warna.
- Mencari simpul yang belum diberi warna dari matriks *adjacency* dimana simpul tersebut tidak bertetangga dengan simpul yang diberi warna pada langkah poin c dan masukkan simpul-simpul tersebut ke dalam sebuah himpunan V' .
- Memberi warna pada simpul dengan derajat tertinggi dalam himpunan V' dengan warna yang sama pada langkah poin c dan hapus simpul-simpul yang bertetangga dengan simpul tersebut dari himpunan V' . Jika kelompok warna sudah memiliki jumlah maksimal nada (angklung) yang telah ditentukan maka simpul dengan nada yang belum terdapat pada kelompok warna juga dihapus dari himpunan V' .
- Mengulangi langkah pada poin e hingga simpul yang ada dalam himpunan V' sudah diberi warna semua.

Jika masih terdapat simpul yang belum memiliki warna, maka langkah poin c hingga poin f terus diulang. Jika semua simpul sudah memiliki warna, maka tahap pengelompokan giliran main yang tidak bentrok selesai. Contoh proses pengelompokan giliran main dapat dilihat pada Gambar 7. Dengan prinsip pewarnaan graf, pasangan giliran main yang diberi

warna yang sama adalah pasangan giliran main yang tidak bentrok sepanjang lagu.



Gbr. 7. Contoh Pengelompokan Giliran Main

4. Penyeimbangan jumlah giliran main dan meminimalan jumlah nada (angklung) pada setiap kelompok dengan algoritma Depth First Search.

Setelah dihasilkan kelompok-kelompok giliran main yang tidak bentrok, dilakukan penyeimbangan jumlah giliran main dan meminimalan jumlah nada pada setiap kelompok dengan penelusuran pohon pencarian solusi yang dibentuk secara dinamis dengan algoritma Depth First Search. Pada pohon pencarian tersebut, dilakukan pemindahan giliran main dengan tetap memastikan tidak ada bentrok yang terjadi. Detail dari tahap ini adalah sebagai berikut:

- Mendata jumlah ketukan serta nada yang ada di setiap kelompok giliran main dan menghitung rata-rata jumlah ketukan.
- Menambah giliran main opsional pada tiap kelompok giliran main. Giliran main opsional adalah giliran main yang tidak wajib dimainkan, namun dapat dimainkan karena memiliki nada (angklung) yang sama dengan giliran main utama yang dibagikan pada pewarnaan graf. Penambahan giliran main opsional dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Total ketukan pada kelompok tersebut belum melebihi rata-rata yang didapat pada poin a.
 - Giliran main tidak bentrok dengan giliran main yang sudah ada pada kelompok tersebut.
 - Nada (angklung) sudah terdapat pada kelompok tersebut.
- Jika standar deviasi jumlah ketukan tiap kelompok lebih kecil dari satu dan jumlah nada (angklung) yang ada pada setiap kelompok giliran main tidak melebihi jumlah maksimal, maka proses sudah selesai. Jika syarat tersebut belum terpenuhi, maka giliran main opsional yang ditambahkan pada langkah b dihapus. Setelah itu, proses dilanjutkan menuju langkah d.

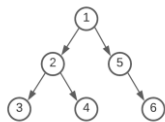
d. Memilih kelompok giliran main dengan jumlah ketukan terbanyak untuk diproses pada langkah selanjutnya. Jika terdapat lebih dari satu kelompok giliran main dengan jumlah ketukan terbanyak, maka yang dipilih di antaranya adalah kelompok giliran main dengan jumlah nada terbanyak.

e. Pada kelompok yang sudah dipilih pada langkah d, pilih giliran main dengan jumlah ketukan terbanyak yang tidak bentrok dengan giliran main yang ada pada kelompok dengan jumlah ketukan paling sedikit dan nada pada giliran main sudah ada pada kelompok dengan jumlah ketukan paling sedikit. Setelahnya, pindahkan giliran main tersebut ke kelompok dengan jumlah ketukan paling sedikit.

f. Jika tidak ada giliran main yang memenuhi ketentuan pada langkah d, maka kelompok giliran main dengan jumlah ketukan paling sedikit diganti dengan kelompok giliran main dengan jumlah paling sedikit setelahnya lalu ulangi langkah d. Jika benar-benar tidak ada yang memenuhi, maka buat kelompok baru dan pindahkan giliran main tersebut ke kelompok baru.

g. Mengulangi proses ini dengan kembali ke langkah a.

Jika jumlah kelompok giliran main melebihi batas yang ditentukan (tergantung pada jumlah maksimal pemain), maka dilakukan *backtracking* dengan kembali pada proses putaran sebelumnya dan memilih kelompok giliran main yang lain pada langkah c. Jika seluruh kemungkinan telah dilakukan dan proses belum mencapai tujuan yang diinginkan (standar deviasi jumlah ketukan dan nada (angkung) yang ada pada setiap kelompok giliran main tidak melebihi tiga) maka hasil akhir adalah kondisi terbaik dari kondisi-kondisi yang ada saat *backtracking* dilakukan. Contoh pohon ruang status hasil proses ini dapat dilihat pada Gambar III.3. dengan penjelasan tiap simpulnya dapat dilihat pada Tabel III.



Gbr. 8. Contoh Pohon Ruang Status Penyeimbangan Giliran Main

5. Pembuatan partitur angklung baru untuk setiap kelompok giliran main.

Agar mudah dipahami pemain, distribusi giliran main angklung yang dihasilkan dari tahap sebelumnya diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk partitur yang sudah diberi tanda dimana saja pemain harus memainkan angklungnya.

TABEL III. PENJELASAN SIMPUL POHON RUANG STATUS

Simpul	Kelompok	Pembagian Giliran Main Utama	Nada	Jumlah Ketukan	Rata-rata	Pembagian Giliran Main Opsional	Total Jumlah Ketukan	Rata-rata	Standar Deviasi	Aksi
1	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Memindahkan E ke kelompok 5
	2	A, C, E, G	1 2 3	11		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	9		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	I	7	4		D, I, N	8			
2	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Memindahkan J ke kelompok baru
	2	A, C, G	1 2 3	7		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	9		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	E, I	7 1	8		D, I, N	8			
3	1	B, D, F, H								Jumlah kelompok melebihi batas, melakukan <i>backtrack</i>
	2	A, C, G								
	3	J, L, N, P								
	4	K, M, O								
	5	E, I								
	6	J								
2	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Memindahkan B ke kelompok baru
	2	A, C, G	1 2 3	7		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	9		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	E, I	7 1	8		D, I, N	8			
4	1	D, F, H								Jumlah kelompok melebihi batas, melakukan <i>backtrack</i>
	2	A, C, G								
	3	J, L, N, P								
	4	K, M, O								
	5	E, I								
	6	B								
2	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Semua kelompok dengan jumlah ketukan di atas rata-rata sudah dicoba, melakukan <i>backtrack</i>
	2	A, C, G	1 2 3	7		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	9		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	E, I	7 1	8		D, I, N	8			
1	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Memindahkan N ke kelompok 5
	2	A, C, E, G	1 2 3	11		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	9		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	I	7	4		D, I, N	8			
5	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,8	1,3266	Memindahkan C ke kelompok 5
	2	A, C, E, G	1 2 3	11		A, C, E, G	11			
	3	J, L, N, P	5 6 7	7		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	I, N	7	6		D, I, N	8			
6	1	B, D, F, H	7 2 3	9	8	B, D, F, H	9	8,4	0,8	Standar deviasi < 1, proses selesai
	2	A, E, G	1 2 3	9		A, E, G	9			
	3	J, L, P	5 6 7	7		J, L, N, P	9			
	4	K, M, O	4 6 1	7		K, M, O	7			
	5	C, I, N	7 1	8		C, I, N	8			

Satu kelompok giliran main akan membentuk sebuah partitur. Pada tahap ini, pertama-tama dilakukan duplikasi partitur angklung yang menjadi masukan di tahap awal. Setelah itu, sistem akan memberi tanda pada giliran main yang ada pada kelompok giliran main yang sudah ditetapkan pada partitur baru tersebut. Contoh partitur-partitur baru yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.

2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	.	6	.	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

Gbr. 9. Contoh Partitur Baru 1

2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	.	6	.	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

Gbr. 10. Contoh Partitur Baru 2

2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	.	6	.	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

Gbr. 11. Contoh Partitur Baru 3

2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	.	6	.	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

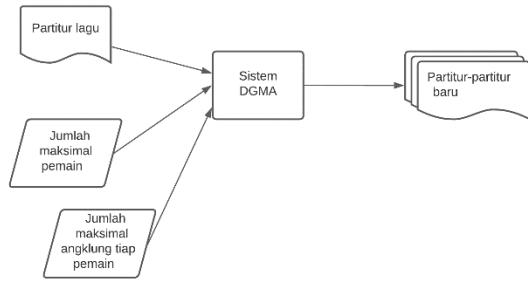
Gbr. 12. Contoh Partitur Baru 4

2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	1	.	7	.	1	.	.	.	2	.	3	2
7	.	.	.	.	6	.	.	.	.	4	.	5	.	6	.	.	.	7	.	1	7

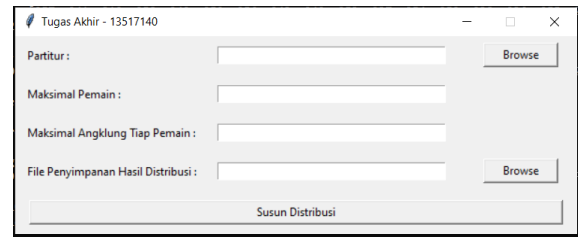
Gbr. 13. Contoh Partitur Baru 5

C. Perancangan Sistem

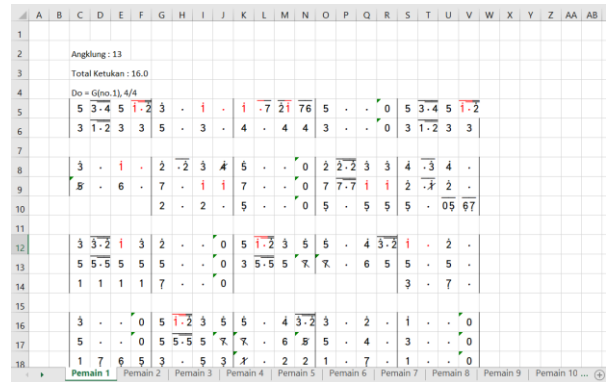
Nama dari perangkat lunak yang akan dibuat adalah DGMA, sebuah aplikasi yang memiliki fungsi utama untuk membantu tim angklung dalam melakukan distribusi giliran main angklung. Aplikasi ini menerima masukan berupa partitur lagu yang akan dimainkan dalam notasi not angka dan menggunakan format *spreadsheet* Microsoft Excel serta jumlah maksimal pemain. Luaran dari aplikasi adalah partitur-partitur baru dalam format format *spreadsheet* Microsoft Excel yang sudah diberi tanda sesuai distribusi giliran main yang dihasilkan. Diagram arsitektur umum aplikasi DGMA dapat dilihat pada Gambar III.9.



Gbr. 16. Arsitektur Umum Aplikasi DGMA



Gbr. 14. Antarmuka Utama



Gbr. 15. Contoh Antarmuka Hasil Distribusi

IV. IMPLEMENTASI

Pengembangan aplikasi DGMA dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python pada sistem operasi Microsoft Windows. Pada aplikasi ini, terdapat beberapa kelas seperti yang sudah dideskripsikan pada Tabel IV. Antarmuka utama aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 14, sedangkan contoh hasil distribusi dapat dilihat pada Gambar 15.

TABEL IV. DAFTAR KELAS DGMA

Nama Kelas	Deskripsi Kelas
<i>PartiturData</i>	Kelas yang mewakili detail data partitur berupa simbol nada, panjang ketukan, posisi pada format <i>spreadsheet</i> Microsoft Excel, warna huruf, dan warna latar.
<i>Partitur</i>	Kelas yang mewakili sebuah partitur, yaitu kumpulan <i>PartiturData</i> dari berkas masukan <i>spreadsheet</i> Microsoft Excel.
<i>GiliranMain</i>	Kelas yang mewakili giliran main, yaitu sebuah informasi nada, ketukan ia mulai dimainkan, serta panjang ketukan.
<i>KumpulanGiliranMain</i>	Kelas yang mewakili <i>GiliranMain</i> yang telah dikumpulkan.
<i>Graph</i>	Kelas yang mewakili kebentrok antar giliran main.
<i>Distribusi</i>	Kelas yang mewakili distribusi giliran main angklung, yaitu kumpulan kelompok giliran main yang tidak bentrok
<i>MainWindow</i>	Kelas yang mengatur tampilan dan fungsi-fungsi antarmuka
<i>PartiturParser</i>	Kelas yang menyimpan fungsi untuk mengubah format partitur dari format <i>spreadsheet</i> Microsoft Excel ke format internal perangkat lunak.
<i>PengelompokGiliranMain</i>	Kelas yang menyimpan fungsi untuk mengelompokkan giliran main yang tidak bentrok dengan metode pewarnaan graf
<i>PenyeimbangDistribusi</i>	Kelas yang menyimpan fungsi untuk menyeimbangkan jumlah ketukan dan jumlah nada pada kelompok-kelompok giliran main yang tidak bentrok.
<i>PembuatPartiturBaru</i>	Kelas yang menyimpan fungsi untuk membuat partitur-partitur baru dalam format <i>spreadsheet</i> Microsoft Excel sesuai partitur lama dan giliran main yang telah disusun.

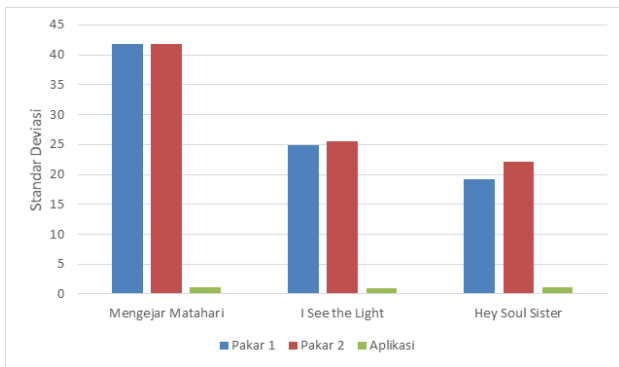
V. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Terdapat dua jenis pengujian yang dilakukan pada hasil implementasi. Jenis-jenis pengujian tersebut adalah pengujian fungsionalitas dan pengujian kinerja aplikasi.

Pengujian fungsionalitas adalah pengujian yang dilakukan untuk memastikan kesesuaian fungsional antara rancangan sistem dengan implementasi sistem. Dari hasil pengujian, didapatkan hasil seluruh kebutuhan fungsional telah terpenuhi, sehingga dapat dikatakan bahwa aplikasi dapat digunakan dengan wajar.

Pengujian kinerja aplikasi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengukur kualitas distribusi yang dihasilkan oleh aplikasi. Pengujian ini dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif.

Pada pengujian kinerja secara kuantitatif, aplikasi diuji dengan membandingkan hasil distribusi luaran aplikasi dengan hasil distribusi yang diproses secara manual oleh pakar yang telah berpengalaman minimal dua tahun dalam melakukan distribusi angklung. Percobaan distribusi dilakukan pada tiga partitur lagu, yaitu Mengejar Matahari, I See the Light, dan Hey Soul Sister. Setelah itu, pada masing-masing hasil distribusi dilakukan pendataan jumlah ketukan setiap pemain serta dihitung standar deviasinya. Besarnya standar deviasi, merepresentasikan ketidakseimbangan pada distribusi tersebut. Dari pendataan, seperti yang terlihat pada Gambar, didapatkan hasil bahwa standar deviasi pada distribusi yang dihasilkan aplikasi jauh lebih kecil dibandingkan standar deviasi pada distribusi yang dihasilkan pakar. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa aplikasi mampu menghasilkan distribusi yang lebih seimbang.



Gbr. 17. Grafik Perbandingan Standar Deviasi Hasil Distribusi Manual dan Hasil Distribusi Aplikasi

Selanjutnya, untuk pengujian secara kualitatif, pengujian dilakukan dengan cara meminta pendapat beberapa pakar yang paham mengenai musik dan berpengalaman minimal dua tahun dalam melatih tim angklung untuk menilai kualitas distribusi yang dihasilkan aplikasi melalui kuisioner. Dari hasil kuisioner tersebut, pakar-pakar berpendapat bahwa aplikasi DGMA membuat proses distribusi menjadi lebih efisien dibandingkan dengan cara manual. Distribusi yang dihasilkan oleh aplikasi pun sudah cukup memuaskan karena setiap pemain mendapatkan jumlah ketukan yang cukup seimbang. Hasil distribusi juga mampu mempermudah pemain dan pelatih karena sudah langsung diberi tanda pada bagian pemain harus bermain dengan menghindari bentrok, sehingga pemain dan pelatih tidak perlu memikirkan permasalahan bentrok saat latihan. Namun, terdapat beberapa poin kritik dari pakar:

1. Meskipun jumlah angklung yang dipegang memang tidak melebihi jumlah maksimum, akan lebih baik apabila ukuran angklung diperhatikan dalam pembagiannya. Ukuran yang terlalu mirip ataupun terlalu berbeda besar kecilnya akan mempengaruhi kenyamanan pemain saat memainkan angklungnya.
2. Setiap nomor angklung memiliki volume suara yang berbeda-beda. Pada umumnya, semakin besar nomor angklung, maka semakin kecil suaranya. Oleh karena itu, sebaiknya keberagaman volume suara ini menjadi parameter dalam proses distribusi.
3. Pewarnaan giliran main akan lebih baik menggunakan *highlight* agar terlihat lebih jelas. Namun, hal ini belum dapat dilakukan karena Microsoft Excel tidak memiliki fungsi untuk memberi *highlight* pada sebagian teks yang ada pada satu *cell*.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berikut adalah beberapa hal yang dapat disimpulkan dalam penelitian ini:

1. Distribusi giliran main angklung dapat disusun menggunakan teknik pewarnaan simpul graf dengan algoritma Welch Powell dan algoritma Depth First Search dengan cara sebagai berikut:

- a. Menjadikan giliran main sebagai simpul graf dan kebentrok sebagai sisi.
 - b. Menambah batasan maksimal jumlah nada (angklung) di setiap kelompok warna pada proses pewarnaan simpul graf.
 - c. Membuat proses pada algoritma Depth First Search menjadi memindahkan giliran main dari kelompok dengan jumlah ketukan terbanyak ke kelompok lain hingga didapatkan standar deviasi jumlah ketukan di setiap kelompok kurang dari satu atau sudah mencapai minimal dan jumlah nada (angklung) di setiap kelompok tidak melebihi jumlah yang ditentukan di awal.
2. Pengujian aplikasi memberikan hasil bahwa aplikasi mampu membuat giliran main antarpemain menjadi lebih seimbang dan dapat membuat proses distribusi menjadi lebih efisien. Akan tetapi, ada beberapa aspek yang belum dipertimbangkan dalam aplikasi tersebut seperti keberagaman volume suara dan ukuran angklung.

B. Saran

Berikut adalah saran-saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya yang sejenis:

1. Menambahkan parameter jumlah angklung yang dimiliki sebuah tim sehingga pada distribusi yang dihasilkan, jumlah angklung yang dibutuhkan tidak melebihi jumlah angklung yang tersedia.
2. Proses distribusi sebaiknya memperhatikan juga keberagaman ukuran dan volume suara setiap angklung.
3. Sebaiknya mencari media selain Microsoft Excel untuk menampilkan partitur hasil distribusi agar dapat menggunakan *highlight* untuk memberi tanda pada giliran main sehingga tanda tersebut dapat terlihat lebih jelas.

REFERENSI

- [1] Angklungkita, "Connects Angklung to Everyone," 2018. [Online], . <https://angklungkita.com/> [Accessed October 18, 2020].
- [2] Aslan, M. and Baykan, N.A., "A Performance Comparison of Graph Coloring Algorithms," in *International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'16)*, Selcuk University Turki, 2016. pp 266-273.
- [3] Bumi, T.P. "Aplikasi Pembangkit Distribusi Angklung dengan Teknik Fuzzy Multi-Criteria Decision Making," Tugas Akhir S1, Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2015.
- [4] Hidayah, M.R. and Prasetyo, B., "Penggunaan Metode Depth First Search (DFS) dan Breadth First Search (BFS) pada Strategi Game Kamen Rider Decade Versi 0.3.," *Scientific Journal of Informatics*, Jilid 1, No. 2, pp. 161-167, 2014.
- [5] Inggiantowi, H. "Sistem Tonjur untuk Membantu Menentukan Pasangan Main Angklung ke Pemain dengan Memanfaatkan MusicXML," Tugas Akhir S1, Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.

- [6] Kania, R.A.P., "Model Matematika Dalam Menentukan Distribusi Angklung Pada Suatu Penampilan," Tugas Akhir S1, Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [7] Kemendikbud, "Angklung. Direktorat Warisan dan Diplomasi Budaya," 2015. [Online], <https://kebudayaan.kemdikbud.go.id/ditwdb/angklung/> [Accessed October 18, 2020].
- [8] Munir, Rinaldi, *Matematika Diskrit Revisi Keenam*, Bandung: Informatika, 2016.
- [9] Pasnur, "Implementasi Algoritma Welch-Powell dalam Pembuatan Jadwal Ujian Akhir Semester," *Jurnal Inspiration*, Jilid 2, No. 1, pp. 35-44, 2012.
- [10] Rosyadi, "Angklung: dari Angklung Tradisional ke Angklung Modern," *Patanjala*, Jilid 4, No. 1, pp. 24-30, 2012.