

Penentuan Distribusi Angklung Berdasarkan Partitur Menggunakan Algoritma Pencarian A*

Zulhendra Valiant Janir

*Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganeca 10 Bandung, Indonesia*

zulhendravj@gmail.com

Abstrak — Makalah ini membahas penentuan distribusi angklung yang dibutuhkan untuk tim angklung dengan kebutuhan pembuatan proses yang cepat, cocok, dan teliti sehingga membutuhkan bantuan dari komputer. Kebutuhan distribusi angklung secara teknis adalah dibutuhkanannya perhitungan kebentrok untuk menentukan pasangan main angklung berdasarkan partitur, komposisi angklung yang baik, dan dapat memproses nomor angklung yang berjumlah banyak. Data yang dibutuhkan pelaku distribusi untuk membentuk distribusi merupakan sebuah MusicXML dimana MusicXML tersebut merupakan sebuah partitur. MusicXML dipilih sebagai format partitur karena MusicXML sangat komplis sebagai format partitur digital. Masukan partitur berformat MusicXML tersebut diproses sehingga data darinya dapat dikalkulasikan dan membentuk pohon algoritma A*.

Kata kunci— Angklung, distribusi, algoritma A*, MusicXML.

I. PENDAHULUAN

Angklung adalah sebuah alat perkusi seni yang terbuat dari bambu khusus yang dimainkan dengan cara digetarkan atau dipukul. Angklung digunakan dalam kultur neolitikum yang muncul pada masa kerajaan Sunda di sekitar abad 12 sampai dengan abad 16. Angklung yang kini bernada diatonis merupakan jenis angklung yang dikembangkan oleh Bapak Daeng Soetigna pada tahun 1938. Angklung yang telah mengenal nada diatonis kini sudah berkembang menjadi alat musik yang dapat digunakan untuk memainkan lagu-lagu modern [1].

Sifat angklung yang harus dimainkan secara berkelompok membuat angklung tidak dapat dimainkan secara independen. Terlebih lagi untuk memenuhi tuntutan partitur, dibutuhkan banyak nada angklung yang dikombinasikan dengan teknik bermain pemain sesuai dengan kebutuhan partitur di sepanjang lagunya. Sehebat apa pun teknik dari pemain, seorang pemain hanya dapat membunyikan satu buah angklung dalam satu waktu [2].

Penentuan distribusi angklung terhadap pemain juga mempengaruhi efektivitas permainan sesuai dengan tuntutan partitur. Metode yang sering digunakan dalam melakukan distribusi adalah dengan pembagian nomor angklung berdasarkan data tonjur berupa informasi pasangan main angklung yang diperkirakan secara kognitif oleh pelaku distribusi angklung. Hal ini sangat membutuhkan ketelitian, waktu yang sangat lama, dan memungkinkan adanya ketidakpuasan pada hasil distribusi. Sistem distribusi tonjur

pun hanya mendeteksi ada atau tidaknya bentrok antar angklung (diskrit). Hal ini memungkinkan terjadinya ketidakadaan karena semua angklung mengalami bentrok dengan semua angklung lainnya. Bentrok adalah kejadian di mana lebih dari satu angklung harus dimainkan oleh seorang pemain pada suatu waktu. Hal ini menyebabkan pemain harus memprioritaskan satu angklung untuk dimainkan dan akibatnya angklung lain menjadi tidak sempat dimainkan [2].

Pengujian aplikasi pencari pasangan main pernah dikembangkan untuk menemukan angklung yang tidak bentrok dengan angklung lainnya berdasarkan partitur dalam format MusicXML. Namun pasangan main yang didapatkan tidak berupa daftar angklung main sehingga tidak bisa langsung diberikan kepada pemain. Dengan adanya aturan penentuan distribusi pada kondisi ideal, hasil pasangan main kurang dapat meningkatkan efisiensi waktu kerja dan efektivitas dari penyusunan pasangan main menjadi distribusi kumpulan angklung main [2].

Algoritma A* memiliki perhitungan cost dan bantuan berupa heuristik. Persoalan mengenai distribusi angklung mempertimbangkan jumlah bentrok dan memastikan semua nada dapat dimainkan sehingga dipilih A* sebagai algoritma pencarian solusi yang dapat berbentuk pohon dengan memperlakukan cost sebagai jumlah bentrok dan heuristik sebagai jumlah nada angklung yang sudah tercakup.

II. DASAR TEORI

Pada dasar teori dibahas karakteristik angklung, teknik bermain, partitur angklung, metode distribusi beserta hasilnya, partitur angklung yang dapat diproses mesin, dan algoritma untuk menentukan distribusi.

A. Angklung

Angklung adalah alat musik tradisional Indonesia yang terbuat dari bambu. Ukuran tabung angklung akan mempengaruhi frekuensi bunyi angklung yang dapat dipetakan menjadi nada-nada berbeda.

Angklung yang ditangani berjumlah 54 nomor angklung yang dapat dipetakan terhadap nada dan oktaf pada tabel berikut.

Tabel 1 Pemetaan Angklung Melodi

	Nada =														
	C	Cis/Des	D	Dis/Es	E	F	Fis/Ges	G	Gis/As	A	Ais/Bes	B			
Oktaf = I	Cg	C#g	Dg	D#g	Eg	Fg	F#g	G	G#	A	A#	B			
Oktaf = II	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B			
Oktaf = III	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
Oktaf = IV	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29			
Oktaf = V	30	31	32	33	34	35									

Pada Tabel 1 terdapat 5 oktaf berbeda. "Oktaf = I" merupakan oktaf dengan kumpulan nada paling rendah sedangkan "Oktaf = V" merupakan oktaf dengan kumpulan nada paling tinggi. Secara fisik, angklung "Cg" atau disebut "C gajah" adalah angklung paling besar sedangkan angklung "35" adalah angklung paling kecil. Begitu juga angklung-angklung di antara kedua macam batas mengikuti urutan oktaf beserta ukurannya (kiri ke kanan, atas ke bawah).

Dengan adanya penemuan angklung diatonis, kini angklung dapat digunakan untuk memainkan lagu modern. Terdapat 2 cara untuk memainkan angklung, yaitu getar dan centok. Ada pun teknik tengkep dapat dipadukan dengan getar dan centok.

B. Partitur Angklung

Partitur untuk angklung adalah partitur yang ditulis dengan not angka yang digunakan dalam pembelajaran sebagai pemain angklung.

judul | Partitur Uji

Nada Dasar = Do = C (no.6) Arranger = Arman Furqon

A "Soulmate" - Kahitna																					
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

4 suara 3 suara 1 measure (bar) berisi 4 ketuk

Gambar 1 Partitur Not Angka

Pada Gambar 1 terdapat banyak atribut yang menunjukkan identitas dan permainan lagu. Atribut identitas pada gambar tersebut adalah judul, composer (pembuat lagu), arranger (pengubah lagu), dan isi lagu yang berupa not angka. Atribut permainan lagu pada gambar tersebut adalah measure (bar), birama, nada dasar, dan banyak suara.

Tidak semua isi angklung adalah not nada, ada juga not istirahat yang direpresentasikan dengan angka 0. Ada pun representasi titik artinya melanjutkan bunyi getar nada sebelumnya. Cara membaca partitur pun sama seperti pembacaan pada umumnya yaitu dari kiri ke kanan dengan tambahan aturan yaitu tiap kolom dibaca bersamaan.

Setiap partitur memiliki jumlah measure yang berbeda. Setiap measure mungkin bisa memiliki birama yang berbeda. Pada Gambar 1, partitur hanya memunculkan birama 4/4. Jumlah ketuk tiap measure bergantung pada biramanya, untuk birama 4/4 maka isinya 4 ketuk, jika 2/4 maka isinya 2 ketuk. Selain beda birama tiap measure, mungkin juga ada perbedaan jumlah suara tergantung kebutuhan aransemen.

C. Tonjur Angklung

Berkat perkembangan angklung yang begitu cepat, metode-metode baru dalam pendistribusian angklung juga mulai ditemukan. Metode-metode baru tersebut menargetkan suatu cara mendistribusikan angklung sehingga distribusi yang dihasilkan memenuhi syarat distribusi angklung yang baik. Sebuah cara yang hingga kini dipakai oleh tim-tim angklung

di seluruh Jawa Barat telah ditemukan berupa metode distribusi tonjur.

Metode distribusi menggunakan tonjur adalah sebuah metode pendistribusian angklung dalam suatu tim dengan tabel angklung dalam suatu lagu yang ditandai sesuai kebentrokannya dengan angklung lain. Dari data tersebut dapat dibuat pasangan-pasangan dari beberapa angklung yang tidak bentrok sampai terbentuk sebuah distribusi utuh [3].

D. Distribusi Angklung

Distribusi angklung adalah acuan untuk pemain tim angklung untuk menggunakan angklung tertentu terhadap komposisi tertentu.

1	C#g	G	2	7	16	23	11	A#	6	17	19	25	21	E	0	11	32	
2	Dg	1	15	28			12	A#	B	10	20	30	22	F	7	13	22	
3	Eg	B	10	13	19		13	C	7	17	28		23	0	6	20		
4	Fg	E					14	C	9	13	19		24	0	9	11	14	18
5	Fg	1	14	19			15	C#	3	14			25	1	6	14		
6	F#g	5	6	15	23		16	D	11	13	22	27	26	6	12	33		
7	G#	2	11	12	18		17	D	13	14	22	23						
8	A	3	11	26			18	D#	8	16	17	26	30					
9	A	6	25				19	D#	11	12	22							
10	A#	5	15	24	29		20	E	8	12	21	26						

Gambar 2 Hasil Distribusi oleh Keluarga Paduan Angklung SMAN 3 Bandung (KPA3)

Hasil distribusi di atas merupakan distribusi yang dihasilkan dengan metode tonjur dan dilanjutkan dengan metode *trial and error* pada latihan angklung oleh KPA3.

Pada Gambar 2 dapat dicermati bahwa jumlah angklung per pemain sangat beragam dan mungkin saja nomor angklung yang sama dipegang oleh lebih dari 1 pemain. Setiap kumpulan angklung main tidak memiliki prioritas angklung untuk dimainkan secara pasti. Pemain harus belajar membagi prioritas seiring latihan berlangsung.

E. MusicXML

Penyesuaian format notasi musik atau *digital music sheet application* menjadi XML mulai dikembangkan pada tahun 2000. Contoh aplikasi musik yang menggunakan format simbolik adalah Sibelius dan Finale. *Notation editors* seperti Finale and Sibelius digunakan untuk membuat musik dan mempersiapkannya untuk dimainkan dan dipublikasikan.

Kebutuhan dalam membangun partitur yang dibuat untuk pemain angklung dapat dicermati pada gambar berikut.

```

<part id="P1"
  <!-- Id Suara -->
  <measure number="1"
    <!-- Id Measure -->
    <attributes
      <!-- Hanya ada setiap perubahan Birama -->
      <time
        <!-- Birama : Pembilang -->
        <beats>4</beats>
      </time>
    </attributes>
    <note
      <!-- Not -->
      <rest />
      <!-- Istirahat -->
      <duration>1024</duration>
    </note>
    <note
      <!-- Not -->
      <pitch
        <step>D</step>
        <alter>1</alter>
        <octave>6</octave>
      </pitch>
      <duration>256</duration>
    </note>
  </measure>
</part>

```

Gambar 3 Format MusicXML

Gambar 3 menjelaskan sebagian informasi dari format partitur not balok pada gambar menjadi format MusicXML pada gambar. Secara umum, MusicXML mengurutkan isi partitur berdasarkan not (<note>), bar (<measure>), dan baris partitur direpresentasikan oleh nomor instrumen (<part>) secara terurut. Setiap not nada memiliki informasi nada, tinggi oktaf (<octave>), panjang nada (<duration>), dan jika perlu ada informasi alter (<alter>). Setiap not istirahat (<rest>) hanya memiliki panjang istirahat (<duration>). Penentuan birama (<beat>) hanya muncul jika sebuah bar mengalami pergantian birama sehingga bagi bar yang tidak memiliki data birama dapat mengambil data tersebut dari bar sebelumnya.

F. Algoritma A*

Algoritma A* (A Star) merupakan salah satu contoh algoritma pencarian yang cukup populer di dunia. Beberapa terminologi dasar yang terdapat pada algoritma ini adalah *starting point*, A, simpul (*nodes*), *open list*, *closed list*, harga (*cost*), halangan (*unwalkable*) [4].

Starting point adalah sebuah terminologi untuk posisi awal sebuah benda. A adalah simpul yang sedang dijalankan dalam algoritma pencarian jalan terpendek. Simpul adalah petak-petak kecil sebagai representasi dari area *pathfinding*. *Open list* adalah tempat menyimpan data simpul yang mungkin diakses dari *starting point* maupun simpul yang sedang dijalankan. *Closed list* adalah daftar data simpul sebelum A yang merupakan bagian dari jalur terpendek yang berhasil didapatkan.

A* adalah algoritma yang menggunakan heuristik untuk memandu pencarian dengan menjamin *cost* yang minimal. Berikut adalah rumus *cost* dari penggunaan A*:

$$f^*(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

$g(n)$ adalah *actual cost* yaitu biaya sebenarnya untuk mencapai tujuan sedangkan $h(n)$ adalah *estimated cost* yaitu perkiraan biaya termurah dari node saat ini ke tujuan.

Nilai heuristik $h(n)$ bersifat *admissible* atau tidak *overestimate* untuk mencapai tujuan sehingga nilainya harus merupakan nilai perkiraan terdekat dari simpul sekarang ke simpul tujuan. Untuk pencarian dengan graf, $h(n)$ bersifat konsisten jika setiap simpul n dan n' dari n memenuhi $h(n) \leq c(n, n') + h(n')$ [5].

III. SOLUSI PERSOALAN

Solusi persoalan membahas masalah yang berkaitan dengan kebutuhan beserta pemecahannya yang dihasilkan berdasarkan dasar teori dan pemahaman penulis.

A. Analisis Masalah

Masalah utama adalah bagaimana menghasilkan distribusi angklung sampai tahap kumpulan angklung main sehingga tim angklung dapat dengan mudah memainkan angklung yang minimal akan bentrok dan yakin bahwa hasil distribusi tersebut adalah optimal.

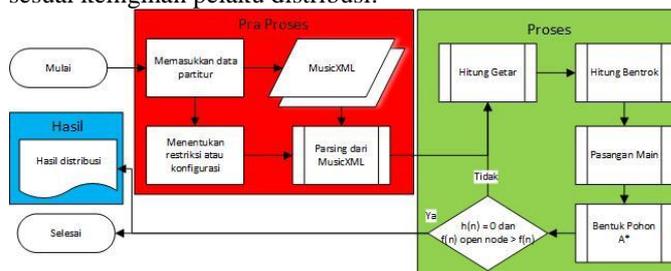
Solusi berupa distribusi angklung dibentuk dari kumpulan angklung main dengan bentrok minimal. Solusi sebisa mungkin mencari pasangan main yang memiliki sifat bentrok yang minimal sehingga penggunaan algoritma A* dapat memparameterisasikan bentrok minimal yang tidak harus

bersifat tiada bentrok. Satu-satunya constrain yang terlibat adalah pembatasan banyak angklung per pemain. Jika permasalahan ini berupa Constrain Satisfaction Problem (CSP), maka hanya *constrain* banyak angklung per pemain yang terlibat.

Perbedaan ukuran angklung mempengaruhi frekuensi getaran yang dihasilkan sehingga mendiferensiasikan angklung menjadi berbagai nada yang berbeda. Untuk menentukan komposisi, dibutuhkan pembeda tertentu agar dapat mengelompokkan angklung, misalnya berdasarkan rentang ukuran.

B. Usulan Solusi

Untuk menghasilkan distribusi angklung dibutuhkan alur pencarian yang jelas. Langkah pertama, pelaku distribusi harus menyiapkan partitur angklung berbentuk MusicXML dan kemudian pelaku dapat mengatur restriksi atau konfigurasi seperti batas angklung yang digunakan, batas angklung per pemain, dan banyak pemain yang diinginkan. Setelah data dan restriksi sudah ditentukan, pencarian distribusi mulai dilakukan dengan siklus yang berisi 5 upa-proses. Upa-proses yang dimaksud adalah hitung getar, hitung bentrok, memilih pasangan main, dan membentuk pohon dari algoritma A*. Hasil akhirnya adalah daftar pemain angklung sesuai keinginan pelaku distribusi.



Gambar 5 Alur Berpikir Proses

Data yang dipersiapkan pada pra proses adalah data partitur dan aturan berupa batasan pada distribusi yang diinginkan oleh pelaku distribusi.

Proses atau proses utama terdiri dari 4 upa proses yang dilakukan secara berulang hingga kondisi pencarian mencapai batas atau menemukan solusi. Keempat upa proses tersebut secara berturut-turut adalah sebagai berikut.

1. *Hitung Getar* : Pada upa proses ini, proses yang dilakukan adalah menghitung getar nada angklung yang harus dimainkan. Cara menghitung getar pun dipermudah yaitu berdasarkan ketukan yang terlibat sehingga nilainya berada pada rentang bilangan cacah.

Tabel 2 Contoh Data Hitung Getar

No Angklung	D	E	0	1	3	5	6	8	10
Not Partitur	5	6	7	1	2	3	4	5	6
Getar	4	4	2	2	1	1	1	4	4

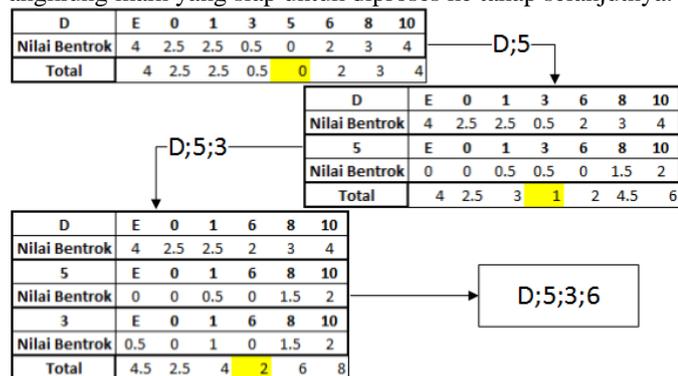
2. *Hitung Bentrok* : Nada yang dihitung kebentrokannya adalah nada yang belum dicakup. Perhitungan bentrok dilakukan pada semua angklung yang ada pada nada yang belum tercakup terhadap nada yang belum tercakup lainnya. Nilai bentrok dibuat tidak detail seperti halnya teori musik yang memiliki nilai not yang berbentuk pecahan seperti 1/4

ketuk, 1/3 ketuk, dan nilai-nilai lainnya. Kebentrokan sebesar 1/3 atau 1/2 ketuk dianggap sama oleh pemain angklung sehingga nilai bentrok dibulatkan dan dihitung berdasarkan ketukan yang terlibat. Namun berdasarkan jenis bentrok paralel atau seri, dibutuhkan pembeda sesuai dengan kemungkinan kebentrokan. Kondisi pasti bentrok (paralel) lebih mudah dihitung karena posisi kedua angklung berada pada satu ketuk sehingga nilai bentrok bisa dipastikan 1 ketuk bentrok. Karena kondisi mungkin bentrok (seri) memiliki kemungkinan bentrok yang lebih kecil, maka diambil kemungkinan rata-rata yang terjadi sehingga nilainya adalah 1/2 ketuk bentrok.

Tabel 3 Contoh Matriks Bentrok

	D	E	0	1	3	5	6	8	10	
D			4	2.5	2.5	0.5	0	2	3	4
E	4		1.5	2.5	0.5	0	2	3	4	
0	2.5	1.5		0.5	0	0	1.5	2	2	
1	2.5	2.5	0.5		1	0.5	0	2	2.5	
3	0.5	0.5	0	1		0.5	0	1.5	2	
5	0	0	0	0.5	0.5		0	1.5	1	
6	2	2	1.5	0	0	0		1.5	1	
8	3	3	2	2	1.5	1.5	1.5		4	
10	4	4	2	2.5	2	1	1	4		

3. Pasangan Main : Menentukan pasangan main diinisiasi dengan menentukan angklung basis atau angklung dengan kebutuhan cakup pada getar terpanjang sebagai jalur (cabang) utama. Agar terdapat pemilihan alternatif pada pembentukan pohon A*, maka dibuat jalur (cabang) alternatif dengan basis yang dipilih adalah getar terpanjang selain yang telah dipilih. Pada akhir upa proses, didapatkan kumpulan angklung main yang siap untuk diproses ke tahap selanjutnya.



Gambar 6 Proses Pemasangan Angklung

4. Bentuk Pohon A* : A* yang digunakan adalah $f(n) = G(n) + H(n)$ (2)

dimana $G(n) = m * g(n)$ dan $H(n) = h(n)$ dengan $G(n)$ adalah cost, dan $H(n)$ adalah heuristik. Untuk perhitungan cost berasal dari perhitungan nilai getar tiap angklung yang telah terpilih sebagai node dan nilai bentrok antar angklung yang menghasilkan bobot. Sedangkan

heuristik berasal dari banyak ketukan angklung yang belum dicakup.

Algoritma A* bertujuan untuk mencari distribusi angklung yang berbentuk kumpulan simpul akar sampai dengan simpul daun yang memiliki nilai $H(n) = 0$ dan $f(n)$ minimal. Dengan $f(n)$ yang minimal, diharapkan angklung yang merepresentasikan $g(n)$ memiliki jumlah yang minimal pula.

Pohon A* yang dibentuk merupakan pohon berarah bercabang 2. Setiap levelnya merepresentasi distribusi yang berupa path terdiri dari simpul awal/akar sampai dengan simpul solusi/akhir. Jumlah cabang ini berkaitan dengan pengadaan pilihan karena dengan representasi distribusi angklung, pohon lebih cenderung panjang ke bawah (banyak level) daripada melebar (banyak sisi/cabang).

Pembentukan pohon A* diawali dengan pembentukan akar dan diakhiri dengan beberapa syarat berhenti. Syarat berhenti yang ada adalah ketika heuristik simpul bernilai 0 dengan biaya simpul terbuka lainnya lebih tinggi daripada simpul dengan heuristik 0 atau ketika simpul dengan heuristik 0 terendah telah mencapai level yang berkaitan dengan retriksi maksimal jumlah pemain. Solusi yang diambil adalah simpul-simpul dari akar sampai dengan simpul dengan heuristik terendah sehingga bentuk akhir distribusi adalah jalur pohon A*.

$$g(n) = \sum_{s=1}^j \sum_{a=1}^i (b_a * (t_a + 1))_s \quad (3)$$

Persamaan 3 merupakan penjabaran dari persamaan 2. Untuk menghitung $g(n)$ dibutuhkan total dari bobot angklung (b_a) pada sebuah simpul yang dibatasi dengan threshold (t_a) bernilai 0 atau 1 dari tiap angklung (a) sebanyak i dan simpul-simpul (s) sebanyak j . Bobot angklung tiap kelas dibuat berbeda agar memenuhi kebutuhan komposisi angklung yang beragam. Pembeda bobot akan menimbulkan kecenderungan A* untuk memilih kelas angklung dengan bobot yang lebih rendah, padahal kelas angklung dengan bobot tinggi juga harus dipilih sehingga diperlukan batas (*threshold*) dan konsekuensi sehingga dapat mengubah bobot tersebut menjadi lebih besar jika pemilihan cenderung pada kelas angklung berbobot kecil dilakukan lebih dari x -kali. Penentuan nilai bobot dan *threshold* didapat dari tabel berikut yang merupakan hasil dari analisis sebuah distribusi acuan.

Tabel 4 *Threshold* dan Bobot Acuan Distribusi

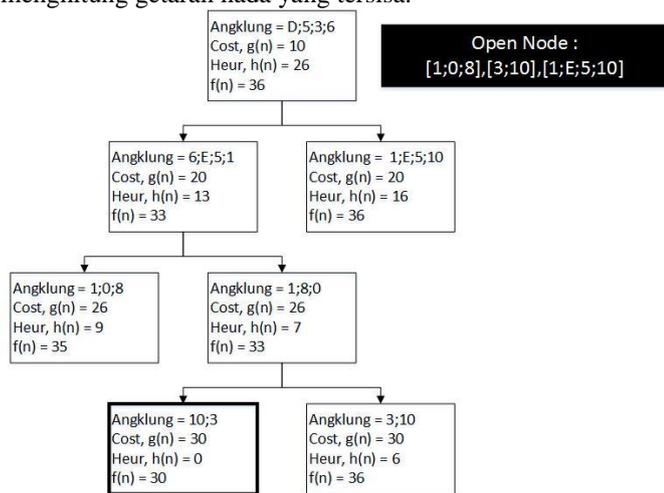
Kls.	Sum	Ave	Threshold	Tot/Sum	Bobot
I (7)	7	1,00	1	15,71	5
II (11)	20	1,82	2	5,50	2
III (13)	37	2,85	3	2,97	1
IV (12)	35	2,92	3	3,14	1
V (11)	12	1,09	1	9,17	3
Tot	110				

Konsekuensi akan terjadi jika nomor angklung tertentu telah melewati *threshold*. Karena konsekuensi diperlakukan sama di semua kelas dan mempengaruhi bobot, maka konsekuensi adalah menambah bobot asli sebesar bobot angklung yang melanggar *threshold*. Nilai *threshold* dalam perhitungan adalah 0 jika tidak dilanggar atau 1 jika dilanggar.

Total bobot dari simpul-simpul yang membentuk distribusi akan dijumlahkan dengan heuristik yang berkaitan dengan banyak getar angklung. Karena nilai *cost* dan heuristik berasal dari perhitungan dengan satuan berbeda, *multiplier* (m) digunakan pada *cost* sehingga nilai $f(n)$ yang nanti terbentuk merupakan nilai yang seimbang.

Multiplier didapatkan dari rata-rata getar tiap angklung berdasarkan partitur awal sehingga *multiplier* cukup dicari pada awal iterasi. *Multiplier* pun memiliki nilai bilangan asli untuk mempermudah perhitungan.

Untuk menghitung heuristik, upa proses harus memperbarui partitur dan menghitung total ketuk nada pada partitur. Cara memperbarui partitur adalah dengan cara mencakup nada-nada pada partitur dengan kumpulan angklung saat ini dan menghapusnya. Setelah perbaruan partitur selesai, upa proses menghitung getaran nada yang tersisa.



Gambar 7 Contoh Pohon A*

Penentuan adanya iterasi atau terminasi dilakukan pada upa proses ini. Jika iterasi maka kembali ke upa proses pertama dan jika terminasi maka lanjut ke bagian hasil. Hal yang menyebabkan terminasi adalah ketika heuristik terakhir adalah 0 dan antrian memiliki total *cost* dan heuristik ($f'(n)$) lebih dari *cost* ($f'(n)$) simpul penyebab terminasi.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Terdapat dua pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian dengan melakukan perbandingan distribusi dengan pakar dan mencoba distribusi terhadap tim angklung. Kedua pengujian ini dilakukan secara berturut-turut dengan data uji yang sama.

A. Pengujian Perbandingan Distribusi

Pengujian perbandingan distribusi adalah pengujian dengan cara membandingkan hasil distribusi angklung dari pakar dengan distribusi oleh A*. Data yang digunakan dalam pengujian adalah distribusi oleh pakar dan D-Angklung* yang berdasarkan pada 6 lagu yang telah digabung dalam sebuah partitur. Parameter yang diperhatikan adalah banyak angklung yang terlibat dan pemain yang dibutuhkan. Yang bertindak sebagai responden dalam pengujian ini adalah pakar. Berikut adalah hasil distribusi oleh pakar dan D-Angklung*.

1	C#	1	7	17	11	C	2	19	21	F	5	12	
2	Dg	6	19		12	C	7	11	22	F	12	22	
3	Eg	0	6	13	13	C#	5	15	23	0	6	10	19
4	F#	5	15		14	C#	8	17	24	0	6	12	
5	G	1	7	18	15	D	4	10					
6	G#	E	3	20	16	D	4	15					
7	A	0	10		17	D#	2	3	13				
8	A	1	9	14	18	D#	7	8	22				
9	B	1	14		19	E	9	18					
10	B	4	5	11	20	E	11	20					

1	C#	Eg	C	9	11	F	5	12	15	19
2	Dg	C#	1	19	12	2	6	15	19	20
3	F#	G	E	4	11	18	13	10	20	
4	F#	0	11	17	14	20				
5	G	3	9	11	14	22				
6	G	G#	D	17						
7	G#	C#	D#	8	14					
8	A	B	6	1						
9	B	F	7	13	15					
10	B	20								

Gambar 8 Hasil Distribusi Pakar dan A*

Berdasarkan Gambar IV-6, terdapat perbedaan-perbedaan sebagai berikut:

- Distribusi pakar menggunakan 81 angklung sedangkan distribusi A* 57 angklung.
- Jumlah pemain yang dibutuhkan distribusi pakar adalah 24 pemain sedangkan distribusi A* 14 pemain.

Kedua perbedaan menyatakan bahwa distribusi A* lebih optimal untuk digunakan pada tim angklung dalam segi minimalis.

B. Pengujian Tim Angklung

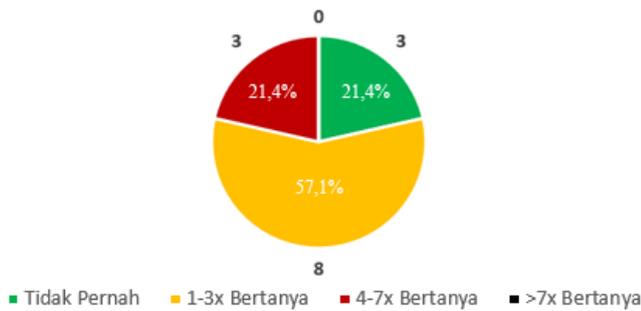
Pengujian dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap persiapan, main, dan tahap feedback. Tahap persiapan adalah tahap dimana data uji diproses dengan A* sehingga hasilnya dapat dicoba kepada responden. Selanjutnya responden diatur sehingga banyak responden sama dengan banyak kumpulan angklung main dan tiap responden memegang angklung yang sesuai dengan hasil distribusi. Tahap main adalah tahap di mana responden melakukan permainan angklung yang dipimpin oleh pelaku distribusi. Responden dipersilahkan untuk bertanya mengenai prioritas angklung yang harus dimainkan kepada pelaku distribusi selama tahap main berlangsung. Tahap feedback adalah tahap terakhir pengujian dimana responden mengisi kuesioner terkait dengan pengalamannya saat tahap main. Data yang digunakan dalam pengujian adalah 6 lagu yang telah digabung dalam sebuah partitur yang terdapat pada. Parameter yang diperhatikan adalah banyak bentrok dan jumlah pertanyaan prioritas dari responden. Responden adalah 14 anggota Keluarga Paduan Angklung SMAN 3 Bandung yang memiliki pengalaman sebagai pemain angklung 1 sampai 2 tahun. Berikut adalah perhitungan kondisi berdasarkan hasil kuesioner.

Tabel 5 Hasil Analisis Persentase Kondisi

Lagu	Tidak Ada		Sedikit Bentrok		Banyak Bentrok	
	Banyak	%(x/14)	Banyak	%(x/14)	Banyak	%(x/14)
A	8	57,1%	5	35,7%	1	7,1%
B	12	85,7%	2	14,3%	0	0,0%
C	8	57,1%	6	42,9%	0	0,0%
D	7	50,0%	7	50,0%	0	0,0%
E	4	28,6%	10	71,4%	0	0,0%
F	3	21,4%	7	50,0%	4	28,6%
Rata"		50,0%	Rata"	44,0%	Rata"	6,0%

Kondisi mayoritas adalah kondisi ketiadaan bentrok yang merupakan kondisi terbagus dalam sebuah distribusi angklung sehingga pengujian berdasarkan bentrok berhasil mencapai kondisi yang sangat memuaskan.

Pertanyaan Prioritas Main



Gambar 9 Hasil Pengujian Banyak Pertanyaan Prioritas Main

Gambar 9 merepresentasikan banyak pertanyaan mengenai prioritas main selama keenam lagu dimainkan. Kondisi yang direpresentasikan adalah kondisi tidak pernah dengan warna hijau, kondisi 1-3x bertanya dengan warna kuning, kondisi 4-7x bertanya dengan warna merah, dan kondisi >7x bertanya dengan warna hitam.

Berdasarkan Gambar 9, terdapat 3 responden yang tidak bertanya, 8 responden bertanya 1-3x, 3 responden bertanya 4-7x, dan 0 responden yang bertanya >7x mengenai prioritas main angklung. Kondisi mayoritas adalah bertanya 1-3x dengan banyak responden lebih dari setengah total responden sehingga pengujian berdasarkan frekuensi pertanyaan berhasil mencapai kondisi yang memuaskan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pelaksanaan tugas akhir dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan algoritma A* pada sistem distribusi dengan perhitungan rumus yang cocok adalah dengan cara menjadikan bobot angklung sebagai cost dan getaran yang belum dicakup sebagai heuristik. Untuk menyeimbangkan cost dan heuristik dibutuhkan multiplier yang bertindak sebagai penyeimbang kedua nilai.

2. Distribusi kumpulan angklung main optimal yang berdasarkan data dari dua atau lebih lagu dapat dihasilkan dengan cara menjadikan partitur sebagai data yang dikalkulasi dengan A*. Distribusi optimal dapat ditemukan dengan cara menentukan angklung dan pemain sesedikit mungkin untuk memenuhi kebutuhan sebanyak mungkin.

3. Pengujian hasil distribusi berupa pengecekan banyak kebentrokan yang terjadi telah dilakukan dengan hasil yang memuaskan. Selain itu pengujian dengan mempertimbangkan banyak pertanyaan yang merupakan parameter kebingungan pemain berada di kondisi sedikit bertanya sehingga hasil pengujian dari sisi banyak bertanya juga memuaskan. Pengujian dengan pakar juga menghasilkan kesimpulan yang memuaskan karena distribusi dengan A* lebih optimal dari pada distribusi pakar.

Berdasarkan proses dan hasil dalam pelaksanaan tugas akhir ini, ada baiknya untuk mempertimbangkan hal-hal berikut:

1. Mengetahui kebutuhan dan masalah teknis pada tim angklung yang sering ditemui secara rinci.
2. Melakukan pengujian lapangan pada sebuah tim angklung mengenai penelitian yang bergelut di bidang teknis dunia angklung agar hasil yang didapatkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.
3. Menggunakan berbagai aturan terkait yang mendukung kebutuhan dan keberjalanan fungsi alur berpikir penelitian.
4. Selain dari aspek keoptimalan distribusi, terdapat aspek lain yang dapat dipertimbangkan untuk mengembangkan algoritma penentuan distribusi angklung seperti keseimbangan frekuensi permainan angklung yang dilakukan pada pemain dalam sebuah lagu sehingga sangat dianjurkan untuk menggabungkan kedua aspek ini.

REFERENCES

- [1] Hilman. 2012. Alat Musik. http://sundanize.blogspot.com/p/alat-musik_12.html. Diunduh pada 7 Mei 2014.J.
- [2] Inggiantowi, Hafid. 2011. Sistem Tonjur untuk Membantu Menentukan Pasangan Main Angklung ke Pemain dengan Memanfaatkan MusicXML. STEI ITB. Bandung.
- [3] Bumi, Trapsilo Pramudya. 2011. Penerapan Graf Sebagai Alat Bantu Visualisasi Tonjur Angklung.
- [4] M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109
- [5] Viktor. 2012. Algoritma A* (A Star) Sebagai Salah Satu Contoh Metode Pemrograman Branch and Bound. <http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/Makalah/MakalahStmik24.pdf>. Diunduh pada 4 September 2014.
- [5] Russell & Norvig. 2010. *Artificial Intelligence A Modern Approach* 3rd Ed. Pearson Education Inc.