

## MODEL ANALYSIS-BY-SYNTHESIS APLIKASI PEMBANGKIT SUARA GAMELAN SINTETIK

Aris Tjahyanto<sup>1</sup>, Yoyon K Suprpto<sup>2</sup>, Diah Puspito Wulandari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Manajemen Manajemen Teknologi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Cokroaminoto No 12A Surabaya 60264

Telp. (031) 5613922, 5666172, Faks. (031) 5682887

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus Keputih Sukolilo Surabaya 60111

E-mail: aristj@its.ac.id, aristj@its.ac.id, yoyonsuprpto@gmail.com, diah@elect-eng.its.ac.id

### ABSTRAK

Pengarsipan musik gamelan dalam bentuk digital pada jaman serba digital ini akan memudahkan penyebaran dan pengenalan ke generasi muda. Pengarsipan dalam bentuk digital bisa dilakukan secara otomatis dengan memasukan notasi lagu yang tertulis di kertas ke dalam aplikasi pembangkit suara gamelan. Pembangkitan suara gamelan memerlukan beberapa parameter yaitu notasi atau balungan gendhing, jenis instrumen yang digunakan, alat pemukul yang dipakai, teknik pemukulan, kekuatan pukulan, dan tempo lagu. Pada penelitian ini hanya beberapa parameter yang diperhatikan; yaitu frekuensi dasar, frekuensi harmonisa, fase, tempo dan jenis instrumen yang dimainkan. Jenis suara gamelan yang dibangkitkan adalah full synthetic dan semi synthetic. Pada penelitian yang menggunakan metode analysis-by-synthesis ini diperoleh bahwa untuk suara yang dihasilkan full synthetic masih belum memuaskan, terutama belum bisa menirukan suara dentingan khas logam yang dipukul. Sedangkan suara gamelan yang dihasilkan secara semi synthetic memiliki kualitas yang setara dengan suara gamelan yang dihasilkan oleh para penabuh gamelan.

*Kata Kunci: analysis-by-synthesis, gamelan, transkripsi musik, amplitudo modulasi*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara luas yang terdiri dari beribu-ribu pulau dan memiliki beraneka macam budaya dan suku bangsa. Salah satu hasil budaya tradisional yang ada di Indonesia adalah suatu instrumen musik tradisional yang disebut sebagai Gamelan. Gamelan adalah seperangkat alat musik yang terbuat dari logam, kayu atau bambu yang kebanyakan dibunyikan dengan cara dipukul.

Instrumen gamelan berkembang secara luas di daerah Jawa dan Bali. Bahkan di masing-masing wilayah di daerah Jawa telah mengembangkan berbagai macam jenis gamelan yang berbeda. Sebagai contoh di daerah Jawa barat berkembang gamelan Sunda, di Jawa Tengah dan Jawa Timur telah berkembang gamelan Jawa, bahkan di daerah Banyuwangi telah berkembang gamelan Banyuwangi yang merupakan perpaduan antara gamelan Bali dan Jawa.

Dalam memainkan gamelan tersebut dilakukan dengan cara memukul atau menggesek pada bagian penghasil suara pada perangkat alat tersebut. Gambar 1 adalah beberapa contoh instrumen gamelan yang menghasilkan bunyi dengan cara memukul. Bunyi harmoni diperoleh dengan cara memainkan instrumen tersebut dalam suatu orkestra. Pada gamelan Jawa, satu perangkat orkestra terdiri dari kurang lebih 6 macam instrumen (Suprpto, Hariadi, & Purnomo, 2009a).

Standard titi nada pada Gamelan Jawa ada dua macam yaitu pelog dan slendro. Pada titi nada

slendro digunakan 5 buah titi nada suara dan pada pelog terdapat 7 macam titi nada. Masalah utama yang ada pada gamelan adalah tidak dijumpainya standar baku frekuensi pada masing-masing titinada.

Selain itu, gamelan yang merupakan salah satu budaya Indonesia yang memiliki nilai seni tinggi dan merupakan warisan nenek moyang bangsa perlu dilestarikan. Pelestarian budaya perlu dilakukan dengan berbagai cara agar tidak punah. Upaya pelestarian gamelan dapat dilakukan antara lain dengan cara pembentukan sanggar atau paguyuban kesenian, festival gamelan, pengenalan ke generasi muda, pembuatan arsip dan upaya lainnya.

Pada era Internet saat ini, pelestarian budaya gamelan dalam bentuk digital merupakan suatu hal yang diperlukan. Dengan arsip dalam format digital, akan memudahkan penyebaran dan pengenalan budaya gamelan terhadap generasi muda yang serba digital.

Pengarsipan musik dalam bentuk digital dapat dilakukan dengan cara merekam langsung dalam format WAV, MP3, MIDI atau lainnya. Berkas suara format tersebut dapat langsung dimainkan dengan menggunakan gadget yang tersedia. Akan tetapi berkas suara dalam format WAV ataupun MP3 memiliki keterbatasan bila dibandingkan format MIDI yang sangat membantu para musisi untuk berkarya dalam musik, karena dapat disunting dan direproduksi dengan mudah.

Penelitian tentang MIDI gamelan adalah terbatas, sedangkan MIDI musik barat sudah lama. Penelitian yang berupaya untuk melakukan transkripsi otomatis

bagi instrumen musik barat sebagai contoh piano sudah banyak dilakukan oleh para ahli.

Transkripsi otomatis suara gamelan menemui beberapa kendala antara lain: kekuatan pukulan tidak seragam sehingga menyebabkan hasil yang berbeda. Selain itu perbedaan jenis pemukul (kayu, tanduk kerbau, atau lainnya) juga memberikan hasil yang berbeda dalam hal amplitudo dan warna suara.

Sebuah gamelan memiliki ciri tersendiri. Instrumen gamelan dirancang dan dibuat secara manual sebagai sebuah kesatuan lengkap untuk digunakan bersama. Dengan kata lain sebuah instrumen tidak disarankan untuk diganti dari seperangkat gamelan yang lain. Hal ini berbeda dengan peralatan musik barat yang telah memiliki standar frekuensi yang jelas dan sama untuk setiap nada, sebagai contoh pada musik barat nada A4 adalah pada frekuensi 440 Hz.

Pada gamelan, standar frekuensi sebuah instrumen lebih cenderung sebagai nilai interval, sebagai contoh nada 'ji' untuk saron pada penelitian sebelumnya didapat frekuensi 504 – 539 Hz (Suprpto, 2009c), seperti yang tercantum pada tabel 1 dan tabel 2. Dengan demikian selain diperlukan identifikasi nilai interval frekuensi nada gamelan, juga diperlukan metode yang teliti dalam mengiris dan memilah frekuensi sinyal.

## 1.2 Sekilas tentang gamelan Jawa

Pada tahun 1977, pesawat luar angkasa Voyager diluncurkan, bersama dengan Piringan Emas (*Voyager Golden Record*) yang berisi suara, gambar yang menjelaskan keanekaragaman makhluk hidup dan budaya di Planet Bumi. Salah satu musik yang direkam dalam piringan emas tersebut adalah musik Gamelan dengan Gendhing PUSPAWARNA (*Kinds of Flowers – Beragam Bunga*) yang dimainkan oleh Gamelan Keraton Pura Paku Alaman dibawah pimpinan K.R.T. Wasitodipuro dan direkam oleh Robert E. Brown.

Gamelan yang lengkap terdiri dari sekitar 72 peralatan yang dapat dikelompokkan menjadi 4 jenis. Jenis gamelan pertama adalah (i) kordofon yaitu siter, rebab, celempung; (ii) ideofon yang merupakan alat musik pukul seperti saron, gambang, kenong, gong; (iii) terofon seperti seruling, dan (iv) membranofon yaitu kendang. Saron merupakan istilah umum untuk instrumen gamelan yang memiliki enam atau tujuh bilahan (*blade*) yang terbuat dari perunggu atau kuningan yang ditumpangkan pada pangkon kayu yang juga berfungsi sebagai resonator. Saron ditabuh dengan pemukul yang terbuat dari kayu atau tanduk kerbau. Berdasar ukuran dan fungsinya, terdapat tiga jenis saron; yaitu: saron demung, saron barang, dan saron panerus atau peking. Saron memiliki peran penting dalam memainkan balungan gendhing antara lain sebagai instrumen yang menyuarakan melodi (Purwadi, 2006).



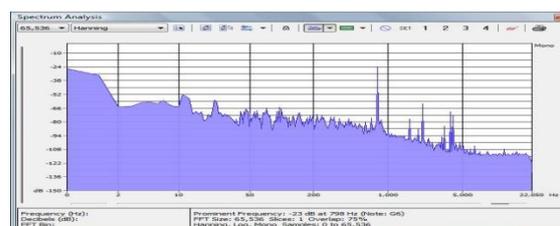
Gambar 1. Keluarga saron

Gamelan merupakan hasil karya empu yang dibuat secara manual dengan tangan. Setiap gamelan memiliki karakteristik tersendiri, karena pembuatannya hanya mengandalkan ketajaman perasaan dan pendengaran. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan variasi frekuensi saron (Suprpto, 2009c).

Tabel 1. Variasi frekuensi dasar saron dari empat set gamelan

Bilah	Frekuensi Dasar Gamelan (Hz)					
	Set1	Set2	Set3	Set4	Min	Max
1	528	528	504	539	504	539
2	610	610	574	610	574	610
3	703	703	688	703	603	703
5	707	792	792	799	792	799
6	915	922	909	926	909	926
1'	1056	1056	1008	1078	1008	1078
2'	1220	1220	1148	1220	1148	1220

Pada penelitian sebelumnya (Suprpto, 2009c) dilakukan pengukuran dan identifikasi frekuensi dasar beberapa instrumen gamelan; yang meliputi demung, saron, peking, bonang, kenong, dan kempul. Identifikasi frekuensi dasar dilakukan dengan menggunakan Sound Forge 8.0. Dari berbagai instrumen gamelan tersebut diperoleh tabel frekuensi seperti terlihat pada tabel 2.



Gambar 2. Identifikasi frekuensi dasar

Frekuensi dasar yang dimaksud adalah frekuensi yang paling dominan dari spektrum frekuensi setiap nada gamelan.

Tabel 2. Frekuensi dasar beberapa instrumen gamelan

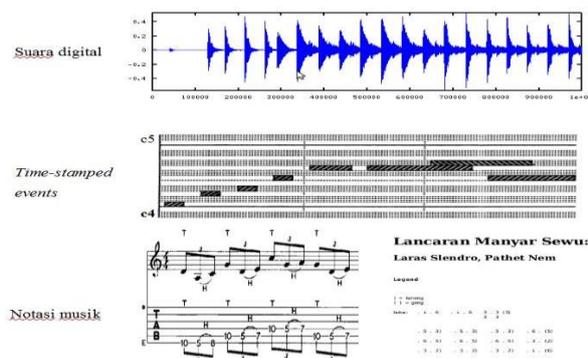
Instrumen Gamelan	Frekuensi Dasar (Hz)	
	Min	Max
Demung	264	463
Saron	504	926
Peking	1008	1852
Bonang	132	1832
Kenong	264	463
Kempul	132	232

Dari tabel tersebut di atas, terlihat frekuensi demung berkisar 264 – 463 Hz, lebih rendah dari saron yang berkisar 504 – 926 Hz. Sedangkan frekuensi peking atau kadang disebut sebagai saron panerus adalah lebih tinggi dari saron yaitu 1008 – 1852 Hz. Kisaran frekuensi kenong terletak antara 264 – 463 Hz, sama dengan kisaran frekuensi demung.

Kisaran frekuensi bonang lebih luas lagi yaitu terletak antara 132 – 1832 Hz, seperti diketahui satu set gamelan bonang memiliki 14 buah nada. Sedangkan frekuensi kempul berkisar pada 132 – 232 Hz.

### 1.3 Representasi dasar suara dan gamelan

Terdapat tiga representasi dari suara dan musik: suara atau audio digital, notasi musik, dan bentuk time-stamped event (Byrd & Crawford, 2002). Representasi yang pertama dapat berupa CD lagu, MP3, WAV, dan format digital lainnya baik yang terkompres maupun dalam bentuk tanpa kompresi data. Sedangkan representasi kedua biasanya dipergunakan sebagai standar file MIDI yang lebih menyerupai kode frekuensi dari instrument music tertentu, dan representasi ketiga berupa notasi musik dalam bentuk cetakan atau tulisan.

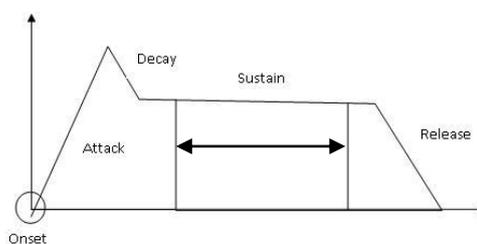


Gambar 3. Representasi dasar musik

### 1.4 Metode sintesis suara digital

Ada beberapa metode sintesis suara digital (Kahrs & Brandenburg, 2002), antara lain : *additive synthesis* (penjumlahan sinyal sinus), *FM – frequency modulation*, *waveshaping*, *spectral modelling synthesis*, *physical modeling*, *linear arithmetic synthesis*, *wavetable synthesis*, *sampling synthesis*, dan lain sebagainya.

Sebuah tipikal *sampling synthesizer* yang lengkap biasanya memiliki kemampuan antara lain: rekaman seluruh nada (note), teknologi pitch shifting, multi-sampling, enveloping, filtering, variasi amplitudo, channel mixing, multiplexed wavetables, dan sustain looping (pengulangan bagian sustain). Pengulangan bagian sustain diperlukan untuk menghasilkan bunyi nada lebih panjang, seperti yang terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Bagian looping/sustain pada envelope ADSR

Metode *additive synthesis* termasuk cara lama yang digunakan untuk membangkitkan suara dengan model sinusoidal persamaan berikut ini:

$$s(n) = \sum_{k=1}^L A_k \cos(k\omega_o n + \phi_k) \quad (1)$$

Dengan  $A_k$  adalah amplitudo dan  $\phi_k$  merupakan fase dari gelombang sinus dengan harmonisa ke- $k$  adalah  $k\omega_o$ ;  $L$  adalah jumlah gelombang sinus.

## 2. PEMBANGKITAN SUARA GAMELAN

### 2.1 Jenis Suara

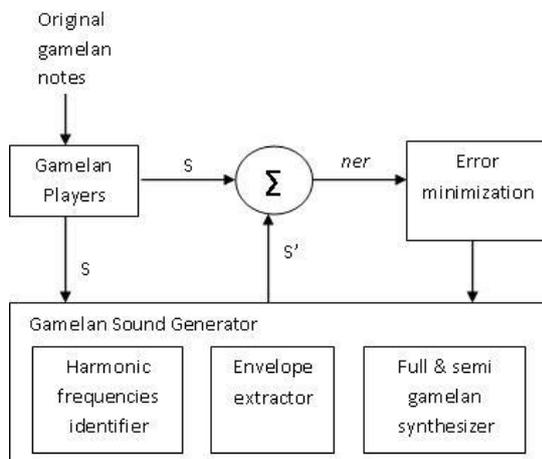
Pada penelitian ini akan disintesis suara gamelan dan disediakan dua jenis data suara gamelan khususnya saron, demung, dan peking.

- Full synthetic.** Suara gamelan dibangkitkan komputer dengan mengekstrak terlebih dulu envelop dari nada instrumen yang diinginkan, selanjutnya envelop tersebut dimanfaatkan untuk membentuk suara gamelan pada frekuensi nada yang sesuai.
- Semi synthetic.** Setiap nada instrumen gamelan direkam dan gamelan dimainkan dengan menggunakan komputer yang diatur berdasarkan notasi gendhing atau lagu.

## 2.2 Teknik Analysis-by-synthesis

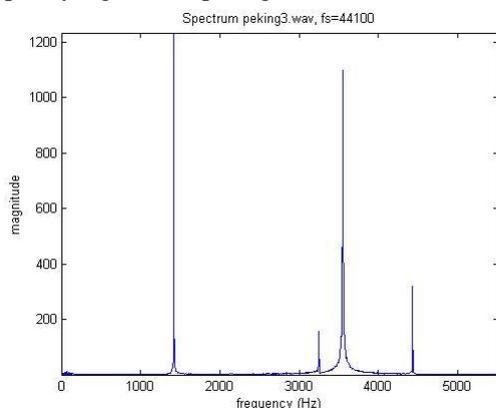
Pertama kali, suara gamelan direkam dengan sampling rate sebesar 44.100 per detik dan dikodekan sebagai 16 bit per sample. Selanjutnya dilakukan identifikasi frekuensi harmonisa dan ekstraksi envelope. Setelah suara gamelan disintesis dengan parameter yang sudah diperoleh, lalu dibandingkan dengan suara gamelan yang dihasilkan oleh para penabuh. Perbedaan kedua suara tersebut digunakan lebih lanjut untuk memperkecilnya sehingga diperoleh suara gamelan sisntesis yang mendekati aslinya.

Identifikasi frekuensi harmonisa dan fase dilakukan dengan menggunakan fungsi `fft()`. Puncak spektrum yang pertama merupakan frekuensi dasar dari nada gamelan yang diamati, kemudian frekuensi harmonisa sisanya diidentifikasi lebih lanjut.



Gambar 5. Alur pembangkitan suara gamelan

Untuk suara *peking3*, frekuensi harmonisa yang teridentifikasi adalah berikut ini yang diurut berdasarkan tinggi puncak spektrum: 1.420 Hz, 3.550 Hz, 4.432 Hz, 3.249 Hz, dan seterusnya seperti yang terlihat pada gambar 6.



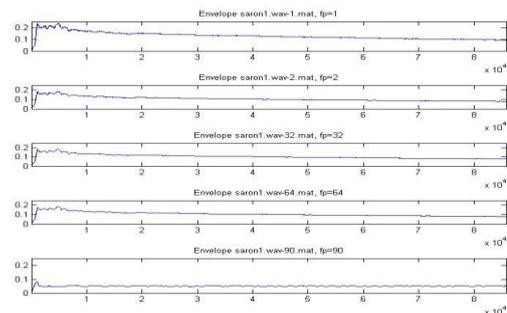
Gambar 6. Spektrum frekuensi harmonisa *peking3* rekaman

Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan envelope sinyal, antara lain : transformasi Hilbert, *low pass filter*, dan memanfaatkan fungsi FFT. Pada penelitian ini ekstraksi bungkus sinyal atau *envelope* dilakukan dengan memanfaatkan fungsi `fft()` dan `ifft()`. Pada penelitian ini digunakan beberapa faktor pembagi *fp* untuk menghasilkan perbedaan tingkat ketelitian envelopenya.

```
1. function [out]=envelopeFFTku(sig,fp)
2. hslfft = fft(sig);
3. jumData = length(sig);
4. [ukuran1 ukuran2] = size(sig)
5. hasil = zeros(ukuran1,ukuran2);
6. npulih = round(jumData/fp);
7. hasil(1:npulih)=hslfft(1:npulih);
8. out = abs(ifft(hasil(1:jumData)));
```

Gambar 7. Fungsi ekstraksi envelope

Faktor pembagi *fp* memiliki pengaruh terhadap amplitude dan bentuk bungkus (*envelope*) sinyal seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Pengaruh faktor *fp* terhadap envelope

Selanjutkan sebuah filter sederhana yang digunakan untuk menghaluskan envelope adalah filter rerata bergerak. Ukuran jendela rerata bergerak ditentukan dengan mengubah nilai variable *n* dengan nilai  $\geq 3$ . Pada contoh berikut jumf diisi dengan 50. Makin besar nilai *n*, makin halus bentuk envelope yang dihasilkan.

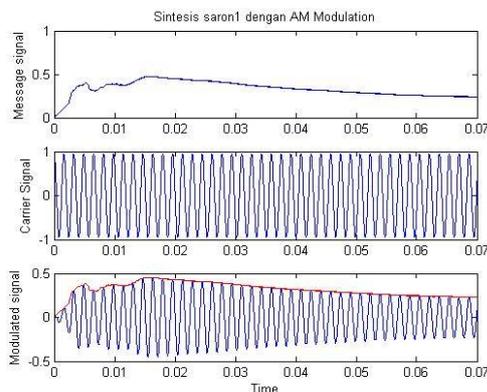
```
n = 50;
b=[];
a=[1];
for k=1:n
    b= [b 1/n];
end;
for k=2:n
    a= [a 0];
end;
envku = filter(b,a,envku);
```

Gambar 9. Filter rerata bergerak dengan ukuran window *n*

### 2.2.1 Pembangkitan suara gamelan full synthetic

Pembangkitan suara gamelan *full synthetic* dilakukan dengan metode modulasi amplitudo (Miranda, 2002). Parameter yang digunakan untuk membangkitkan suara gamelan full synthetic merupakan fitur-fitur sinyal antara lain: amplitudo, frekuensi dasar, frekuensi harmonisa, fase dan magnitudo spektrum, serta envelope sinyal (Bello, Daudet, Abdallah, Duxbury, & Davies, 2005).

Pada modulasi amplitudo, sinyal envelope merupakan sinyal yang akan 'ditumpangkan' pada sinyal pembawa (*carrier*). Modulasi amplitudo dapat dilaksanakan dengan mengalikan sinyal berita (*message*) dengan sinyal pembawa (*carrier*) seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 10. Pembangkitan sinyal saron1 dengan cara modulasi amplitudo

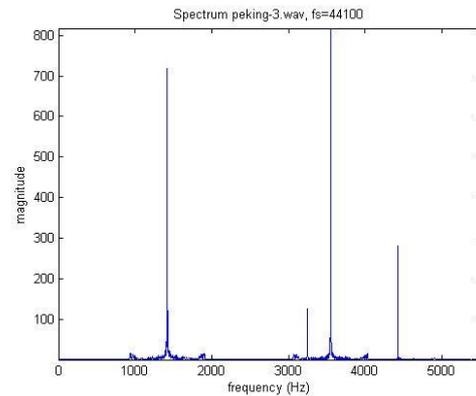
```

1. function [out]=
   generateFullSynthetic(i, fs)
2.   envku = load (nmfil(i));
3.   ps = length(envku);
4.   t = (1:ps)/fs;
5.   f = sin(2*pi*frqsaron(i)*t);
6.   envku = envku';
7.   out = envku .* f;

```

Gambar 11. Fungsi pembangkitan full synthetic dengan modulasi amplitudo

Kualitas suara gamelan yang dihasilkan sangat tergantung pada kelengkapan parameter yang disertakan termasuk envelope yang dipilih. Semakin besar faktor *fp* semakin berkurang kualitas suaranya. Hal ini mudah dipahami karena semakin besar faktor *fp*, semakin sedikit hasil transformasi FFT yang dipergunakan. Akan tetapi semakin kecil faktor *fp* yang dipilih, maka semakin asimetris sinyal yang dibangkitkan. Pada penelitian ini, spektrum yang dihasilkan masih terdapat sedikit perbedaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 dan 12 untuk nada *peking3* yang berasal dari rekaman dan sintesis.



Gambar 12. Spektrum frekuensi harmonisa *peking3* hasil sintesis

### 2.3 Pembangkitan Suara Gamelan Semi synthetic

Pembangkitan suara gamelan semi synthetic memberikan hasil yang lebih memuaskan daripada full synthetic. Ini karena setiap nada instrumen gamelan direkam dan gamelan dimainkan dengan menggunakan komputer yang diatur berdasarkan notasi gendhing atau lagu. Pada penelitian ini, panjang sustain yang bervariasi belum diterapkan, panjang sustain sesuai dengan rekaman nada gamelan aslinya.

Data rekaman gamelan kemudian disimpan dalam repository untuk memudahkan pengelolaan.

```

1. nmsaron = {'saron1', 'saron2',
             'saron3', 'saron5', 'saron6',
             'saron7', 'saron8'};
2. nmpeking = {'peking1', 'peking2',
               'peking3', 'peking5', 'peking6',
               'peking7', 'peking8'};
3. nmdemung = {'demung1', 'demung2',
                'demung3', 'demung5', 'demung6',
                'demung7', 'demung8'};

```

Gambar 13. Nama data rekaman suara gamelan

### 2.4 Representasi notasi gamelan

Pada penelitian ini, notasi gamelan dibuat sesederhana mungkin karena gamelan yang dibunyikan masih tunggal.

```

manyarsewu = {
    '.i.6.i.6.3',
    '.5.3.5.3.5.3.6.5',
    '.6.5.6.5.6.5.3.2',
    '.3.2.3.2.3.2.i.6',
    '.i.6.i.6.i.6.5.3'};

```

Gambar 14. Representasi Lancaran Manyar Sewu

## 2.5 Pembangkitan Suara Gamelan

Suara gamelan dibangkitkan komputer dengan memberikannya parameter yang dibutuhkan, yaitu jenis instrument (saron, demung, atau peking); tempo seberapa cepat setiap nada dibunyikan; amplitudo, dan cara pembangkitannya (*full* atau *semi synthetic*).

Pada awalnya disediakan sebuah array dengan panjang yang mampu menampung hasil suara gamelan untuk sejumlah  $n$  pukulan. Panjang array dihitung dengan memperhatikan tempo dan jumlah seluruh pukulan. Selanjutnya array tersebut diisi dengan sinyal nada pukulan pertama sampai dengan pukulan terakhir sesuai dengan instrumen dan titi nada yang akhirnya membentuk sebuah kesatuan gendhing atau lagu.

Setelah semua titi nada diterjemahkan dan disimpan dalam array hasil, kemudian disimpan sebagai file WAV sesuai dengan frequency sampling yang ditentukan sebelumnya. Fungsi untuk membangkitkan suara gamelan sebagai gendhing atau lagu secara utuh dapat dilihat berikut ini.

```
1. function create_suara_gamelan(  
    instrumen, tempo,  
    amplitudo, fullsintetik)  
2. milisekon = fs/1000;  
3. waktusatupukulan=round(tempo *  
    milisekon);  
4. jumlahdata = jpukulan *  
    waktusatupukulan;  
5. hasil=zeros(1,jumlahdata);  
6. sinyalNada=nadanya(instrumen,  
    amplitudo, fullsintetik);  
7. for i=1:jbaris  
8.     for j=1:jnotasi_perbaris  
9.         idxnada = tentukanidx(jbaris,  
            jnotasi_perbaris);  
10.        idxawal = idxnada *  
            waktusatupukulan;  
11.        hasil(idxawal:idxawal+pj-1) =  
            sinyalNada(1:pj);  
12.    end;  
13. end;
```

Gambar 15. Fungsi pembangkitan suara gamelan

## 3. KESIMPULAN

Pada pembangkitan suara gamelan yang memanfaatkan parameter amplitudo, frekuensi dominan, fase dan frekuensi harmonisa, envelope sinyal, tempo dapat digunakan untuk membuat suara gamelan *full synthetic*. Akan tetapi masih belum mampu menirukan suara dentingan khas logam yang dipukul. Suara yang dibangkitkan juga belum mampu menirukan jenis alat pemukul (kayu dan tanduk kerbau), posisi pukulan (pada bagian tengah atau pinggir) pada bilah instrumen gamelan, ataupun jenis logam yang digunakan untuk membuat instrumen gamelan (kuningan, besi, perunggu).

Sedangkan pada pembangkitan suara gamelan semi synthetic lebih mampu memberikan kualitas suara yang lebih alami. Hal ini karena pada semi synthetic, suara gamelan yang dibangkitkan menggunakan potongan-potongan rekaman suara gamelan.

Pada penelitian berikutnya akan dicoba beberapa metode untuk menghasilkan suara gamelan full synthetic yang lebih alami, antara lain dengan metode *frequency modulation* yang dipakai oleh synthesizer Yamaha DX7 dan algoritme Karplus-Strong.

## PUSTAKA

Bello, J. P., Daudet, L., Abdallah, S., Duxbury, C., & Davies, M. (2005). A Tutorial on Onset Detection in Music Signals. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 1063-6676.

Byrd, D., & Crawford, T. (2002). Problems of music information retrieval in the real world. *Information Processing and Management*, 1S0306-4573(01)00033-4.

Kahrs, M., & Brandenburg, K. (2002). *Applications of digital signal processing to audio and acoustics*. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow: Kluwer Academic Publishers.

Miranda, E. R. (2002). *Computer Sound Synthesis for the Electronic Musician, Second Edition*. Oxford Amsterdam Boston: Focal Press.

Purwadi, W. A. (2006). *Seni Karawitan Jawa Ungkapan keindahan dalam musik gamelan*. Yogyakarta: Hanan Pustaka.

Suprpto, Y. K. (2009b). Segmentation of identical and simultaneously played traditional music instruments using adaptive LMS. *IPTEK*, Vol 20, No 3.

Suprpto, Y. K. (2009c). Sound extraction using adaptive cross power spectral density for generating the music notation for gamelan ensemble. *IEICE Trans Fundamentals*, pp.

Suprpto, Y. K., Hariadi, M., & Purnomo, M. H. (2009a). Time frequency modelling of gamelan instrument based on spectral density for automatic notation. *Conference on Advanced Science and Technology* (s. pp). Seoul, Korea: PCAST.