



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EC 184801**

**PEMBENTUKAN NOTASI GAMELAN  
MENGUNAKAN *SPECTRAL DENSITY***

Kafiyatul Fithri  
NRP 0721154000013

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.  
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - EC 184801**

**PEMBENTUKAN NOTASI GAMELAN  
MENGUNAKAN *SPECTRAL DENSITY***

Kafiyatul Fithri  
NRP 0721154000013

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.  
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - EC 184801**

**GENERATING GAMELAN NOTATION  
USING SPECTRAL DENSITY**

Kafiyatul Fithri  
NRP 0721154000013

Supervisors

Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.  
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

DEPARTMENT OF COMPUTER ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019

## PERNYATAAN KEASLIAN

### TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas Akhir saya dengan judul "**Pembentukan Notasi Gamelan Menggunakan *Band Pass Filter* pada Instrumen Saron**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019



Kafiyatul Fithri

NRP. 0721154000013

## LEMBAR PENGESAHAN

**Pembentukan Notasi Gamelan Menggunakan *Band Pass Filter* pada Instrumen Saron**

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh: Kafiyatul Fithri (NRP: 07211540000013)

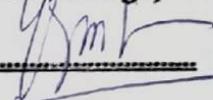
Tanggal Ujian: 18 Juni 2019

Periode Wisuda: September 2019

Disetujui oleh:

Prof. Dr. Ir. Yoyon K. Suprpto, M.Sc.  
NIP: 195409251978031001

(Pembimbing I)

  
\_\_\_\_\_

Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T.  
NIP: 196806011995121009

(Pembimbing II)

  
\_\_\_\_\_

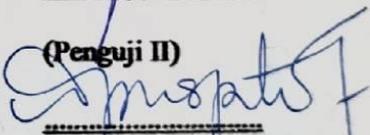
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.  
NIP: 196907301995121001

(Penguji I)

  
\_\_\_\_\_

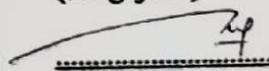
Dr. Diah Puspito Wulandari, S.T., M.T.  
NIP: 198012192005012001

(Penguji II)

  
\_\_\_\_\_

Arief Kurniawan, S.T., M.T.  
NIP: 197409072002121001

(Penguji III)

  
\_\_\_\_\_

Mengetahui  
Kepala Departemen Teknik Komputer

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.  
NIP: 196907301995121001

# ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Kafiyatul Fithri  
Judul Tugas Akhir : Pembentukan Notasi Gamelan Menggunakan *Band Pass Filter* pada Instrumen Saron  
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.  
2. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T.

Penulisan notasi gamelan pada umumnya memiliki banyak variasi tergantung pada seniman yang menuliskannya. Cara mengajar gamelan guru Jawa kepada muridnya tidak menurut notasi baku karena hanya melalui lisan dan bergantung pada ingatan. Maka diperlukan sebuah analisa rekaman notasi musik gamelan agar menjadi sebuah notasi musik untuk mengetahui benar atau tidaknya notasi yang telah dimainkan. Penelitian dilakukan dengan komposisi musik sintetik, semi sintetik, dan akustik. Penelitian dilakukan untuk mencari notasi nada saron yang memiliki jenis nada slendro. Data suara dianalisis dengan cara menampilkan sinyal dalam domain waktu. Frekuensi saron didapat dengan cara mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Frekuensi saron yang didapatkan pada rentang frekuensi 500 Hz hingga 1200 Hz. Hasil pembentukan notasi pada sinyal sintetik memiliki akurasi 100% dan semi sintetik sebesar 100%. Sedangkan pembentukan notasi musik pada sinyal akustik dua instrumen Saron dan Bonang memiliki akurasi sebesar 62.07% serta akurasi pada musik orkestra sebesar 92%.

Kata Kunci: Gamelan, saron, notasi, *band pass filter*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ABSTRACT

*Student Name* : Kafiyatul Fithri  
*Title of Final Project* : *Gamelan Notation Generating using Band Pass Filter for Saron Instrument*  
*Supervisors* : 1. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc.  
2. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T.

*Gamelan notation generally has many variations depending on the artist who wrote it. The way to teach Javanese teacher gamelan to his students is not according to the standard notation because it is only through oral and dependent on memory. Then we need an analysis of the recording of gamelan music notation so that it becomes a musical notation to determine whether or not the notation has been played. The research was carried out with compositions of synthetic, semi-synthetic and acoustic music. The research was conducted to find saron tone notation with slendro tone. Sound data is analyzed by displaying signals in the time domain. The saron frequency is obtained by transforming the signal from the time domain to the frequency domain. Saron frequency obtained in the frequency range of 500 Hz to 1200 Hz. The results of the formation of notations in synthetic signals have 100% accuracy and semi synthetic at 100%. While the formation of musical notation on the acoustic signal of two instruments Saron and Bonang has an accuracy of 62.07% and accuracy in orchestral music is 92%.*

*Keyword: Gamelan, saron, notation, band pass filter.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **Pembentukan Notasi Gamelan Menggunakan *Band Pass Filter* pada Instrumen Saron**.

Dalam pengerjaannya, tugas akhir ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah menganugerahkan kesehatan, kenikmatan, kelancaran, dan anugerah lainnya dalam kehidupan penulis.
2. Keluarga penulis, Ibu, Bapak, kedua kakak, dan adik yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T.,M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc. dan Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T. atas arahan dan kesabaran dalam membimbing pengerjaan tugas akhir ini.
5. Dosen-dosen Departemen Teknik Komputer atas ilmu, pengajaran, serta perhatian yang diberikan kepada penulis selama kuliah.
6. KITT sebagai teman sekaligus keluarga selama menjalani kuliah di Surabaya.
7. Kawan seperjuangan Teknik Komputer 2015 yang selalu memberikan dukungan mental selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. e55, teman-teman Laboratorium B201, B202, dan B401 yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>Abstrak</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR NOMENKLATUR</b>	<b>xv</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang . . . . .	1
1.2 Permasalahan . . . . .	2
1.3 Tujuan . . . . .	2
1.4 Batasan masalah . . . . .	2
1.5 Metodologi . . . . .	3
1.6 Sistematika Penulisan . . . . .	3
1.7 Relevansi . . . . .	4
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 Gamelan . . . . .	5
2.1.1 Notasi Gamelan . . . . .	9
2.2 Musik Berdasarkan Jumlah Nada . . . . .	10
2.3 Musik Berdasarkan Pembentukan Lagu . . . . .	10
2.4 Sinyal Suara . . . . .	11
2.5 <i>Pitch</i> dan <i>Timbre</i> . . . . .	11
2.6 Pengolahan Sinyal . . . . .	12
2.6.1 Sinyal Domain Waktu . . . . .	13
2.6.2 Sinyal Domain Frekuensi . . . . .	13
2.7 Daerah Sinyal . . . . .	15
2.8 Filter . . . . .	15
2.9 Python . . . . .	17

2.10	<i>Ground Truth</i> . . . . .	18
<b>3</b>	<b>DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM</b>	<b>19</b>
3.1	Desain Sistem . . . . .	19
3.2	Pustaka Pendukung Implementasi . . . . .	20
3.2.1	SciPy . . . . .	20
3.2.2	NumPy . . . . .	20
3.2.3	Matplotlib . . . . .	21
3.3	Sinyal Masukan . . . . .	21
3.4	Normalisasi Amplitudo . . . . .	21
3.5	Pembangkitan Sinyal . . . . .	23
3.6	<i>Filtering</i> . . . . .	25
3.7	<i>Threshold</i> . . . . .	27
3.8	Pembentukan Notasi ( <i>Notation Generating</i> ) . . . . .	28
3.9	Evaluasi Kesalahan Hasil ( <i>Note Error Rate</i> ) . . . . .	29
<b>4</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISA</b>	<b>31</b>
4.1	Sinyal Masukan . . . . .	31
4.2	Normalisasi Amplitudo . . . . .	39
4.3	<i>Filtering</i> . . . . .	41
4.4	<i>Envelope</i> dan <i>Threshold</i> . . . . .	50
4.5	Notation Generating dan Evaluasi Kesalahan Hasil . . . . .	54
4.6	Pengujian Notasi Berdasarkan Jumlah Pukulan . . . . .	64
<b>5</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>73</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	73
5.2	Saran . . . . .	73
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>75</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>100</b>
	<b>Biografi Penulis</b>	<b>101</b>

# DAFTAR GAMBAR

2.1	Gamelan . . . . .	5
2.2	Kendang . . . . .	6
2.3	Gong . . . . .	6
2.4	Instrumen Balungan . . . . .	7
2.5	Kenong . . . . .	8
2.6	Bonang . . . . .	8
2.7	Slenthem . . . . .	9
2.8	Blok Diagram Pengolahan Sinyal Digital . . . . .	12
2.9	Gelombang dalam Domain Waktu[1] . . . . .	13
2.10	Gelombang dalam Domain Frekuensi[1] . . . . .	13
2.11	ADSR . . . . .	15
2.12	Respon frekuensi dari LPF . . . . .	16
2.13	Respon frekuensi dari HPF . . . . .	16
2.14	Respon frekuensi dariBLPF . . . . .	17
2.15	Respon frekuensi dari BSF . . . . .	17
2.16	Notasi Manyar Sewu . . . . .	18
3.1	Bagan Umum Metodologi Sistem . . . . .	19
3.2	Plot <i>input</i> sinyal Saron 1 . . . . .	21
3.3	Sinyal sebelum normalisasi amplitudo . . . . .	22
3.4	Sinyal sesudah normalisasi amplitudo . . . . .	22
3.5	Sinyal Sintetik Saron 537 Hz . . . . .	23
3.6	Sinyal Sintetik Nada Dasar Saron . . . . .	24
3.7	Diagram Alir <i>Band Pass Filter</i> Melalui Penggabungan dari <i>Low Pass Filter</i> dan <i>High Pass Filter</i> . . . . .	25
3.8	Parameter <i>Band Pass Filter</i> . . . . .	25
3.9	Spektrum Sinyal Nada Saron . . . . .	26
3.10	Hasil Proses <i>Band Pass Filter</i> pada Saron 2 . . . . .	26
3.11	Sinyal Sebelum <i>Thresholding</i> . . . . .	27
3.12	Sinyal Setelah <i>Thresholding</i> . . . . .	27
4.1	Sinyal Asli Sintetik (Saron) . . . . .	32
4.2	Spektrum Sinyal Sintetik (Saron) . . . . .	32
4.3	Sinyal Asli Semi Sintetik 1 (Saron) . . . . .	33
4.4	Spektrum Semi Sintetik 1 (Saron) . . . . .	33

4.5	Sinyal Asli Semi Sintetik 2 (Saron Gabungan) . . . . .	34
4.6	Spektrum Semi Sintetik 2 (Saron Gabungan) . . . . .	34
4.7	Sinyal Asli Semi Sintetik 3 (Saron+Demung+Peking)	34
4.8	Spektrum Semi Sintetik 3 (Saron+Demung+Peking)	35
4.9	Sinyal Asli Akustik 1 (Saron) . . . . .	35
4.10	Spektrum Akustik 1 (Saron) . . . . .	35
4.11	Sinyal Asli Akustik 2 (Saron+Bonang) . . . . .	36
4.12	Spektrum Akustik 2 (Saron+Bonang) . . . . .	36
4.13	Sinyal Asli Akustik 3 (Saron+Peking) . . . . .	37
4.14	Spektrum Akustik 3 (Saron+Peking) . . . . .	37
4.15	Sinyal Asli Akustik 4 (Saron+Demung) . . . . .	37
4.16	Spektrum Akustik 4 (Saron+Demung) . . . . .	38
4.17	Sinyal Asli Akustik 5 (Orkestra) . . . . .	38
4.18	Spektrum Akustik 5 (Orkestra) . . . . .	38
4.19	Sinyal Normalisasi Sintetik . . . . .	39
4.20	Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 1 . . . . .	39
4.21	Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 2 . . . . .	40
4.22	Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 3 . . . . .	40
4.23	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron1 . . . . .	41
4.24	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron2 . . . . .	41
4.25	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron3 . . . . .	42
4.26	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron5 . . . . .	42
4.27	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron6 . . . . .	43
4.28	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Saron7 . . . . .	43
4.29	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron1 . . . . .	44
4.30	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron2 . . . . .	44
4.31	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron3 . . . . .	45
4.32	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron5 . . . . .	45
4.33	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron6 . . . . .	46
4.34	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Semi Sintetik Saron7 . . . . .	46
4.35	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron1 . . . . .	47
4.36	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron2 . . . . .	47
4.37	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron3 . . . . .	48
4.38	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron5 . . . . .	48
4.39	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron6 . . . . .	49
4.40	Hasil <i>Filtering</i> Sinyal Akustik Saron7 . . . . .	49
4.41	Hasil <i>Envelope</i> Sinyal Sintetik . . . . .	50
4.42	Hasil <i>Envelope</i> Sinyal Semi Sintetik . . . . .	51

4.43 Hasil <i>Threshold</i> Sinyal Semi Sintetik . . . . .	52
4.44 Hasil <i>Envelope</i> Sinyal Akustik . . . . .	53
4.45 Hasil <i>Threshold</i> Sinyal Akustik . . . . .	53
4.46 Perbandingan hasil NER . . . . .	63
4.47 Sinyal Hasil Pengujian 4 Pukulan . . . . .	64
4.48 Sinyal Hasil Pengujian 6 Pukulan . . . . .	65
4.49 Sinyal Hasil Pengujian 8 Pukulan . . . . .	66
4.50 Sinyal Hasil Pengujian 12 Pukulan . . . . .	68
4.51 Sinyal Hasil Pengujian 14 Pukulan . . . . .	69
4.52 Sinyal Hasil Pengujian 25 Pukulan . . . . .	70

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR TABEL

3.1	Frekuensi Dasar Nada Saron Slendro [2] . . . . .	24
4.1	Tabel Hasil Notasi Nada Sintetik . . . . .	54
4.2	Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 1 . . . . .	55
4.3	Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 2 . . . . .	56
4.4	Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 3 . . . . .	57
4.5	Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 1 . . . . .	58
4.6	Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 2 . . . . .	59
4.7	Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 3 . . . . .	60
4.8	Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 4 . . . . .	61
4.9	Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 5 . . . . .	62
4.10	Perbandingan NER Sampel Pengujian Notasi . . . . .	63
4.11	Tabel Hasil Pengujian Notasi 4 Pukulan . . . . .	64
4.12	Tabel Hasil Pengujian Notasi 6 Pukulan . . . . .	66
4.13	Tabel Hasil Pengujian Notasi 8 Pukulan . . . . .	67
4.14	Tabel Hasil Pengujian Notasi 12 Pukulan . . . . .	68
4.15	Tabel Hasil Pengujian Notasi 14 Pukulan . . . . .	69
4.16	Tabel Hasil Pengujian Notasi 25 Pukulan . . . . .	71

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR NOMENKLATUR

1.  $f_s$  : Frekuensi sampling
2.  $X_{in}$  : Sinyal masukan
3.  $X_{norm}$  : Sinyal normalisasi
4.  $n$  : Panjang sampling
5.  $f$  : Frekuensi dasar
6.  $X_s$  : Sinyal sinusoidal
7.  $X_s(n)$  : Sinyal sintetik
8.  $\theta$  : Sudut fasa
9.  $x(t)$  : Sinyal dalam domain waktu
10.  $x(f)$  : Sinyal dalam domain frekuensi
11.  $e^{-j\omega t}$  : Fungsi kernel
12.  $fl$  : Frekuensi cut off bawah
13.  $fh$  : Frekuensi cut off atas

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Penelitian ini di latar belakang oleh berbagai kondisi yang menjadi acuan. Selain itu juga terdapat beberapa permasalahan yang akan dijawab sebagai luaran dari penelitian.

### 1.1 Latar belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki beragam budaya dan suku bangsa. Salah satu budaya tradisional yang dikenal di Indonesia adalah gamelan. Gamelan merupakan seperangkat alat musik yang terdiri dari kendang, bonang, bonang penerus, demung, saron, peking, kenong dan ketuk, slenthem, gender, gong, gambang, rebab, siter dan suling. Alat musik gamelan dibuat secara manual oleh seseorang yang disebut empu yang menera peralatan gamelan hanya berdasarkan kepekaan dan pengalaman si pembuat tanpa dilengkapi dengan peralatan yang memadai sehingga sulit didapatkan gamelan yang identik[3]. Alat musik gamelan dikenakan nada secara bebas dalam hal resonansi, warna nada dan amplitudo atau frekuensinya. Sehingga besar kemungkinan terdapat perbedaan bunyi antara gamelan satu dengan yang lainnya. Hal ini berbeda dengan alat musik barat yang sudah mempunyai nada stabil, frekuensi teratur, dan amplitudo yang tetap. Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi perbedaan bunyi gamelan diantaranya adalah perbedaan cara pukul dan kelentingan material yang digunakan.

Dalam sebuah karya musik gamelan terdapat panduan bermain instrumen gamelan dalam bentuk notasi musik. Musik gamelan ditulis menggunakan angka untuk merepresentasikan notasinya. Karena musiknya bersifat siklis dan di masa lalu gamelan merupakan tradisi lisan, notasi pada umumnya tidak pasti karena cenderung ada variasi tergantung pada siapa yang menuliskannya[4]. Namun pada kenyataannya para guru Jawa belum ada yang dapat menggunakan notasi, karena sebelumnya tidak diajarkan. Cara mengajar guru Jawa kepada muridnya tidak menurut notasi baku dan bisa saja ada beberapa notasi yang tidak sesuai karena ajarannya hanya secara lisan dan bergantung pada ingatan.

Cukup banyak karya-karya baru dan lama dari para pencipta musik seni di Indonesia yang hilang atau dilupakan begitu saja karena tiadanya dokumen-dokumen tertulis otentik memadai yang memungkinkan untuk bisa dilacak kembali melalui studi kearsipan manuskrip. Dokumen dalam bentuk rekaman *audio-visual* tidak cukup memadai untuk menelaah kembali studi karya musik. Dokumen tertulis dalam berbagai deskripsi teks, tanda-tanda, corat-coret kode, dan petunjuk simbol-simbol, maupun notasi komposisi masih tetap relevan dan menjadi sumber bukti utama untuk suatu telaah musik. (Suka Hardjana, 2003)

Berdasarkan uraian diatas, penelitian untuk pembentukan notasi musik dari sinyal suara menjadi representasi angka diperlukan agar para pemain musik gamelan memiliki panduan dalam memainkan alat musik gamelan.

## **1.2 Permasalahan**

Proses pengenalan notasi dari rekaman suara gamelan masih tergolong sukar untuk didapatkan hasil yang akurat. Pelestarian musik gamelan sedikit terhambat oleh ketidakmampuan para pengajar untuk menuliskan kembali notasi gamelan. Pengetahuan mengenai notasi gamelan tidak diajarkan secara menyeluruh karena proses pengajaran gamelan guru Jawa melalui perantara lisan dan bergantung pada ingatan sang guru. Oleh sebab itu banyak karya-karya seni musik gamelan yang tidak memiliki dokumen otentik maupun arsip notasi lagu sehingga karya seni tersebut bisa saja hilang dan dilupakan.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin diperoleh dari tugas akhir ini adalah mendapatkan notasi musik gamelan dari rekaman suara gamelan yang diproses menggunakan *band pass filter*. Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi sarana untuk mendokumentasikan notasi musik gamelan sehingga membantu untuk melestarikan seni gamelan melalui pengarsipan notasi musiknya.

## **1.4 Batasan masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir, permasalahan di atas dibatasi dengan asumsi sebagai berikut :

1. Sinyal gamelan yang diamati ialah sinyal gamelan kelompok saron.
2. Aplikasi perekam suara dapat merekam dalam format \*.wav.
3. Menggunakan tabel referensi frekuensi dasar saron.
4. Eksperimen dilakukan terhadap sinyal hasil rekaman pemain gamelan (akustik) dan sinyal hasil penggabungan rekaman nada-nada tunggal yang telah ditentukan terlebih dahulu (semi sintetik).

## 1.5 Metodologi

Dalam tugas akhir ini, alur kerja yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur  
Pengumpulan pustaka untuk mempelajari dasar-dasar pengolahan sinyal digital, pemrograman *python*, dan filter *band pass* dalam pengaplikasiannya untuk suara gamelan.
2. Desain Sitem  
Pembuatan desain sistem yang dapat mengidentifikasi notasi dari suara masukan sinyal gamelan.
3. Implementasi  
Pada tahap ini dilakukan pengambilan sinyal dari sinyal yang diamati berupa sinyal akustik dan semi sintetik. Sinyal referensi dan sinyal yang diamati akan diolah menggunakan *band pass filter*.
4. Pengujian Sistem  
Menguji sistem yang telah diimplementasikan menggunakan program untuk melihat error rate kesalahan notasi yang didapatkan.
5. Perbaikan Sistem  
Memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi, baik dari segi desain maupun implementasi.
6. Penulisan Laporan

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga mudah dipahami dan dipelajari oleh pem-

baca maupun seseorang yang ingin melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu:

1. BAB I Pendahuluan  
Bab ini berisi uraian tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan.
2. BAB II Dasar Teori  
Pada bab ini berisi tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada pengerjaan tugas akhir ini. Teori-teori ini digunakan sebagai dasar dalam pengerjaan, yaitu informasi mengenai konsep dasar gamelan, STFT, band pass filter, dan teori-teori penunjang lainnya.
3. BAB III Perancangan Sistem dan Impementasi  
Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait sistem yang akan dibuat. Guna mendukung itu digunakanlah blok diagram atau *work flow* agar sistem yang akan dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk implentasi pada pelaksanaan tugas akhir.
4. BAB IV Pengujian dan Analisa  
Bab ini berisi data-data pengujian berupa tabel hasil pengujian, wujud *visual* sinyal, dan notasi angka yang dilakukan menggunakan *band pass filter* beserta analisisnya.
5. BAB V Penutup  
Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Saran dan kritik yang membangun untuk pengembangan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah memberikan suatu kemudahan untuk pembacaan notasi yang telah dibuat dan dapat dikembangkan dengan menggunakan berbagai macam instrumen gamelan.

## BAB 2

# TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 dibahas mengenai konsep-konsep serta teori-teori dasar yang menunjang proses penelitian.

### 2.1 Gamelan

Gamelan berasal dari kata *nggamel* (dalam bahasa Jawa) atau *gamel* yang berarti memukul (menabuh), diikuti akhiran *-an* yang menjadikannya sebagai kata benda. Istilah gamelan mempunyai arti sebagai satu kesatuan alat musik yang dimainkan bersama (Antti dan T. Astola, 2004). Gamelan Jawa adalah satu set alat musik yang terdiri dari berbagai macam variasi bentuk dan ukuran, serta mempunyai bunyi yang berbeda-beda. Cara memainkannya juga bermacam-macam, namun kebanyakan diantaranya dipukul atau ditabuh. Alat musik Gamelan Jawa antara lain adalah gong, bonang, kempul, kenong, kethuk-kempyang, celempung, suling, kemanak, kendhang, rebab, saron, peking, demung, dan slenthem. Permainan gamelan biasa disebut dengan karawitan (Ferdiansyah, 2010).



Gambar 2.1: Gamelan

Komponen utama dari susunan alat-alat musik gamelan adalah bambu, logam, dan kayu. Masing-masing alat memiliki fungsi tersendiri dalam pagelaran musik gamelan, misalnya gong berperan

menutup sebuah irama musik yang panjang dan memberi keseimbangan setelah sebelumnya musik dihiasi oleh irama gending. Seperangkat gamelan terdiri dari beberapa macam instrumen antara lain[5]:

1. Kendang

Kendhang atau gendang adalah instrumen yang salah satu fungsi utamanya adalah untuk mengatur irama. Instrument ini dibunyikan dengan tangan, tanpa alat bantu. Jenis kendang yang kecil disebut ketipung, yang menengah disebut kendang ciblon/kebar.



**Gambar 2.2:** Kendang

2. Gong

Gong menandai permulaan dan akhiran gendhing dan memberi rasa keseimbangan setelah berlalunya kalimat lagu gendhing yang panjang. Gong sangat penting untuk menandai berakhirnya satuan kelompok dasar lagu, sehingga kelompok itu sendiri (kalimat lagu di antara dua tabuhan gong) dinamakan gongan.



**Gambar 2.3:** Gong

### 3. Balungan

Balungan merupakan instrumen gamelan berbentuk wilahan (Jawa : bilahan) dengan enam atau tujuh wilah (satu oktaf) ditumpangkan pada bingkai kayu yang juga berfungsi sebagai resonator yang ditabuh dengan menggunakan tabuh dari kayu. Dalam memainkan Balungan ini, tangan kanan memukul wilahan atau lembaran logam dengan tabuh, lalu tangan kiri memencet wilahan yang dipukul sebelumnya untuk menghilangkan dengungan yang tersisa dari pemukulan nada sebelumnya. Teknik ini disebut memathet (kata dasar: pathet = pencet). Menurut ukuran dan fungsinya, terdapat tiga jenis balungan, yaitu demung, saron, dan peking.

#### a. Demung

Demung memiliki ukuran besar dan beroktaf tengah. Umumnya, satu perangkat gamelan mempunyai satu atau dua demung. Tetapi ada gamelan di kraton yang mempunyai lebih dari dua demung.

#### b. Saron

Saron memiliki ukuran sedang dan beroktaf tinggi. Seperangkat gamelan mempunyai dua saron, tetapi ada gamelan yang mempunyai lebih dan dua saron.

#### c. Peking

Peking berbentuk saron yang paling kecil dan beroktaf paling tinggi. Saron panerus atau peking memainkan tabuhan rangkap dua atau rangkap empat lagu balungan.



**Gambar 2.4:** Instrumen Balungan

#### 4. Kenong

Kenong disusun pada pangkon berupa kayu keras yang dilasi dengan tali, sehingga pada saat dipukul kenong tidak akan bergoyang ke samping namun dapat bergoyang ke atas bawah, sehingga menghasilkan suara. Bentuk kenong yang besar menghasilkan suara yang rendah namun nyaring dengan timber yang khas (dalam telinga masyarakat Jawa ditangkap berbunyi ning-nong, sehingga dinamakan kenong).



**Gambar 2.5:** Kenong

#### 5. Bonang

Bonang terbagi dari 3 macam yaitu bonang barung, bonang panembung, dan bonang penerus. Bonang mempunyai bentuk seperti "ceret" atau "pot" yang ditempatkan secara horizontal ke string dalam bingkai kayu, baik satu atau dua baris lebar. Semua ceret memiliki bos pusat atau tonjolan di tengahnya. Jika bos pusat tersebut dipukul akan menghasilkan bunyi.



**Gambar 2.6:** Bonang

#### 6. Slenthem

Slenthem merupakan salah satu instrumen gamelan yang terdiri dari lembaran lebar logam tipis yang diuntai dengan kuti nada saron, ricik, dan balungan bila ditabuh. Dalam satu set

gamelan slenthem tentunya memiliki versi *slendro* dan versi *pelog*. Wilahan slenthem *pelog* umumnya memiliki rentang nada C hingga B, sedangkan slenthem *slendro* memiliki rentang nada C, D, E, G, A, C.



**Gambar 2.7:** Slenthem

### 2.1.1 Notasi Gamelan

Dalam musik karawitan jawa seringkali kita dengar istilah laras *slendro* dan laras *pelog*, kedua laras tersebut dalam istilah musik modern bisa disebut sebagai tangga nada yakni susunan nada dalam satu oktaf. Kedua laras sering digunakan dalam gendhing yang dimainkan dengan seperangkat gamelan jawa. Gendhing adalah susunan melodi yang membentuk suasana dan karakter tertentu dalam musik jawa. Titaras adalah istilah yang digunakan di lingkungan karawitan untuk menyebut notasi yaitu lambang yang mewakili tinggi dan harga laras atau nada. Titaras yang masih banyak digunakan di lingkungan karawitan adalah titaras Kepatihan yang dibuat oleh Kanjeng Raden Mas Haryo Wreksadiningrat di Kepatihan Keraton Surakarta Hadiningrat pada tahun 1910. Notasi Kepatihan mengadopsi notasi angka *Cheve*, yaitu menggunakan angka dari 1 sampai dengan 7 dimana angka 7 untuk menunjukkan nada 1 oktaf tinggi[5].

Laras *slendro* merupakan sistem urutan nada yang terdiri dari lima nada dalam satu *gembyang* (oktaf), nada tersebut diantaranya nada 1 (ji), 2 (ro), 3 (lu), 5 (mo), 6 (nem). Istilah ji, ro, lu, mo, nem tersebut merupakan nama singkatan angka dari bahasa jawa, ji berarti *siji* (satu), ro berarti *loro* (dua), lu berarti *telu* (tiga), mo berarti *limo* (lima) dan nem berarti *enem* (enam). Selain laras

*slendro*, dalam karawitan Jawa juga dikenal istilah laras *pelog*, yaitu tangga nada yang terdiri dari tujuh nada yang berbeda. Nada-nada tersebut diantaranya nada 1 (ji), 2 (ro), 3 (lu), 4 (pat), 5 (mo), 6 (nem) dan 7 (pi). Jika dibandingkan dengan tangga nada diatonis, susunan tangga nada *pelog* kurang lebih sama dengan susunan tangga nada mayor (do, re, mi, fa, so, la, si, do), namun penyebutan untuk karawitan tetap menggunakan bahasa Jawa (ji, ro, lu, pat, mo, nem, pi).

Diantara tingkatan dari barisan lagu gamelan, lagu yang dimainkan saron dipilih untuk dinotasikan. Hal ini disebabkan lagu saron adalah yang paling mudah diidentifikasi di antara instrumen-instrumen gamelan lainnya. Pada awal abad ke-20 muncul suatu teori tentang identifikasi lagu saron sebagai lagu pokok gendhing sementara lagu instrumen lainnya diciptakan berdasarkan lagu pokok.

## 2.2 Musik Berdasarkan Jumlah Nada

Berdasarkan jumlah nada yang terkandung, jenis musik dapat dibedakan menjadi musik monofoni dan polifoni.

### a. Musik Monofoni

Musik monofoni merupakan jenis musik melodi tunggal yang terdiri dari satu suara saja. Contohnya suara Saron 5.

### b. Musik Polifoni

Musik polifoni merupakan jenis musik yang tersusun dari dua atau beberapa melodi yang berbeda kemudian dimainkan bersama. Contoh musik polifoni adalah musik yang terdiri dari gabungan Saron 5 dan Saron 3.

## 2.3 Musik Berdasarkan Pembentukan Lagu

Berdasarkan jenis pembentukan lagu, jenis musik dapat dibedakan menjadi musik sintetik, semi sintetik, dan akustik.

### a. Sintetik

Musik sintetik merupakan musik gamelan yang dibuat sendiri menggunakan nada-nada dasar yang diinginkan. Musik sintetik dibentuk dari pembangkitan sinyal dengan frekuensi dasar yang sudah ditentukan.

b. Semi Sintetik

Musik semi sintetik merupakan musik hasil penggabungan rekaman nada-nada tunggal gamelan yang telah ditentukan terlebih dahulu. Musik semi sintetik dapat dibentuk dari satu instrumen maupun lebih dari satu instrumen gamelan.

c. Akustik

Musik akustik merupakan rekaman musik gamelan yang direkam oleh pemain gamelan yang disimpan dalam format \*.wav. Musik akustik terdiri dari beberapa instrumen gamelan yang dipukul secara bersama-sama.

## 2.4 Sinyal Suara

Sinyal suara adalah sebuah sinyal yang dihasilkan dari sebuah benda yang bergetar dan menghasilkan bunyi yang memiliki nilai kontinu terhadap waktu (analog). Sinyal suara bervariasi dalam tingkatan tekanan suara (amplitudo) dan dalam frekuensi. Jumlah waktu yang diperlukan untuk terjadinya suatu getaran atau gelombang dinamakan perioda ( $T$ ). Jumlah gelombang yang terjadi setiap detik dinamakan frekuensi ( $f$ ) dengan satuan Hertz (Hz). Sedangkan amplitudo adalah keras lemahnya bunyi atau tinggi rendahnya gelombang yang memiliki satuan desibel (db).

Telinga manusia dapat mendengar bunyi antara 20 Hz hingga 20 KHz (20.000 Hz) sesuai dengan batasan sinyal suara. Angka 20 Hz sebagai frekuensi suara terendah yang dapat didengar, sedangkan 20 KHz merupakan frekuensi tertinggi yang dapat didengar. Suara yang berada pada jarak pendengaran manusia disebut audio dan gelombangnya sebagai sinyal akustik. Suara di luar jarak pendengaran manusia dapat dikatakan sebagai *noise*. *Noise* merupakan getaran yang tidak teratur, tidak berurutan dalam berbagai frekuensi dan tidak dapat didengar oleh manusia.

## 2.5 *Pitch* dan *Timbre*

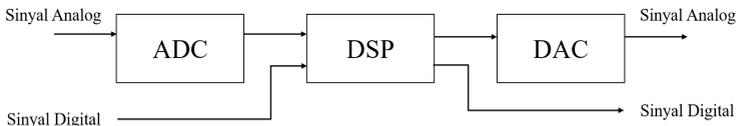
Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk membedakan berbagai jenis suara adalah *pitch* atau frekuensi dasar dari sinyal suara. *Pitch* adalah sifat dari nada musik atau suara manusia yang dibentuk karena hubungan frekuensi dan amplitudo. Apabila frekuensi sinyal tinggi, maka *pitchnya* juga tinggi. Perbedaan tinggi rendah suara juga berhubungan dengan jarak antar *pitch* pa-

da gelombang. Panjang jarak tersebut berpengaruh pada frekuensi. Semakin pendek jarak semakin tinggi frekuensi. Sebaliknya semakin lebar jarak semakin rendah frekuensi. Pada lingkup musik, tinggi rendah suara diwakili dengan notasi. Setiap notasi memiliki standar frekuensi.

Timbre merupakan ciri suara yang dapat membedakan suara instrumen yang satu dengan yang lain karena beda intensitas dan banyaknya *harmonic* dan *sub harmonic*. Timbre dalam seni musik sering juga disebut dengan warna suara. Sebagai ilustrasi suara yang dihasilkan oleh instrumen saron yang memainkan nada *ji* berbeda dengan suara yang dihasilkan instrumen peking walaupun dimainkan dengan nada yang sama. Perbedaan karakter suara antara saron dengan peking disebabkan perbedaan timbre. Gambar menunjukkan keberadaan sebuah frekuensi dasar sebuah sinyal, *harmonisc* dan *sub harmonic*

## 2.6 Pengolahan Sinyal

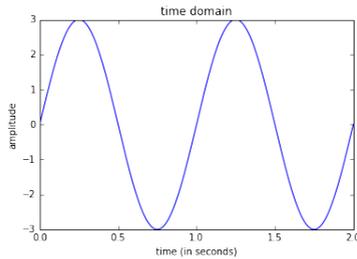
Pengolahan sinyal adalah suatu operasi matematik yang dilakukan terhadap suatu sinyal sehingga diperoleh informasi yang berguna. Elemen dasar sinyal terdiri dari sinyal *input*, proses pengolahan, dan sinyal *output*. Sinyal *input* maupun sinyal *output* dapat berupa sinyal analog maupun sinyal digital. Sistem pada gambar 3.1 didefinisikan sebagai pemroses sinyal. Sistem biasanya digambarkan sebagai sebuah kotak yang memiliki dua panah merepresentasikan sinyal. Panah masuk adalah sinyal masukan yang akan diproses, sedangkan panah keluar merepresentasikan sinyal hasil pemrosesan.



**Gambar 2.8:** Blok Diagram Pengolahan Sinyal Digital

## 2.6.1 Sinyal Domain Waktu

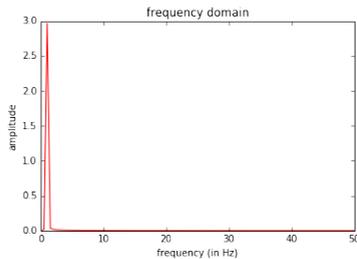
Domain waktu didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sebuah isyarat atau gelombang untuk mencapai suatu gelombang penuh dan dapat menentukan nilai periodesitasnya. Domain waktu menunjukkan perubahan amplitudo tiap satuan waktu. Gambar 2.9 menunjukkan gambar gelombang dalam domain waktu.



**Gambar 2.9:** Gelombang dalam Domain Waktu[1]

## 2.6.2 Sinyal Domain Frekuensi

Domain frekuensi diartikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam 1 detik. Frekuensi didefinisikan secara sederhana sebagai kebalikan dari waktu. Sehingga waktu yang satuannya memiliki detik (*second*) akan menjadi Hertz (1 *per second*) hanya akan memiliki tepat satu nilai spektrum. Yang dikenal dengan spektrum frekuensi. Gambar 2.10 menunjukkan gambar gelombang dalam domain frekuensi.



**Gambar 2.10:** Gelombang dalam Domain Frekuensi[1]

Untuk membuat sinyal dalam domain frekuensi diperlukan sebuah transformasi fourier berupa Fast Fourier Transform (FFT). Transformasi Fourier (*Fourier Transform*) adalah suatu model transformasi yang memindahkan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Dalam pengolahan sinyal suara, transformasi fourier digunakan untuk mengubah domain spasial pada sinyal menjadi domain frekuensi. Analisa analisa dalam domain frekuensi banyak digunakan seperti *filtering*. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal suara dapat dilihat sebagai suatu obyek dalam domain frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk transformasi dari sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 [6].

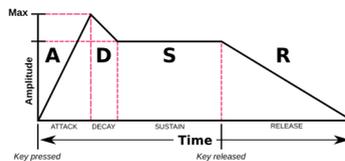
$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} \quad (2.1)$$

Penemuan FFT oleh JW Cooley dan John Tukey pada tahun 1965, dikenal sebagai algoritma Cooley-Tukey pada saat itu merupakan sebuah terobosan besar. Proses perekaman suara disimpan dalam bentuk digital berupa gelombang spektrum suara berbasis frekuensi. Teknik FFT digunakan untuk mengekstrak komponen-komponen data pada domain spektral atau frekuensi, dimana pada domain spasial ataupun domain waktu komponen-komponen tersebut tidak dapat terlihat secara eksplisit. Hasil dari proses *Fast Fourier Transform* (FFT) menghasilkan pendeteksian gelombang frekuensi domain dalam bentuk diskrit[7]. FFT memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan (Jans Hendry, 2012). Kelebihan FFT diantaranya ialah FFT mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung di dalam sinyal serta mampu menunjukkan beberapa komponen frekuensi yang ada di dalam sinyal. Sedangkan kekurangan FFT diantaranya ialah FFT hanya mampu menganalisis sinyal stasioner dan hanya memberikan informasi berupa komponen frekuensi yang terdapat pada sinyal tapi tidak bisa menunjukkan waktu terjadinya frekuensi tersebut secara bersamaan.

## 2.7 Daerah Sinyal

Keluaran suara dari alat musik tidak langsung menuju amplitudo tertingginya dan juga tidak secara instan menunjukkan amplitudo nol. Dibutuhkan sejumlah waktu untuk mencapai titik tertinggi dari sinyal dan sejumlah waktu sinyal untuk menghilangkan suara. Dalam pengolahan sinyal suara, sebuah *envelope* berhubungan dengan elemen seperti amplitudo dan filter (frekuensi). Sebuah instrumen musik ketika dipukul menciptakan suara awal yang hampir langsung yang secara bertahap mengurangi amplitudonya menjadi nol. ADSR adalah singkatan dari *attack*, *decay*, *sustain*, dan *release* dan digunakan untuk memodelkan timbre dari suatu instrumen. Kualitas timbre atau nada ditentukan oleh berbagai faktor seperti cara suara dihasilkan dan bahan instrumen yang digunakan. Berbagai kelompok instrumen memiliki bentuk ADSR mereka sendiri.

*Attack* adalah waktu yang diperlukan untuk awal kenaikan amplitudo dari nol hingga puncak tertinggi, dimulai saat instrumen dipukul. *Decay* adalah waktu yang dibutuhkan untuk perpindahan dari *attack* hingga sebagian energi hilang dan amplitudo berkurang. *Sustain* adalah level selama amplitudo bertahan pada tingkat yang hampir konstan untuk selang waktu tertentu. *Release* adalah waktu yang dibutuhkan saat amplitudo berkurang secara kontinyu hingga habis. Secara sederhana, ADSR ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11: ADSR

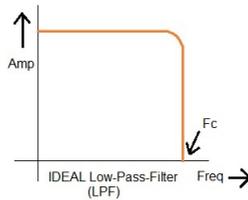
## 2.8 Filter

Filter merupakan suatu sistem yang mempunyai fungsi transfer tertentu untuk meloloskan sinyal masukan pada frekuensi - frekuensi tertentu dan menyaring, memblokir, atau melemahkan sinyal

masukannya pada frekuensi-frekuensi yang lain. Filter dengan pembatasan frekuensi dapat diklasifikasikan dengan empat jenis seperti berikut[8]:

a. *Low Pass Filter*

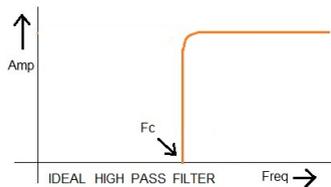
Pada filter ini frekuensi yang diloloskan berada dibawah frekuensi *cutoff* dan meredam sinyal yang berada di atas frekuensi *cutoff*. Gambar 2.12 menunjukkan respon frekuensi *Low Pass Filter*.



**Gambar 2.12:** Respon frekuensi dari LPF

b. *High Pass Filter*

Filter jenis ini dapat melewatkan sinyal yang berada di atas *cutoff* dan meredam sinyal yang berada di bawah *cutoff*. Gambar 2.13 menunjukkan respon frekuensi *High Pass Filter*.

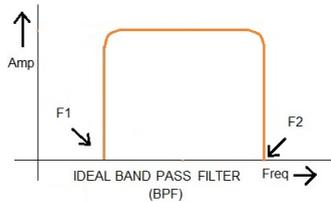


**Gambar 2.13:** Respon frekuensi dari HPF

c. *Band Pass Filter*

*Band Pass Filter* merupakan perpaduan antara *Low Pass Filter* dan *High Pass Filter*. Filter ini memiliki dua jenis *cutoff*,

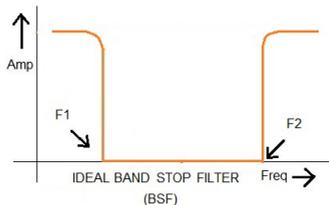
yaitu *cutoff* bawah dan *cutoff* atas. BPF meloloskan sinyal yang berada di antara *cutoff* bawah dan *cutoff* atas, serta meredam sinyal diluar bagian tersebut. Gambar 2.14 menunjukkan respon frekuensi *Band Pass Filter*.



**Gambar 2.14:** Respon frekuensi dariBLPF

d. *Band Stop Filter*

*Band Stop Filter* merupakan kebalikan dengan *Band Pass Filter*. Meredam sinyal yang bearada di antara kedua *cutoff* serta meloloskan sinyal yang berada di luar *band* frekuensi. Gambar 2.15 menunjukkan respon frekuensi *Band Stop Filter*.



**Gambar 2.15:** Respon frekuensi dari BSF

## 2.9 Python

Python adalah bahasa pemrograman interpretatif multiguna dengan filosofi perancangan yang berfokus pada tingkat keterbacaan kode. Python diklaim sebagai bahasa yang menggabungkan kapabilitas, kemampuan, dengan sintaksis kode yang sangat jelas, dan dilengkapi dengan fungsionalitas pustaka standar yang besar serta

komprehensif. Python mendukung multi paradigma pemrograman, namun tidak dibatasi pada pemrograman berorientasi objek, pemrograman imperatif, dan pemrograman fungsional. Salah satu fitur yang tersedia pada python adalah sebagai bahasa pemrograman dinamis yang dilengkapi dengan manajemen memori otomatis. Seperti halnya pada bahasa pemrograman dinamis lainnya, python umumnya digunakan sebagai bahasa skrip meski pada praktiknya penggunaan bahasa ini lebih luas mencakup konteks pemanfaatan yang umumnya tidak dilakukan dengan menggunakan bahasa script. Python dapat digunakan untuk berbagai keperluan pengembangan perangkat lunak dan dapat berjalan di berbagai platform sistem operasi.

## 2.10 *Ground Truth*

*Ground truth* merupakan rangkaian nada yang tersusun menjadi sebuah lagu acuan untuk pengukuran sebagai evaluasi. Dibuat dengan cara menggabungkan beberapa sinyal nada menjadi sebuah lagu kemudian dihitung jumlah notasi dari lagu tersebut. *Ground truth* pada tugas akhir ini menggunakan notasi lagu Manyar Sewu seperti ditunjukkan pada gambar 2.16 [9].

### Lancaran Manyar Sewu, Slendro Manyura

Buka bonang

.i.6 .i.6 3.3<sup>3</sup>

Ompak, Irama lancar

.5.3̇ .5.3̇ .5.3̇ .6.5̇

.6.5̇ .6.5̇ .6.5̇ .3.2̇

.3.2̇ .3.2̇ .3.2̇ .1.6̇

.i.6̇ .i.6̇ .i.6̇ .5.3̇

**Gambar 2.16:** Notasi Manyar Sewu

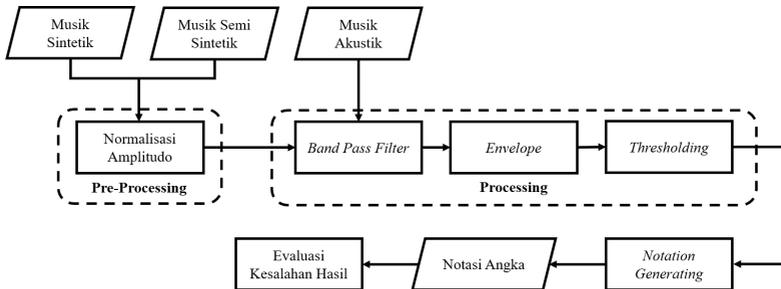
# BAB 3

## DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan desain sistem berikut dengan implementasinya. Desain sistem merupakan konsep dari pembuatan dan perancangan infrastruktur dan kemudian diwujudkan dalam bentuk blok-blok alur yang harus dikerjakan. Pada bagian implementasi merupakan pelaksanaan teknis untuk setiap blok pada desain sistem.

### 3.1 Desain Sistem

Dalam tugas akhir ini, alur kerja sistem ditunjukkan pada gambar 3.1. Sistem ini bertujuan untuk membangkitkan suara gamelan dengan nada tertentu. Keluaran yang dihasilkan berupa pembentukan notasi pada sinyal gamelan.



Gambar 3.1: Bagan Umum Metodologi Sistem

Secara keseluruhan terdapat enam tahapan proses dalam pengerjaan tugas akhir ini. Masing-masing proses yang dilakukan memiliki luaran yang dihasilkan dan menjadi masukan untuk proses selanjutnya. Desain dan implementasi sistem memiliki masukan berupa sinyal musik sintetis, semi sintetis, dan akustik. Sinyal sintetis dibentuk melalui proses pembangkitan sinyal dan normalisasi amplitudo. Sinyal semi sintetis dibentuk melalui penggabungan rekaman suara saron tunggal agar menjadi sebuah lagu dan melalui

proses normalisasi amplitudo. Normalisasi amplitudo dilakukan untuk meratakan amplitudo sinyal sehingga memiliki amplitudo pada rentang -1.0 sampai 1.0. Kemudian sinyal musik diekstraksi dengan *band pass filter* untuk memisahkan sinyal sesuai nada-nadanya. Selanjutnya dilakukan proses *envelope* dan *threshold* untuk menghasilkan keluaran berupa sinyal yang bisa diterjemahkan menjadi notasi angka.

## 3.2 Pustaka Pendukung Implementasi

Implementasi sistem pada tugas akhir ini dilakukan dalam bahasa Python. Versi bahasa yang dipilih adalah versi 2.7 atau lebih. Digunakan beberapa pustaka (*library*) tambahan untuk menjalankan sistem.

### 3.2.1 SciPy

Untuk pengolahan numerik data sinyal gamelan digunakan pustaka numerik SciPy dan NumPy. SciPy adalah pustaka berisi algoritma dan peralatan matematis untuk bahasa Python. Di antara modul SciPy yang digunakan adalah *kaiserord*, *lfilter*, *firwin*, *freqz*, *butter*, *filtfilt*, dan *find\_peaks*. SciPy didistribusikan dengan lisensi BSD sehingga termasuk pustaka *opensource*. Struktur data mendasar yang digunakan SciPy didapatkan dari modul NumPy.

### 3.2.2 NumPy

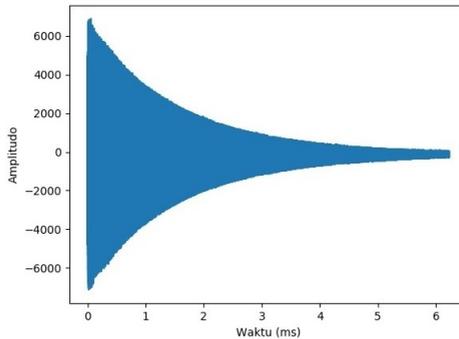
NumPy (kependekan dari Numerical Python) adalah modul tambahan untuk bahasa Python yang memberikan dukungan bagi larik (*array*) dan matriks multidimensi yang besar, juga sejumlah besar pustaka fungsi matematis yang mengolah data-data tersebut. Modul NumPy dirilis dengan lisensi BSD-new sehingga juga termasuk pustaka *opensource*. NumPy adalah pustaka Python dasar untuk melakukan tugas dalam komputasi ilmiah. Selain penggunaannya dalam menyelesaikan persamaan aljabar linier (*linear algebra equations*) dan perhitungan matematis lainnya, NumPy juga digunakan sebagai wadah multi-dimensi serbaguna untuk berbagai jenis data generik.

### 3.2.3 Matplotlib

Matplotlib adalah *library* ilmiah Python yang berguna untuk menampilkan data SciPy dalam bentuk grafik, chart, histogram, dan bentuk lain yang kreatif tanpa perlu menulis banyak baris kode. Matplotlib didistribusikan dengan lisensi BSD-style sehingga termasuk pustaka *opensource*.

### 3.3 Sinyal Masukan

Sinyal masukan pada tugas akhir ini merupakan rekaman nada asli gamelan. Sinyal yang digunakan adalah rekaman nada-nada dari alat musik saron laras slendro. Perekaman suara gamelan menggunakan sistem suara mono, 16 bit, dan 48000 Hz *sampling rate*. Sinyal masukan dapat terdiri dari satu nada (monofoni) atau lebih. Sinyal yang terdiri lebih dari satu nada merupakan gabungan dari beberapa sinyal (polifoni). Gambar 3.2 menunjukkan plot *input* sinyal Saron 1.



**Gambar 3.2:** Plot *input* sinyal Saron 1

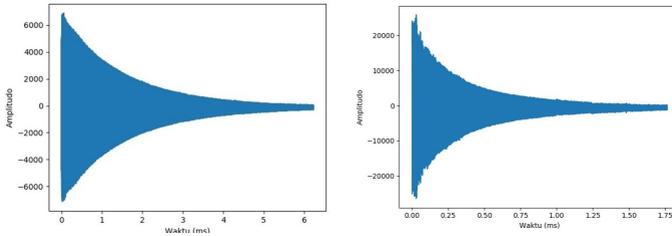
### 3.4 Normalisasi Amplitudo

Saat melakukan perekaman suara, jarak antara instrumen dengan mikrofon dapat mempengaruhi besar kecilnya amplitudo. Semakin jauh jarak antara instrumen dengan mikrofon maka amplitudo sinyal yang ditangkap semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Untuk mengatasi hal ini dilakukan normalisasi amplitudo pada sinyal suara.

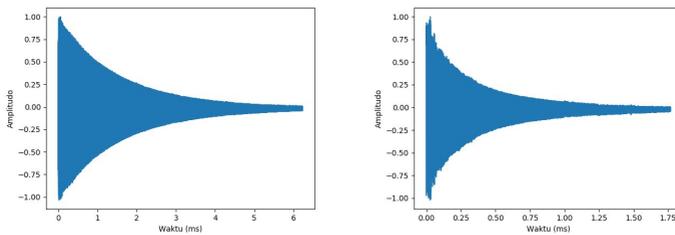
Normalisasi merupakan suatu cara untuk mengatasi jarak antara sumber suara dengan mikrofon. Pada perekaman atau pengambilan suara ini perlu adanya normalisasi supaya amplitudo nada saat dimainkan dapat menjadi maksimal [10]. Proses normalisasi dilakukan dengan cara membagi tiap nilai data masukan yaitu nada terekam dengan nilai absolut maksimal dari data masukan tersebut, seperti pada persamaan 3.1.

$$X_{norm} = \frac{X_{in}}{\max(\text{abs}(X_{in}))} \quad (3.1)$$

Pada gambar 3.3 menunjukkan perbandingan amplitudo sinyal sebelum dilakukan normalisasi. Saron 1 memiliki amplitudo yang berbeda dengan Saron 3. Setelah dilakukan normalisasi, amplitudo masing-masing sinyal diratakan sehingga berada pada di antara -1.0 dan 1.0 seperti ditunjukkan pada gambar 3.4.



**Gambar 3.3:** Sinyal sebelum normalisasi amplitudo



**Gambar 3.4:** Sinyal sesudah normalisasi amplitudo

### 3.5 Pembangkitan Sinyal

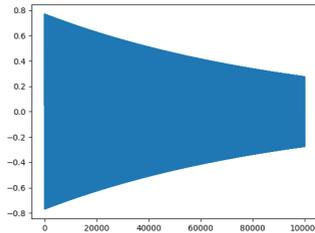
Meskipun gamelan dimainkan seperti musik orkestra, tiap instrumen menghasilkan sinyal suara monofoni dimana setiap nada memiliki frekuensi dasar[11]. Pembangkitan sinyal sinusoidal secara matematis dituliskan pada persamaan 3.2.

$$X = \sin(2 \times \text{phi} \times f \times (1 : n)/fs) \quad (3.2)$$

Pembangkitan sinyal pada musik saron dibentuk dari frekuensi nada dasar masing-masing saron. Pembangkitan sinyal saron secara matematis dituliskan melalui persamaan 3.3[2]:

$$X_s(n) = A \times \sin(2 \times \text{phi} \times \left(\frac{f}{fs}\right) \times n + \theta) \times 0.7693e^{-1.03 \times 10^{-5}n} \quad (3.3)$$

Gambar 3.5 menunjukkan salah satu contoh hasil pembentukan sinyal sintetik saron dengan frekuensi 537 Hz, *sampling rate* 48000 Hz, dan panjang sinyal 100000 sampel.



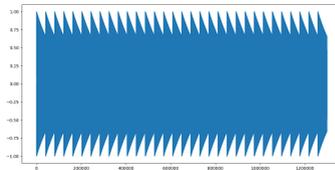
**Gambar 3.5:** Sinyal Sintetik Saron 537 Hz

Pada tabel 3.1 menunjukkan frekuensi dasar bunyi instrumen saron dari beberapa set gamelan. Perlu diketahui bahwa frekuensi nada saron tidak selalu sama karena pembuatan saron berbeda-beda tergantung pada *pande* gamelan dan material atau bahan yang digunakan. Kekerasan memukul gamelan, gaya memukul dan posisi sebelah mana yang dipukul juga mempengaruhi frekuensi pada gamelan. Sehingga frekuensi pada nada gamelan dapat berbeda satu sama lain.

**Tabel 3.1:** Frekuensi Dasar Nada Saron Slendro [2]

No Saron	Frekuensi Dasar Suara Saron Slendro (Hz)					
	1	2	3	5	6	1'
1	521.5	616.8	715.4	814.7	939.8	1080.8
2	544.1	619.0	716.1	814.6	942.4	1082.3
3	542.4	620.7	712.8	819.8	934.6	1086.1
4	542.8	620.4	713.0	820.2	934.3	1086.3
5	543.0	620.4	712.9	820.1	934.2	1086.2
6	542.8	620.3	713.1	820.0	934.2	1086.2
7	537.0	617.9	710.6	816.7	929.7	1044.3
8	544.3	618.9	716.1	814.5	942.5	1082.1
9	539.6	617.9	711.2	816.0	934.0	1082.7
10	541.1	617.4	710.5	815.6	932.8	1083.7
11	514.9	589.3	681.9	776.0	896.7	1039.3
12	536.9	611.4	709.9	815.2	928.0	1073.2
13	544.2	618.9	716.2	814.5	942.6	1082.1
14	541.8	620.0	714.9	814.4	940.5	1083.7
15	541.5	616.8	715.4	814.8	939.8	1080.8
Min	514.9	589.3	681.9	776.0	896.7	1039.3
Max	544.3	620.7	716.2	820.2	942.6	1086.3
Rata2	539.3	614.8	711.2	814.8	932.4	1077.0

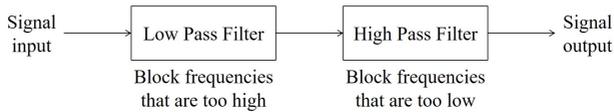
Dari tabel 3.1 tersebut dapat disimpulkan bahwa frekuensi nada saron tidak standar. Frekuensi dasar tersebut dapat dipakai acuan untuk membangkitkan sinyal referensi. Gambar 3.6 menunjukkan plot sinyal sintetik yang disusun dari beberapa frekuensi pada notasi yang berbeda-beda. Hasil dari pembangkitan sinyal sintetik memiliki amplitudo yang rata.



**Gambar 3.6:** Sinyal Sintetik Nada Dasar Saron

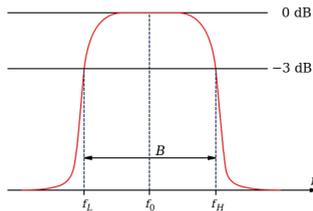
### 3.6 Filtering

Filtering digunakan untuk memisahkan nada-nada saron berdasarkan dengan frekuensi *cutoff* yang telah ditentukan. Filter yang digunakan pada tugas akhir ini adalah filter *band pass*. *Band pass filter* dapat dibuat melalui penggabungan *low pass filter* dan *high pass filter*. Filter ini hanya melewatkan jangkauan frekuensi tertentu yaitu antara frekuensi *cutoff* bawah dan frekuensi *cutoff* atas. Skema *band pass filter* dapat dilihat pada gambar 3.7.



**Gambar 3.7:** Diagram Alir *Band Pass Filter* Melalui Penggabungan dari *Low Pass Filter* dan *High Pass Filter*

Pada proses *band pass filter*, sinyal asli gamelan difilter untuk dicari nada-nada dasar saron yang terdapat dalam musik gamelan tersebut. *Band pass filter* memiliki dua parameter frekuensi, yaitu frekuensi *cut off* bawah ( $f_L$ ) dan frekuensi *cut off* atas ( $f_H$ ) seperti ditunjukkan pada gambar 3.8.



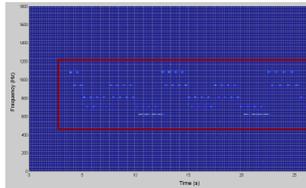
**Gambar 3.8:** Parameter *Band Pass Filter*

Berikut merupakan algoritma *band pass filter*:

1. Menentukan nilai  $f_L$  dan  $f_H$  pada masing-masing nada dasar saron.
2. Menentukan besar *ripple* untuk magnitudo.
3. Melakukan proses *low pass filter* menggunakan nilai  $f_L$  dan window kaiser.

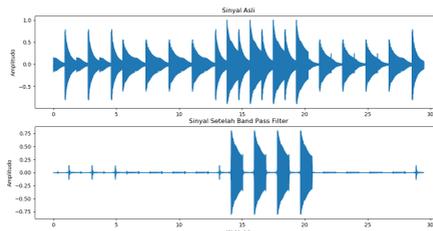
4. Melakukan proses *high pass filter* menggunakan nilai  $f_h$  dan window kaiser.
5. Menggabungkan *low pass filter* dan *high pass filter*.
6. Sinyal asli difilter dengan sinyal hasil *band pass filter*.
7. Mengulangi proses 1-6 sampai seluruh nada dasar selesai dilakukan proses filter.

Pemisahan nada-nada saron didasarkan pada spektrum frekuensi pada rentang 500 Hz - 1200 Hz seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Nada-nada saron berada pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 3.9:** Spektrum Sinyal Nada Saron

Pada gambar 3.10 ditunjukkan hasil proses *bandpass filter* untuk mencari nada Saron 2 dengan  $f_l$  sebesar 600 Hz dan  $f_h$  sebesar 640 Hz. Didapatkan hasil dari *band pass filter* tersebut terdapat 4 sinyal Saron 2.



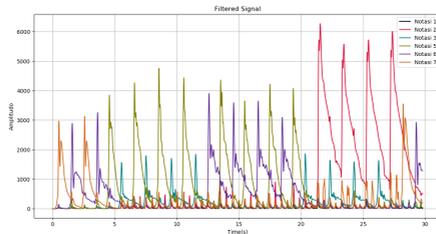
**Gambar 3.10:** Hasil Proses *Band Pass Filter* pada Saron 2

### 3.7 Threshold

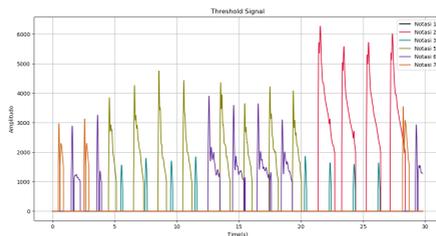
Proses *threshold* merupakan proses untuk menghilangkan *noise* pada sinyal hasil *envelope*. Proses *threshold* dilakukan dengan cara memotong sinyal yang dianggap *noise*. Sinyal *envelope* yang dianggap *noise* dipotong dengan mendefinisikan nilai *threshold*, misal 0.04 sebagai nilai ambang batas amplitudo. Algoritma proses *threshold* dalam mengurangi noise dan memberikan nilai 0 pada sinyal yang dianggap *noise* tersebut, yaitu :

1. Jika nilai amplitudo di dalam jalur notasi nada ke- $i$  < nilai *threshold*, maka nilai amplitudo pada jalur notasi nada ke  $i$  menjadi 0 (Berlaku untuk seluruh notasi nada)
2.  $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$  (waktu kejadian sinyal)

Gambar 3.11 dan gambar 3.12 menunjukkan hasil sinyal sebelum dilakukan *threshold* dan setelah dilakukan *threshold*.



**Gambar 3.11:** Sinyal Sebelum *Thresholding*



**Gambar 3.12:** Sinyal Setelah *Thresholding*

### 3.8 Pembentukan Notasi (*Notation Generating*)

Ketika sinyal sudah dilakukan proses *threshold*, sinyal yang dianggap *noise* akan bernilai 0. Ini artinya, hanya tersisa sinyal yang dianggap sebagai sinyal nada. Tiap notasi dibedakan menurut warna sinyal. Hitam untuk notasi *ji*, merah untuk notasi *ro*, biru untuk notasi *lu*, hijau untuk notasi *mo*, ungu untuk notasi *nem*, dan coklat untuk notasi *ji* tinggi. Penunjukkan sinyal *threshold* sebagai nada dan bukan nada pada tugas akhir ini dilakukan melalui deteksi *peak* atau puncak sinyal yang dikenali sebagai *attack* pada kaidah ADSR.

Berikut merupakan algoritma deteksi puncak pada sinyal:

1. Mendefinisikan batas sinyal bawah (*low*) sama dengan 0 dan batas sinyal tertinggi (*high*) sama dengan  $n-1$ .
2. Menghitung indeks elemen tengah pada array sinyal.

$$mid = \frac{low + high}{2} \quad (3.4)$$

3. Membandingkan indeks elemen tengah dengan indeks yang lain (jika ada).

$(mid == 0 \text{ or } arr[mid - 1] \leq arr[mid]) \text{ and } (mid == n - 1 \text{ or } arr[mid + 1] \leq arr[mid])$

4. Jika indeks elemen tengah bukan puncak dan indeks yang lain lebih besar dari indeks awal, maka setengah dari indeks yang lain memiliki elemen puncak.

$mid > 0 \text{ and } arr[mid - 1] > arr[mid]$

Pendeteksian puncak amplitudo tertinggi dilakukan dengan menggunakan modul `find_peaks` pada Python. Modul `find_peaks` memiliki berbagai argumen yang dapat dikontrol untuk mengidentifikasi puncak. Dua argumen yang digunakan pada tugas akhir ini adalah ketinggian dan jarak. Argumen ketinggian adalah ketinggian puncak yang diperlukan sedangkan argumen jarak adalah jarak horizontal minimum yang diperlukan dalam sampel antara puncak

satu dengan puncak yang lain. Dari hasil pendeteksian puncak dapat diperoleh data hasil posisi sampling dan waktu ketika nada dibunyikan dalam bentuk tabel.

### 3.9 Evaluasi Kesalahan Hasil (*Note Error Rate*)

Proses evaluasi kesalahan hasil bertujuan untuk mengetahui tingkat kesalahan dari notasi yang dihasilkan dan keakuratan kinerja dari sistem. Notasi yang dihasilkan akan dibandingkan dengan notasi musik asli. Proses evaluasi kesalahan hasil ini menggunakan suatu pendekatan yang disebut dengan NER (*Note Error Rate*) yang ditulis pada persamaan 3.5.

$$NER = 100\% \times \frac{(Insertion + Deletion + Replacement)}{Total} \quad (3.5)$$

Berdasarkan persamaan 3.5, *Insertion* merupakan jumlah notasi yang dikenali sebagai notasi akan tetapi notasi tersebut tidak terdapat pada sinyal yang diamati. *Deletion* merupakan jumlah notasi yang tidak dikenali sehingga notasi tersebut hilang. *Replacement* merupakan jumlah penggantian notasi yang tidak sesuai dengan notasi aslinya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

# PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini dipaparkan hasil pengujian serta analisa dari desain sistem dan implementasi. Hasil pengujian yang dilakukan dilaporkan dalam bentuk wujud visual sinyal, notasi angka, dan tabel hasil pengujian. Laporan dalam bentuk wujud visual sinyal adalah sinyal yang terbentuk setelah dilakukan seluruh tahap penelitian, notasi angka merupakan hasil perkiraan notasi yang dihasilkan, dan tabel merupakan posisi terjadinya nada berdasarkan sampling dan waktu serta tabel hasil akurasi dari pengujian yang dilakukan. Tabel posisi sampling dan waktu perkiraan terjadinya nada dilampirkan pada halaman lampiran. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian:

1. Sinyal masukan.
2. Normalisasi amplitudo.
3. *Filtering*.
4. *Envelope* dan *threshold*.
5. *Notation generating* dan evaluasi kesalahan hasil.

Sehingga dengan adanya pengujian tersebut, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari pelaksanaan tugas akhir ini.

### 4.1 Sinyal Masukan

Sinyal masukan yang digunakan terdiri dari tiga jenis musik yang terdiri dari beberapa macam instrumen, seperti saron, peking, demung, dan bonang. Ketiga jenis sinyal masukan tersebut antara lain:

1. Musik Sintetik

Musik sintetik merupakan musik gamelan yang dibuat sendiri menggunakan nada-nada dasar yang diinginkan.

2. Musik Semi Sintetik

Musik semi sintetik merupakan penggabungan rekaman nada-nada tunggal gamelan melalui program komputer agar menjadi sebuah lagu.

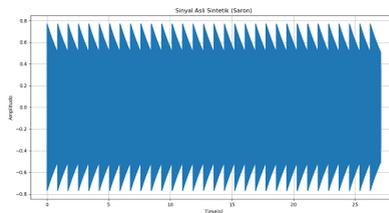
### 3. Musik Akustik

Musik akustik merupakan lagu yang dimainkan oleh pemain musik gamelan. Musik akustik bisa memiliki berbagai macam variasi keres lembutnya pukulan tergantung dimana lokasi pemain saat memukul instrumen gamelan baik itu di daerah atas, tengah, maupun bawah.

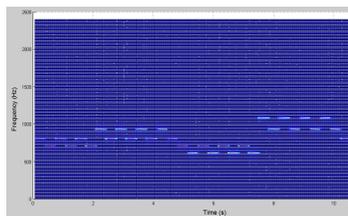
Berikut merupakan beberapa sinyal masukan yang digunakan pada pengujian tugas akhir ini:

#### 1. Musik Sintetik

Pengujian pertama dilakukan pada sinyal sintetik menggunakan satu instrumen Saron dengan rincian frekuensi nada Saron1 sebesar 539 Hz, Saron2 sebesar 610 Hz, Saron3 sebesar 703 Hz, Saron5 sebesar 799 Hz, Saron6 sebesar 926 Hz, dan Saron7 sebesar 1078 Hz. Gambar 4.1 merupakan sinyal asli musik sintetik dengan satu instrumen saron. Gambar 4.2 merupakan spektrum dari sinyal asli sintetik.



**Gambar 4.1:** Sinyal Asli Sintetik (Saron)

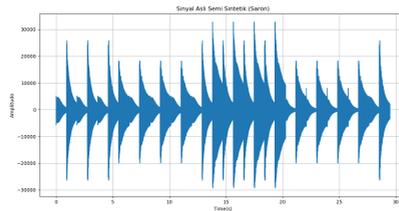


**Gambar 4.2:** Spektrum Sinyal Sintetik (Saron)

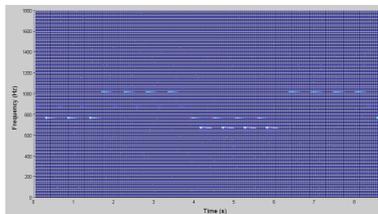
## 2. Musik Semi Sintetik 1

Pengujian kedua dilakukan pada sinyal semi sintetik menggunakan satu instrumen Saron dengan notasi lagu Manyar Sewu.

Gambar 4.3 merupakan sinyal asli musik semi sintetik 1 dengan satu instrumen Saron. Gambar 4.4 merupakan spektrum dari sinyal asli semi sintetik 1.



**Gambar 4.3:** Sinyal Asli Semi Sintetik 1 (Saron)

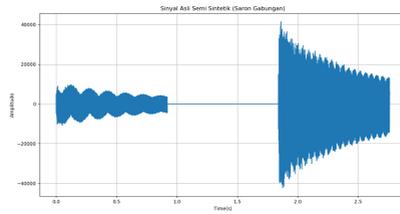


**Gambar 4.4:** Spektrum Semi Sintetik 1 (Saron)

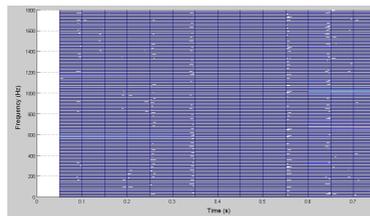
## 3. Musik Semi Sintetik 2

Pengujian ketiga dilakukan pada sinyal semi sintetik menggunakan gabungan satu instrumen Saron yang dimainkan secara bersamaan. Pengujian Saron gabungan dilakukan dengan menggunakan empat Saron yang berbeda, yaitu Saron1, Saron7, Saron2, dan Saron6.

Gambar 4.5 merupakan sinyal asli musik semi sintetik gabungan satu instrumen Saron. Gambar 4.6 merupakan spektrum dari sinyal asli semi sintetik 2.



**Gambar 4.5:** Sinyal Asli Semi Sintetik 2 (Saron Gabungan)

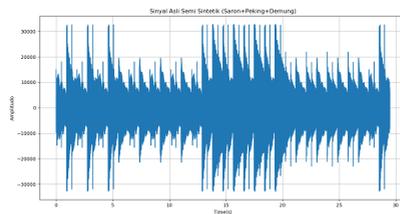


**Gambar 4.6:** Spektrum Semi Sintetik 2 (Saron Gabungan)

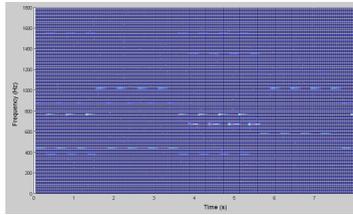
#### 4. Musik Semi Sintetik 3

Pengujian keempat dilakukan pada sinyal semi sintetik menggunakan tiga instrumen Saron, Peking dan Demung yang dimainkan secara bersamaan dengan notasi lagu Manyar Sewu.

Gambar 4.7 merupakan sinyal asli musik semi sintetik dengan satu instrumen Saron dan Demung. Gambar 4.8 merupakan spektrum dari sinyal asli semi sintetik 3.



**Gambar 4.7:** Sinyal Asli Semi Sintetik 3 (Saron+Demung+Peking)

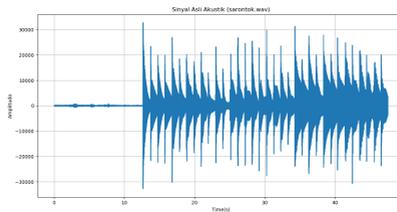


**Gambar 4.8:** Spektrum Semi Sintetik 3 (Saron+Demung+Peking)

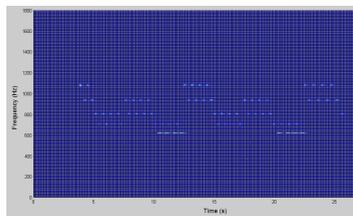
## 5. Musik Akustik 1

Pengujian kelima dilakukan pada sinyal akustik menggunakan satu instrumen Saron dengan nama file 'sarontok.wav'.

Gambar 4.9 merupakan sinyal asli musik akustik dengan satu instrumen Saron. Gambar 4.10 merupakan spektrum dari sinyal asli akustik 1.



**Gambar 4.9:** Sinyal Asli Akustik 1 (Saron)

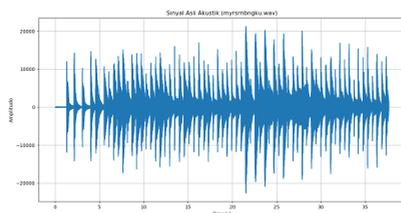


**Gambar 4.10:** Spektrum Akustik 1 (Saron)

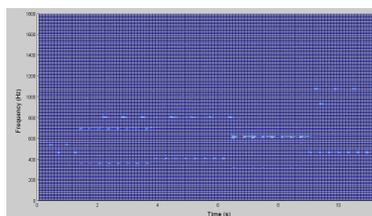
## 6. Musik Akustik 2

Pengujian keenam dilakukan pada sinyal akustik menggunakan dua instrumen Saron dan Bonang dengan nama file 'myrsr-nbngku.wav'.

Gambar 4.11 merupakan sinyal asli musik akustik dengan dua instrumen Saron dan Bonang. Gambar 4.12 merupakan spektrum dari sinyal asli akustik 2.



**Gambar 4.11:** Sinyal Asli Akustik 2 (Saron+Bonang)

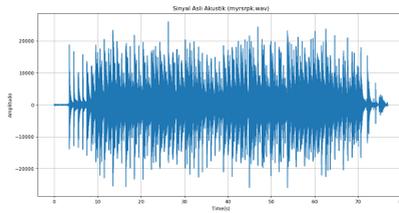


**Gambar 4.12:** Spektrum Akustik 2 (Saron+Bonang)

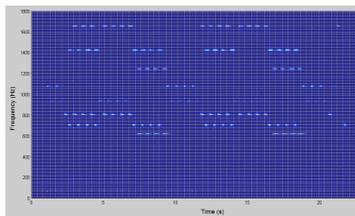
## 7. Musik Akustik 3

Pengujian ketujuh dilakukan pada sinyal akustik menggunakan dua instrumen Saron dan Peking dengan nama file 'myrsrpk.wav'.

Gambar 4.13 merupakan sinyal asli musik akustik dengan dua instrumen Saron dan Peking. Gambar 4.14 merupakan spektrum dari sinyal asli akustik 3.



**Gambar 4.13:** Sinyal Asli Akustik 3 (Saron+Peking)

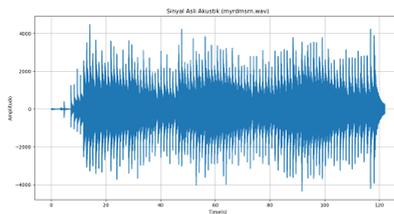


**Gambar 4.14:** Spektrum Akustik 3 (Saron+Peking)

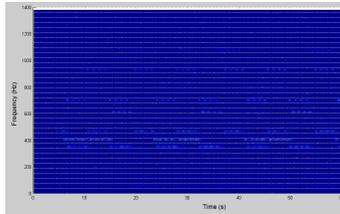
## 8. Musik Akustik 4

Pengujian kedelapan dilakukan pada sinyal akustik menggunakan dua instrumen Saron dan Demung dengan nama file 'myrdmsrn.wav'.

Gambar 4.15 merupakan sinyal asli musik akustik dengan dua instrumen Saron dan Peking. Gambar 4.16 merupakan spektrum dari sinyal asli akustik 4.



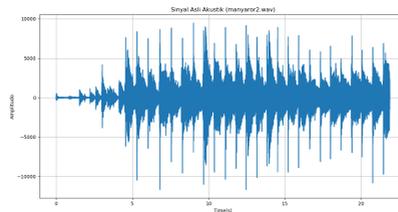
**Gambar 4.15:** Sinyal Asli Akustik 4 (Saron+Demung)



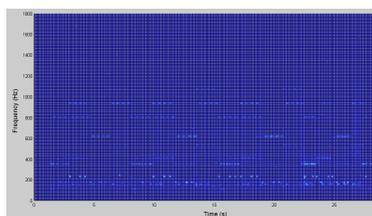
**Gambar 4.16:** Spektrum Akustik 4 (Saron+Demung)

## 9. Musik Akustik 5

Pengujian kesembilan dilakukan pada sinyal orkestra. Sinyal orkestra merupakan permainan musik gamelan yang terdiri dari berbagai macam instrumen gamelan yang dimainkan bersamaan. Pengujian sinyal orkestra menggunakan file 'mnyor1.wav'. Gambar 4.17 merupakan sinyal asli musik orkestra. Gambar 4.18 merupakan spektrum dari sinyal asli akustik 4.



**Gambar 4.17:** Sinyal Asli Akustik 5 (Orkestra)



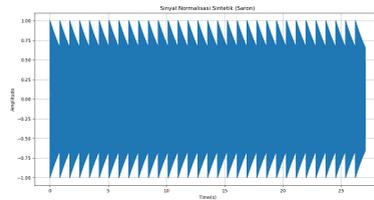
**Gambar 4.18:** Spektrum Akustik 5 (Orkestra)

## 4.2 Normalisasi Amplitudo

Normalisasi amplitudo dilakukan dengan cara membagi tiap nilai sinyal pengujian dengan nilai absolut maksimal dari sinyal pengujian tersebut. Sinyal yang telah normalisasi mempunyai besar maksimum 1.0 dan nilai minimum -1.0. Berikut hasil normalisasi amplitudo pada musik sintetik dan musik semi sintetik:

### 1. Musik Sintetik

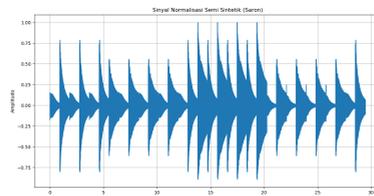
Gambar 4.19 merupakan hasil dari normalisasi amplitudo. Sinyal sintetik yang telah dinormalisasi memiliki amplitudo maksimum 1.0.



**Gambar 4.19:** Sinyal Normalisasi Sintetik

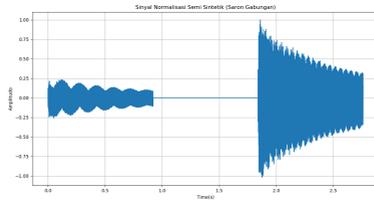
### 2. Musik Semi Sintetik

Gambar 4.20 merupakan hasil dari normalisasi amplitudo pada sinyal semi sintetik menggunakan satu instrumen saron. Sinyal semi sintetik 1 yang telah dinormalisasi memiliki amplitudo maksimum 1.0.



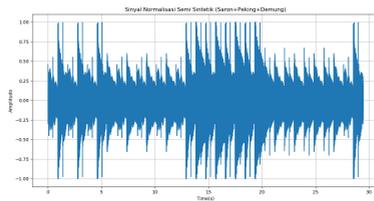
**Gambar 4.20:** Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 1

Gambar 4.21 merupakan hasil dari normalisasi amplitudo pada sinyal semi sintetik menggunakan gabungan satu instrumen saron yang dimainkan secara bersamaan. Sinyal semi sintetik 2 yang telah dinormalisasi memiliki amplitudo maksimum 1.0.



**Gambar 4.21:** Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 2

Gambar 4.22 merupakan hasil dari normalisasi amplitudo pada sinyal semi sintetik menggunakan tiga instrumen saron, peking, dan demung. Sinyal semi sintetik 3 yang telah dinormalisasi memiliki amplitudo maksimum 1.0.



**Gambar 4.22:** Sinyal Normalisasi Semi Sintetik 3

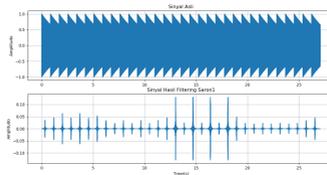
### 4.3 *Filtering*

Proses pemisahan nada-nada Saron dilakukan dengan menggunakan *band pass filter*. Dalam proses *filtering* pemilihan sinyal berdasarkan frekuensi *cutoff* bawah ( $f_l$ ) dan frekuensi *cutoff* atas ( $f_h$ ). Berikut merupakan hasil pengujian dari beberapa sinyal masukan:

1. Musik Sintetik

a. Saron1

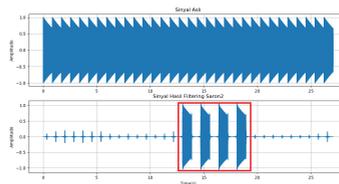
Pada Gambar 4.23 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* tidak didapatkan adanya sinyal Saron1.



**Gambar 4.23:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron1

b. Saron2

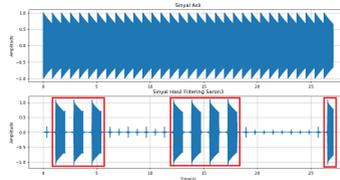
Pada Gambar 4.24 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron2 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.24:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron2

c. Saron3

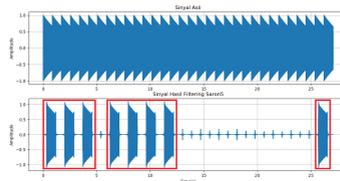
Pada Gambar 4.25 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron3 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.25:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron3

d. Saron5

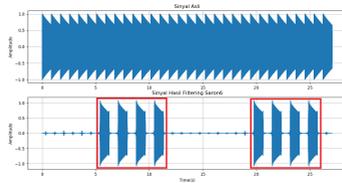
Pada Gambar 4.26 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron5 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.26:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron5

e. Saron6

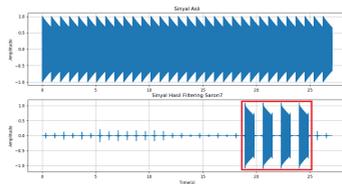
Pada Gambar 4.27 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron6 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.27:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron6

f. Saron7

Pada Gambar 4.28 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron7 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



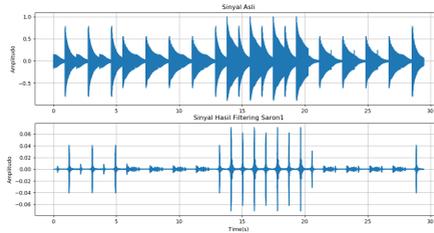
**Gambar 4.28:** Hasil *Filtering* Sinyal Saron7

Hasil dari *band pass filter* di atas didapatkan 4 sinyal Saron2, 8 sinyal Saron3, 8 sinyal Saron5, 8 sinyal Saron6, dan 4 sinyal Saron7.

2. Musik Semi Sintetik

a. Saron1

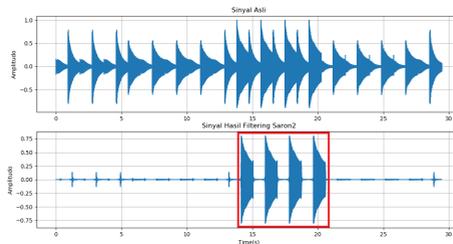
Pada Gambar 4.29 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* tidak didapatkan adanya sinyal Saron1.



**Gambar 4.29:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron1

b. Saron2

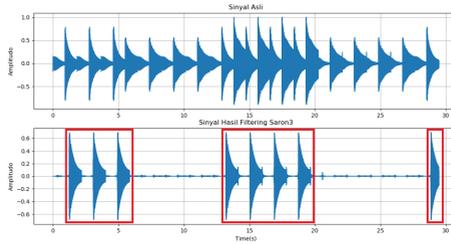
Pada Gambar 4.30 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron2 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.30:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron2

c. Saron3

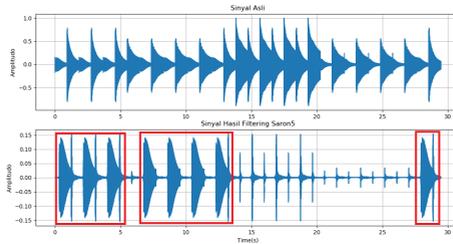
Pada Gambar 4.31 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron3 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.31:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron3

d. Saron5

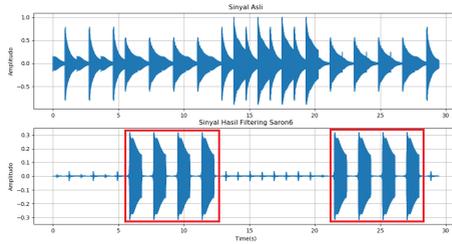
Pada Gambar 4.32 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron5 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.32:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron5

e. Saron6

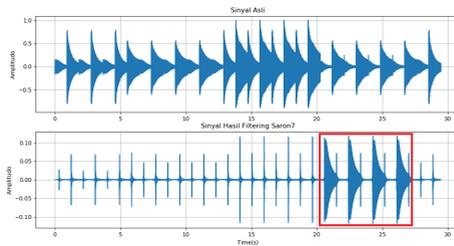
Pada Gambar 4.33 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron6 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.33:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron6

f. Saron7

Pada Gambar 4.34 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron7 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



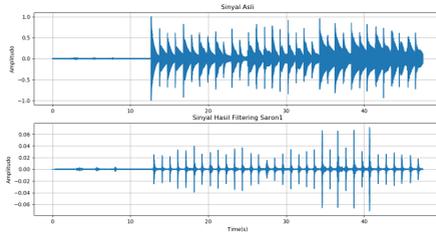
**Gambar 4.34:** Hasil *Filtering* Sinyal Semi Sintetik Saron7

Hasil dari *band pass filter* di atas didapatkan 4 sinyal Saron2, 8 sinyal Saron3, 8 sinyal Saron5, 8 sinyal Saron6, dan 4 sinyal Saron7.

3. Musik Akustik

a. Saron1

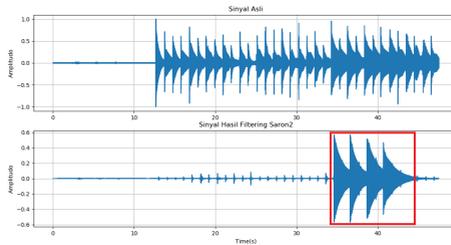
Pada Gambar 4.35 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* tidak didapatkan adanya sinyal Saron1.



**Gambar 4.35:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron1

b. Saron2

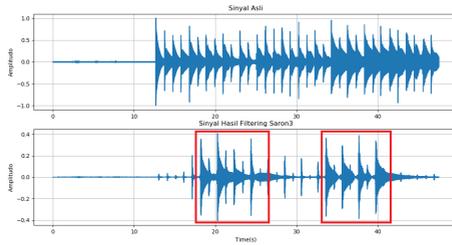
Pada Gambar 4.36 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron2 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.36:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron2

c. Saron3

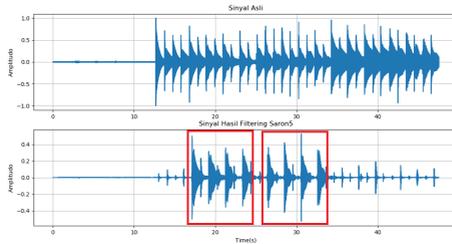
Pada Gambar 4.37 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron3 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.37:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron3

d. Saron5

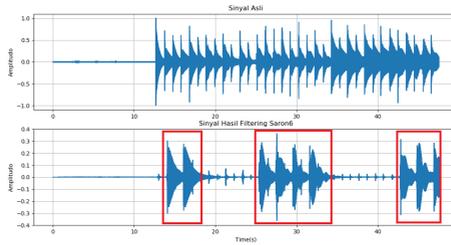
Pada Gambar 4.38 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron5 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.38:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron5

e. Saron6

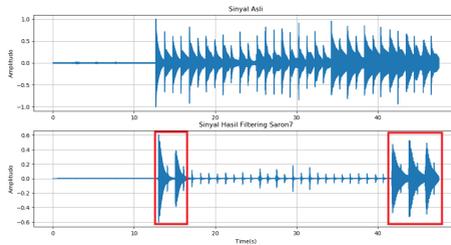
Pada Gambar 4.39 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron6 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.39:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron6

f. Saron7

Pada Gambar 4.40 sinyal asli difilter menggunakan *band pass filter*. Hasil dari proses *filtering* didapatkan adanya sinyal Saron7 pada daerah yang diberi kotak warna merah.



**Gambar 4.40:** Hasil *Filtering* Sinyal Akustik Saron7

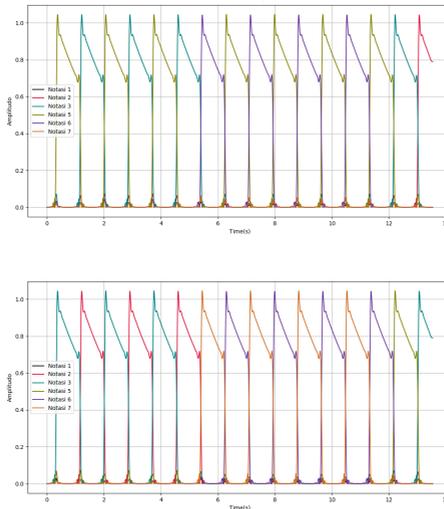
Hasil dari *band pass filter* di atas didapatkan 4 sinyal Saron2, 8 sinyal Saron3, 8 sinyal Saron5, 9 sinyal Saron6, dan 5 sinyal Saron7.

## 4.4 *Envelope* dan *Threshold*

Hasil sinyal dari proses *filtering* menjadi masukan pada proses *envelope*. Setelah sinyal dilewatkan pada range frekuensi tertentu selanjutnya dilakukan pembentukan *envelope* pada sinyal dengan mencari nilai absolut dan nilai maksimumnya. Sedangkan proses *threshold* merupakan pemberian ambang batas untuk menghilangkan *noise* dengan cara memotong sinyal yang dianggap *noise*. Berikut hasil *envelope* sinyal pada beberapa sampel pengujian:

### 1. Musik Sintetik

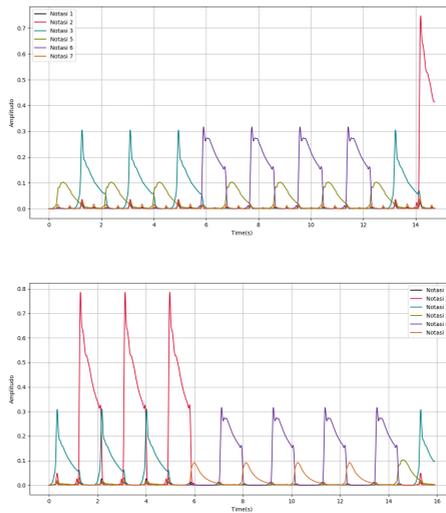
Gambar 4.41 menunjukkan sinyal sintetik hasil *filtering* yang telah melalui proses *envelope*. Hasil sinyal *envelope* dibedakan menjadi enam warna yang berbeda sesuai dengan hasil filternya. Pada pengujian sinyal sintetik tidak diperlukan proses *threshold* karena sinyal *envelope* yang dihasilkan tidak mendapatkan *noise* yang terlalu besar.



**Gambar 4.41:** Hasil *Envelope* Sinyal Sintetik

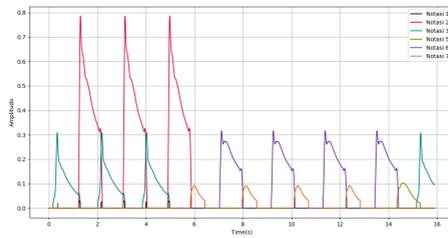
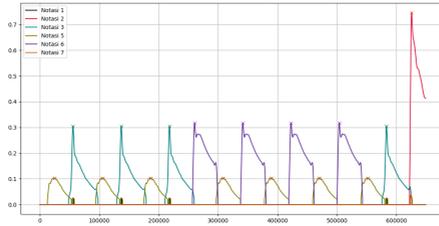
## 2. Musik Semi Sintetik

Gambar 4.42 menunjukkan sinyal semi sintetik hasil *filtering* yang telah melalui proses *envelope*. Hasil sinyal *envelope* dibedakan menjadi enam warna yang berbeda sesuai dengan hasil filternya.



**Gambar 4.42:** Hasil *Envelope* Sinyal Semi Sintetik

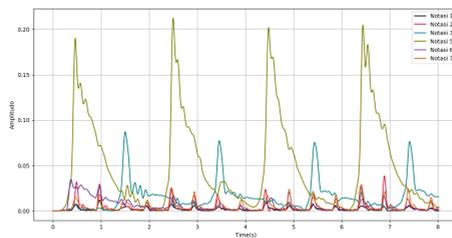
Pada pengujian sinyal semi sintetik diperlukan proses *threshold* untuk menghilangkan sinyal yang dianggap *noise*. Gambar 4.43 menunjukkan sinyal semi sintetik yang telah melalui proses *threshold*.

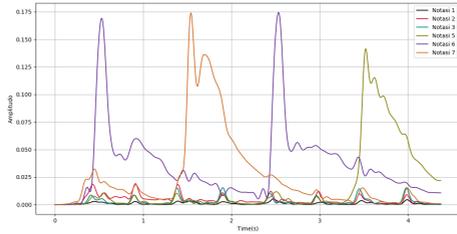


**Gambar 4.43:** Hasil *Threshold* Sinyal Semi Sintetik

### 3. Musik Akustik

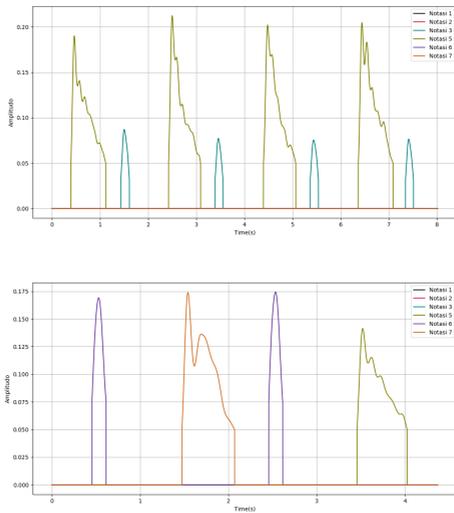
Gambar 4.44 menunjukkan sinyal akustik hasil *filtering* yang telah melalui proses *envelope*. Hasil sinyal *envelope* dibedakan menjadi enam warna yang berbeda sesuai dengan hasil filternya.





**Gambar 4.44:** Hasil *Envelope* Sinyal Akustik

Pada pengujian sinyal akustik diperlukan proses *threshold* untuk menghilangkan sinyal yang dianggap *noise*. Gambar 4.45 menunjukkan sinyal akustik yang telah melalui proses *threshold*.



**Gambar 4.45:** Hasil *Threshold* Sinyal Akustik

## 4.5 Notation Generating dan Evaluasi Kesalahan Hasil

Berikut hasil notasi yang telah dibentuk serta perhitungan *Note Error Rate* (NER) untuk menghitung akurasi dari sistem:

### 1. Musik Sintetik

Berikut tabel 4.1 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik sintetik dengan satu instrumen saron.

**Tabel 4.1:** Tabel Hasil Notasi Nada Sintetik

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		4					4			
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				8			8			
<b>6</b>	8					8		8			
<b>7</b>	4						4	4			
<b>Total</b>	<b>32</b>							<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{32} = 0\% \quad (4.1)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik sintetik menggunakan satu instrumen saron menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 32

notasi. Sehingga pada pengujian musik sintetik menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 2. Musik Semi Sintetik 1

Berikut tabel 4.2 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik semi sintetik 1 dengan satu instrumen saron.

**Tabel 4.2:** Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 1

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		4					4			
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				8			8			
<b>6</b>	8					8		8			
<b>7</b>	4						4	4			
<b>Total</b>	<b>32</b>							<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{32} = 0\% \quad (4.2)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik semi sintetik 1 menggunakan satu instrumen saron menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 32 notasi. Sehingga pada pengujian musik semi sintetik 1 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

### 3. Musik Semi Sintetik 2

Berikut tabel 4.3 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik semi sintetik 2 dengan satu instrumen saron yang dipukul bersamaan.

**Tabel 4.3:** Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 2

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	1	1						1			
2	1		1					1			
3	0			0				0			
5	0				0			0			
6	1					1		1			
7	1						1	1			
<b>Total</b>	<b>4</b>							<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

#### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{4} = 0\% \quad (4.3)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik semi sintetik 2 menggunakan satu instrumen saron yang dipukul secara bersamaan menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 4 notasi. Sehingga pada pengujian musik semi sintetik 2 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

#### 4. Musik Semi Sintetik 3

Berikut tabel 4.4 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik semi sintetik 3 dengan tiga instrumen saron, peking, dan demung.

**Tabel 4.4:** Tabel Hasil Notasi Nada Semi Sintetik 3

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		4					4			
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				8			8			
<b>6</b>	8					8		8			
<b>7</b>	4						4	4			
<b>Total</b>	<b>32</b>							<b>32</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

#### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{32} = 0\% \quad (4.4)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik semi sintetik 3 menggunakan tiga instrumen saron, peking, dan demung menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 32 notasi. Sehingga pada pengujian musik semi sintetik 3 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 5. Musik Akustik 1

Berikut tabel 4.5 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik akustik 1 dengan nama file 'sarontok.wav'.

**Tabel 4.5:** Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 1

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		4					4			
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				8			8			
<b>6</b>	6					6		6			
<b>7</b>	2						2	2			
<b>Total</b>	<b>28</b>							<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{28} = 0\% \quad (4.5)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik akustik 1 menggunakan satu instrumen saron menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 28 notasi. Sehingga pada pengujian musik akustik 1 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 6. Musik Akustik 2

Berikut tabel 4.6 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik akustik 2 dengan nama file 'myrsrnbngku.wav'.

**Tabel 4.6:** Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 2

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	0	0						0			
2	4		12					4	8		
3	7			8				7	1		
5	7				7			7			
6	7					9		7	2		
7	4						4	4			
<b>Total</b>	<b>29</b>							<b>29</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{11 + 0 + 0}{29} = 37.93\% \quad (4.6)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik akustik 2 menggunakan dua instrumen saron dan bonang menghasilkan notasi *insertion* sebanyak 11 notasi dimana 8 *insertion* pada notasi 2, 1 *insertion* pada notasi 3, dan 2 *insertion* pada notasi 6. Sehingga pada pengujian musik akustik menghasilkan akurasi sebesar 62.07%.

## 7. Musik Akustik 3

Berikut tabel 4.7 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik akustik 3 dengan nama file 'myrsrpk.wav'.

**Tabel 4.7:** Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 3

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	0	0						0			
2	8		8					8			
3	16			16				16			
5	17				17			17			
6	17					17		17			
7	8						8	8			
<b>Total</b>	<b>66</b>							<b>66</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{66} = 0\% \quad (4.7)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik akustik 3 menggunakan dua instrumen saron dan peking menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 66 notasi. Sehingga pada pengujian musik akustik 3 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 8. Musik Akustik 4

Berikut tabel 4.8 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik akustik 4 dengan nama file 'myrdmsrn.wav'.

**Tabel 4.8:** Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 4

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	12		12					12			
<b>3</b>	25			25				25			
<b>5</b>	24				24			24			
<b>6</b>	24					24		24			
<b>7</b>	12						12	12			
<b>Total</b>	<b>97</b>							<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{30} = 0\% \quad (4.8)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik akustik 4 menggunakan dua instrumen saron dan demung menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 97 notasi. Sehingga pada pengujian musik akustik 4 menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 9. Musik Akustik 5

Berikut tabel 4.9 merupakan tabel hasil pembentukan notasi musik akustik 5 dengan nama file 'manyaror2.wav'.

**Tabel 4.9:** Tabel Hasil Notasi Nada Akustik 5

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		5					4	1		
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				7			6		1	
<b>6</b>	4					4		4			
<b>7</b>	1						1	1			
<b>Total</b>	<b>25</b>							<b>23</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

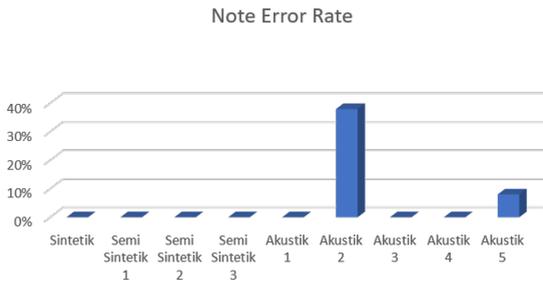
- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{1 + 1 + 0}{25} = 8\% \quad (4.9)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi pada musik akustik 5 menggunakan musik orkestra menghasilkan notasi *insertion* sebanyak 1 pada notasi 2 dan 1 *deletion* pada notasi 5. Sehingga pada pengujian musik akustik menghasilkan akurasi sebesar 92%.

**Tabel 4.10:** Perbandingan NER Sampel Pengujian Notasi

No.	Sampel Musik	Jumlah Notasi	NER
1.	Sintetik	32	0%
2.	Semi Sintetik 1	32	0%
3.	Semi Sintetik 2	4	0%
4.	Semi Sintetik 3	32	0%
5.	Akustik 1	28	0%
6.	Akustik 2	29	37.93%
7.	Akustik 3	66	0%
8.	Akustik 4	30	0%
9.	Akustik 5	25	8%



**Gambar 4.46:** Perbandingan hasil NER

Dari hasil pengujian pada ketiga jenis musik, berikut perbandingan beserta grafik NER:

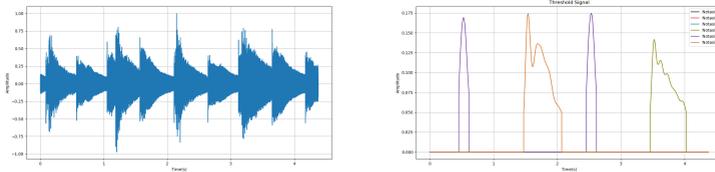
Dari hasil perbandingan NER pada tabel 4.10 dan pada gambar 4.46 pengujian akustik 3 dimana pada terdapat dua instrumen Saron dan Bonang mendapatkan *error* sebesar 37.93%. Hal ini disebabkan instrumen bonang memiliki frekuensi yang sama dengan instrumen Saron sehingga dapat mempengaruhi proses *filtering* nada.

## 4.6 Pengujian Notasi Berdasarkan Jumlah Pukulan

Pengujian berdasarkan jumlah pukulan instrumen saron terbagi menjadi enam bagian, yaitu pengujian 4 pukulan, 6 pukulan, 8 pukulan, 12 pukulan, 14 pukulan, dan 25 pukulan pada rentang waktu 0 sampai 30 sekon.

### 1. Pengujian 4 Pukulan

Pada gambar 4.47 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 4 pukulan menggunakan kombinasi instrumen saron dan peking.



**Gambar 4.47:** Sinyal Hasil Pengujian 4 Pukulan

Berikut tabel 4.11 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 4 pukulan.

**Tabel 4.11:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 4 Pukulan

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	0	0						0			
2	0		0					0			
3	0			0				0			
5	1				1			1			
6	2					6		2			
7	1						2	1			
<b>Total</b>	<b>4</b>							<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)

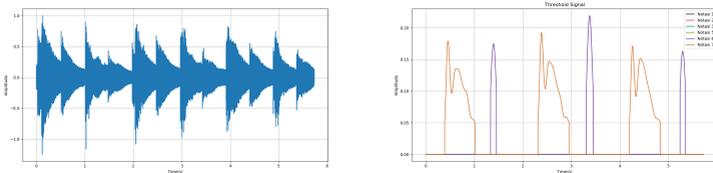
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{4} = 0\% \quad (4.10)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 4 pukulan instrumen saron dan peking menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 4 notasi. Sehingga pada pengujian notasi 4 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 100%.

## 2. Pengujian 6 Pukulan

Pada gambar 4.48 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 6 pukulan menggunakan kombinasi instrumen saron dan peking.



**Gambar 4.48:** Sinyal Hasil Pengujian 6 Pukulan

Berikut tabel 4.12 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 6 pukulan.

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

**Tabel 4.12:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 6 Pukulan

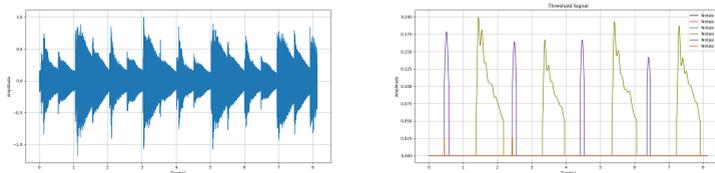
Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	0	0						0			
2	0		0					0			
3	0			0				0			
5	0				0			0			
6	3					3		3			
7	3						3	3			
<b>Total</b>	<b>6</b>							<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{6} = 0\% \quad (4.11)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 6 pukulan instrumen saron dan peking menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 6 notasi. Sehingga pada pengujian notasi 6 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 100%.

### 3. Pengujian 8 Pukulan

Pada gambar 4.49 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 8 pukulan menggunakan kombinasi instrumen saron dan peking.



**Gambar 4.49:** Sinyal Hasil Pengujian 8 Pukulan

Berikut tabel 4.13 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 8 pukulan.

**Tabel 4.13:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 8 Pukulan

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0					0				
<b>2</b>	0		0				0				
<b>3</b>	0			0			0				
<b>5</b>	4				4		4				
<b>6</b>	4					4	4				
<b>7</b>	0						0				
<b>Total</b>	<b>8</b>						<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

**Keterangan:**

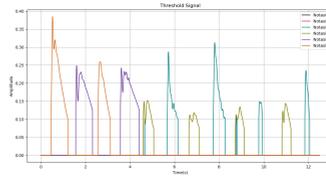
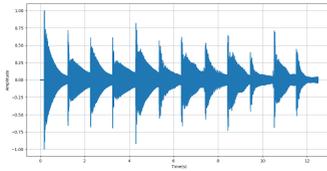
- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{8} = 0\% \quad (4.12)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 8 pukulan instrumen saron dan peking menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 8 notasi. Sehingga pada pengujian notasi 8 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 100%.

4. Pengujian 12 Pukulan

Pada gambar 4.50 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 12 pukulan menggunakan instrumen saron.



**Gambar 4.50:** Sinyal Hasil Pengujian 12 Pukulan

Berikut tabel 4.14 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 12 pukulan.

**Tabel 4.14:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 12 Pukulan

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	0		0					0			
<b>3</b>	4			4				4			
<b>5</b>	4				4			4			
<b>6</b>	2					2		2			
<b>7</b>	2						2	2			
<b>Total</b>	<b>12</b>							<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Keterangan:**

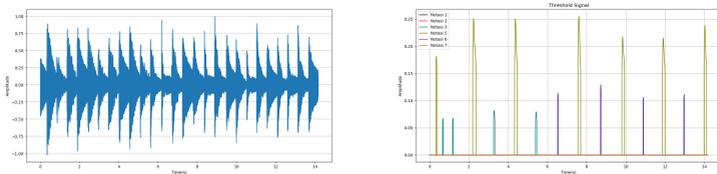
- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{0 + 0 + 0}{12} = 0\% \quad (4.13)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 12 pukulan instrumen saron menunjukkan hasil yang sama jika dibandingkan dengan jumlah notasi asli yaitu sebanyak 12 notasi. Sehingga pada pengujian notasi 12 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 100%.

#### 5. Pengujian 14 Pukulan

Pada gambar 4.51 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 14 pukulan menggunakan kombinasi instrumen saron dan bonang.



**Gambar 4.51:** Sinyal Hasil Pengujian 14 Pukulan

Berikut tabel 4.15 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 14 pukulan.

**Tabel 4.15:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 14 Pukulan

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
1	0	0					0				
2	0		0				0				
3	3			4			3	1			
5	7				7		7				
6	4					4	4				
7	0						0				
<b>Total</b>	<b>8</b>						<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

#### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)

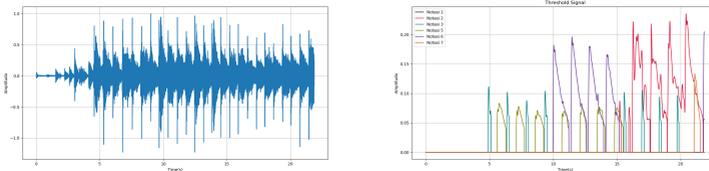
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{1 + 0 + 0}{14} = 7.14\% \quad (4.14)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 14 pukulan instrumen saron dan bonang menghasilkan satu notasi *insertion* pada notasi 3. Sehingga pada pengujian notasi 14 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 92.86%.

## 6. Pengujian 25 Pukulan

Pada gambar 4.51 menunjukkan hasil dari pengujian notasi 14 pukulan menggunakan kombinasi instrumen orkestra.



**Gambar 4.52:** Sinyal Hasil Pengujian 25 Pukulan

Berikut tabel 4.16 merupakan tabel hasil pengujian notasi menggunakan 25 pukulan.

### Keterangan:

- (a) I = Insert (Notasi yang seharusnya tidak ada tapi dikenali sebagai sebuah notasi)
- (b) D = Delete (Notasi yang hilang)
- (c) R = Replacement (Notasi yang pengganti yang tidak sesuai dengan notasi asli)

**Tabel 4.16:** Tabel Hasil Pengujian Notasi 25 Pukulan

Notasi	Original	Perkiraan Notasi						Correct	I	D	R
		1	2	3	5	6	7				
<b>1</b>	0	0						0			
<b>2</b>	4		5					4	1		
<b>3</b>	8			8				8			
<b>5</b>	8				7			6		1	
<b>6</b>	4					4		4			
<b>7</b>	1						1	1			
<b>Total</b>	<b>25</b>							<b>23</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

$$NER = 100\% \times \frac{I + D + R}{Total} = 100\% \times \frac{1 + 1 + 0}{25} = 8\% \quad (4.15)$$

Hasil pengujian perkiraan notasi menggunakan 25 pukulan instrumen orkestra menghasilkan satu notasi *insertion* pada notasi 2 dan satu notasi *deletion* pada notasi 5. Sehingga pada pengujian notasi 25 pukulan menghasilkan akurasi sebesar 92%.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 5

## PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil implementasi dan pengujian sistem yang sudah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Keras dan lemahnya rekaman suara gamelan menyebabkan perbedaan tinggi amplitudo pada sinyal suara sehingga mempengaruhi proses pemisahan suara.
2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh tingkat akurasi untuk musik sintetis sebesar 100%. Hasil pengujian musik semi sintetis memiliki tingkat akurasi sebesar 100%. Hasil pengujian musik akustik yang terdiri dari satu instrumen saron memiliki tingkat akurasi sebesar 100%, musik akustik yang terdiri dari dua instrumen saron dan peking memiliki tingkat akurasi sebesar 100%, musik akustik yang terdiri dari dua instrumen saron dan demung memiliki tingkat akurasi sebesar 100%, musik akustik yang terdiri dari dua instrumen saron dan bonang memiliki tingkat akurasi sebesar 62.07%, dan musik akustik orkestra memiliki tingkat akurasi sebesar 92%.
3. Parameter frekuensi *cut off* bawah dan frekuensi *cut off* atas pada masing-masing saron sangat mempengaruhi kinerja hasil pembentukan notasi.
4. Hasil pengujian musik akustik menggunakan dua instrumen saron dan bonang menghasilkan tingkat akurasi yang paling rendah. Hal ini dikarenakan instrumen bonang memiliki frekuensi yang relatif sama dengan instrumen saron. Sehingga instrumen bonang mempengaruhi kinerja pembentukan notasi pada instrumen saron.
5. Semakin banyak jumlah pukulan tiap satuan waktu tertentu maka semakin rapat pula sinyal yang dihasilkan. Hal ini menyebabkan beberapa notasi tidak terdeteksi atau hilang.

### 5.2 Saran

Demi pengembangan lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, disarankan beberapa langkah lanjutan sebagai berikut :

1. Menambahkan eksperimen pada instrumen yang memiliki frekuensi dasar yang hampir serupa, misalnya saron dan bonang, demung notasi 7 dengan saron notasi 1, dan saron notasi 7 dengan peking notasi 1.
2. Memisahkan suara instrumen lain yang mempengaruhi suara saron, seperti kenong, kempul, dan kendang.
3. Melakukan eksperimen terhadap musik orkestra dengan kualitas perekaman suara yang lebih baik lagi.

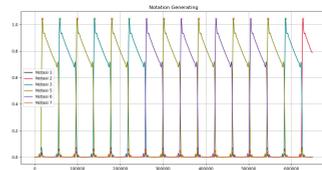
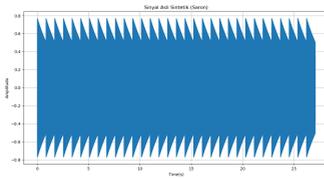
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Madrigal, “Fourier transform notes,” URL: <https://calebmadrigal.com/fourier-transform-notes/>, diakses tanggal 4 April 2019.
- [2] V. E. Pradhana and Y. K. Suprpto, “Portable high performance gamelan tuner using adaptive waveform pattern matching,” TICA 2012 Paper, Tokyo, Dec, 2012.
- [3] Y. K. Suprpto, “Ekstraksi suara saron berbasis spectral density menggunakan filter multidimensi,” in PhD Thesis of Electrical Engineering, 2010.
- [4] J. Hilder, Central Javanese Gamelan Handbook. New Zealand: Victoria University of Wellington, 1992.
- [5] Sumarsam, Gamelan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2003.
- [6] J. Bendat and A. Piersol, “Random data, analysis and measurement procedures,” John Wiley and Sons, 1986.
- [7] J. Sueur, “Introduction to sound analysis with seewave,” in CNRS UMR 7205 ISYEB, 2019.
- [8] F. Ulaby, Fundamentals of Applied Electromagnetics. USA: Prentice Hall, 2001.
- [9] Elbschwartz, “Lancaran manyar sewu,” URL: <https://segarabudaya.wordpress.com/2016/04/11/lancaran-manyar-sewu/>, diakses tanggal 4 Juni 2019.
- [10] B. Sklar, Digital Communications Fundamental and Application. New Jersey: PTR Prentice Hall, 1988.
- [11] R. A. Sutton, “Central javanese gamelan music:dynamics of a steady state,” Northern Illinois University in DeKalb, 1993.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 MUSIK SINTETIK

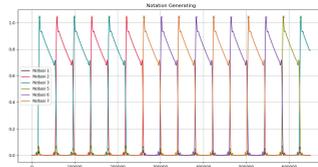
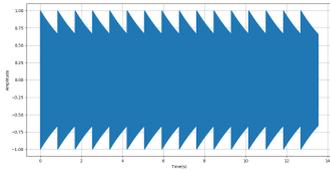


Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Estimasi Notasi: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	1	626880	13.06
3	4	58080	1.21
		139680	2.91
		220799	4.60
		586080	12.21
5	7	17760	0.37
		98880	2.06
		180000	3.75
		301920	6.29
		383040	7.98
		464160	9.67
6	4	545280	11.36
		261120	5.44
		342240	7.13
		423840	8.83
7	0	504960	10.52
		-	-



Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

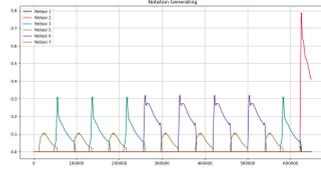
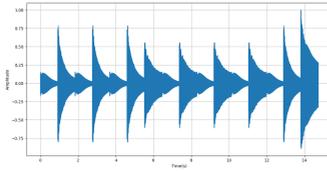
Estimasi Notasi: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	3	58080	1.21
		139680	2.91
		220799	4.60
3	4	17760	0.37
		98880	2.06
		180000	3.75
		626880	13.06
5	1	586080	12.21
6	4	301920	6.29
		383040	7.98
		464160	9.67
		545280	11.36
7	4	261120	5.44
		342720	7.14
		423840	8.83
		504960	10.52

## Lampiran 2

### MUSIK SEMI SINTETIK 1

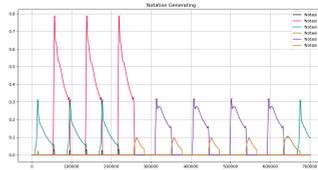
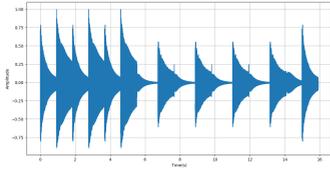


Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Estimasi Notasi: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	1	680640	14.18
3	4	60480	1.26
		148800	3.10
		237120	4.94
		634560	13.22
5	7	25920	0.54
		114240	2.38
		202560	4.22
		335040	6.98
		423840	8.83
		512160	10.67
		600480	12.51
6	4	283200	5.90
		371520	7.74
		459840	9.58
		548160	11.42
7	0	-	-



Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

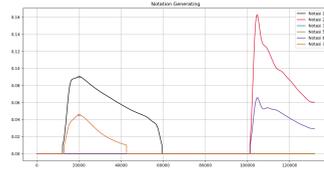
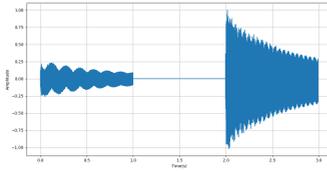
Estimasi Notasi: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	3	61920	1.29
		150240	3.13
		239040	4.98
3	4	15840	0.33
		104640	2.18
		192959	4.02
		735360	15.32
5	1	701280	14.61
6	4	341280	7.11
		444000	9.25
		546240	11.38
		648960	13.52
7	4	287040	5.98
		389759	8.12
		492000	10.25
		594720	12.39

### Lampiran 3

#### MUSIK SEMI SINTETIK 2



Notasi Asli: (7 1) (6 2)

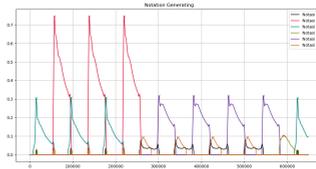
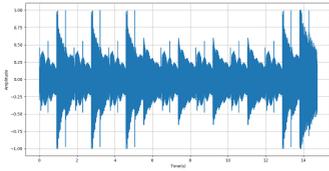
Estimasi Notasi: (7 1) (6 2)

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	1	21600	0.45
2	1	113760	2.37
3	0	-	-
5	0	-	-
6	1	113760	2.37
7	1	21600	0.45

## Lampiran 4

### MUSIK SEMI SINTETIK 3

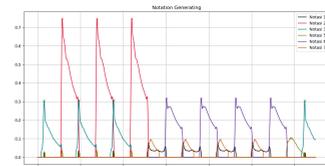
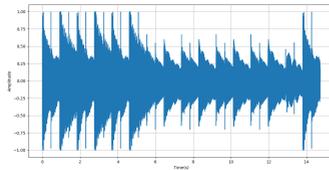


Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Estimasi Notasi: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	1	680640	14.18
3	4	60480	1.26
		148800	3.10
		237120	4.94
		634560	13.22
5	7	25920	0.54
		114240	2.38
		202560	4.22
		335520	6.99
		423840	8.83
		512160	10.67
6	4	600480	12.51
		283200	5.90
		371520	7.74
		459840	9.58
7	0	-	-
		548160	11.42



Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

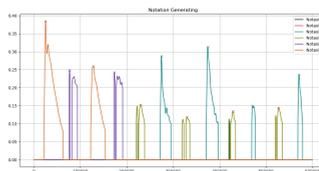
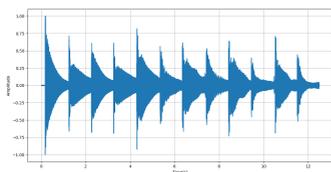
Estimasi Notasi: 3 2 3 2 3 2 7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	3	62400	1.30
		150720	3.14
		239040	4.98
3	4	16320	0.34
		104640	2.18
		192959	4.02
		678720	14.14
5	1	644640	13.43
6	4	327360	6.82
		415680	8.66
		504000	10.50
		592320	12.34
7	4	287040	5.98
		375360	7.82
		463680	9.66
		552000	11.50

## Lampiran 5

### MUSIK AKUSTIK 1

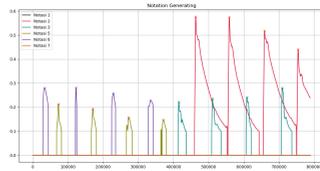
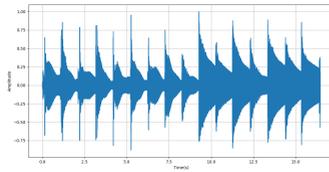


Notasi Asli: 7 6 7 6 5 3 5 3 5 3 5 3

Estimasi Notasi: 7 6 7 6 5 3 5 3 5 3 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	4	274560	5.72
		374400	7.80
		470880	9.81
		570720	11.89
5	4	229440	4.78
		329280	6.86
		428640	8.93
		526560	10.97
6	2	76800	1.60
		173280	3.61
7	2	24960	0.52
		127680	2.66



Notasi Asli: 7 6 7 6 7 6 7 6 3 2 3 2 3 2 3 2

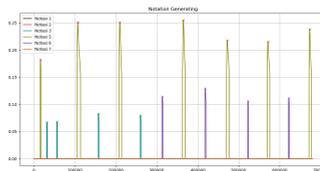
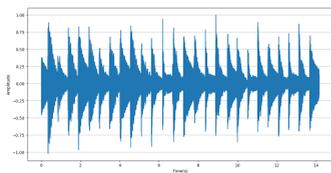
Estimasi Notasi: 7 6 7 6 7 6 7 6 3 2 3 2 3 2 3 2

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	463200	9.65
		558720	11.64
		659040	13.73
		754080	15.71
3	4	415200	8.65
		510720	10.64
		608640	12.68
		708960	14.77
5	4	72960	1.52
		170880	3.56
		272640	5.68
		371040	7.73
6	4	33600	0.70
		122880	2.56
		228959	4.77
		335040	6.98
7	0	-	-

## Lampiran 6

### MUSIK AKUSTIK 2

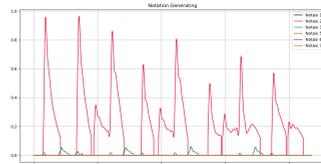
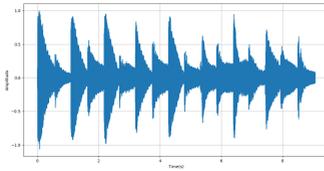


Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5

Estimasi Notasi: 5 3 (3) 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	3	56603	1.17
		157780	3.28
		260373	5.42
5	7	16257	0.33
		107266	2.23
		209785	4.37
		364936	7.60
		472021	9.83
		571343	11.90
		673365	14.02
6	4	313799	6.53
		418563	8.72
		522634	10.88
		622412	12.96
7	0	-	-

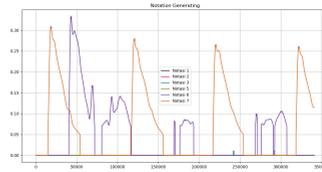
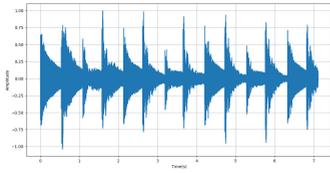


Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 3 2

Estimasi Notasi: (2) 3 (2) 2 (2) 3 (2) 2 (2) 3 (2) 2 (2) 3 (2) 2

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	97239	2.02
		198179	4.12
		298800	6.22
		399859	8.33
3	4	43397	0.90
		144396	3.00
		246069	5.12
		346842	7.22
5	0	-	-
6	0	-	-
7	0	-	-



Notasi Asli: 7 6 7 6 7 6 7

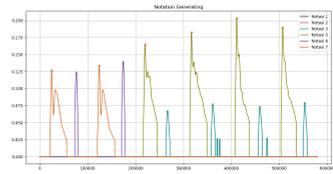
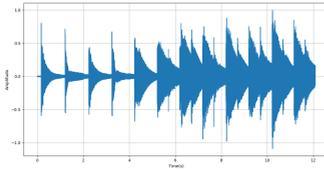
Estimasi Notasi: 7 (6) 6 7 6 7 (6) 6 7

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
5	0	-	-
6	3	103137	2.14
		182156	3.79
		300784	6.26
7	4	18455	0.38
		120463	2.50
		220324	4.59
		322027	6.70

## Lampiran 7

### MUSIK AKUSTIK 3

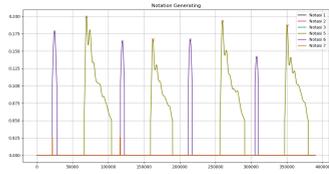
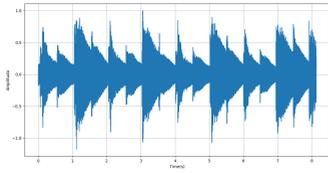


Notasi Asli: 7 6 7 6 5 3 5 3 5 3 5 3

Estimasi Notasi: 7 6 7 6 5 3 5 3 5 3 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	4	266400	5.55
		360960	7.52
		459360	9.57
		552960	11.52
5	4	219360	4.57
		316320	6.59
		410880	8.56
		506880	10.56
6	2	76320	1.59
		174240	3.63
7	2	24960	0.52
		123840	2.58

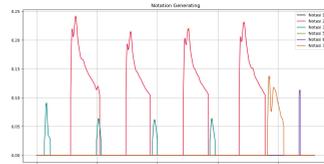
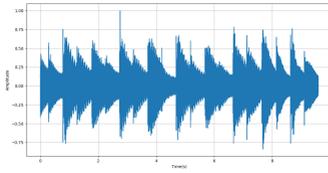


Notasi Asli: 7 6 7 6 7 6 7 6

Estimasi Notasi: 7 6 7 6 7 6 7 6

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
5	4	69473	1.44
		162439	3.38
		259779	5.41
		350289	7.29
6	4	24686	0.51
		119752	2.49
		214700	4.47
		307663	6.40
7	0	-	-

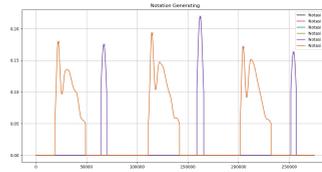
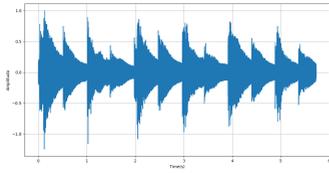


Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6

Estimasi Notasi: 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	64430	1.34
		155414	3.23
		250826	5.22
		342926	7.14
3	4	15974	0.33
		102089	2.12
		194860	4.05
		289673	6.03
5	0	-	-
6	1	435409	9.071
7	1	384648	8.013

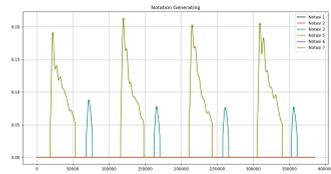
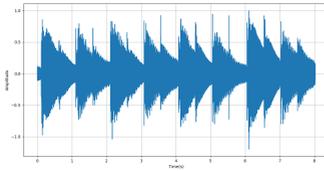


Notasi Asli: 7 6 7 6 7 6

Estimasi Notasi: 7 6 7 6 7 6

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
5	0	-	-
6	3	67121	1.39
		162157	3.37
		254291	5.29
7	3	22023	0.45
		114525	2.38
		204608	4.26

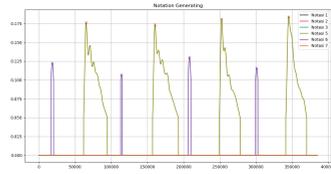
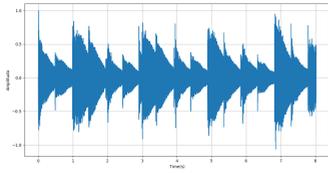


Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3

Estimasi Notasi: 5 3 5 3 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	4	72096	1.50
		166002	3.45
		261010	5.43
		355892	7.41
5	4	22257	0.46
		119962	2.49
		215160	4.48
		309291	6.44
6	0	-	-
7	0	-	-

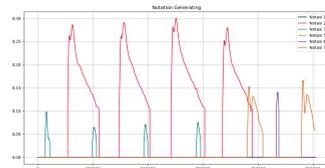
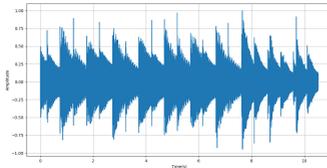


Notasi Asli: 6 5 6 5 6 5

Estimasi Notasi: 6 5 6 5 6 5

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
5	4	65293	1.36
		160513	3.34
		252589	5.26
		345203	7.19
6	4	18623	0.38
		114113	2.37
		208110	4.33
		300907	6.26
7	0	-	-

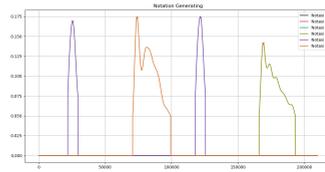
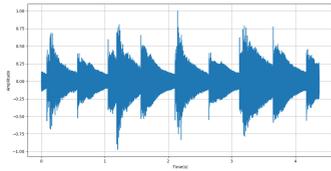


Notasi Asli: 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6 7

Estimasi Notasi: 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6 7

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	63213	1.31
		157009	3.27
		251500	5.23
		344623	7.17
3	4	15838	0.32
		102377	2.13
		195576	4.07
		291150	6.06
5	0	-	-
6	1	436016	9.08
7	2	383912	7.99
		481952	10.04



Notasi Asli: 6 7 6 5

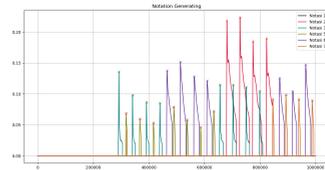
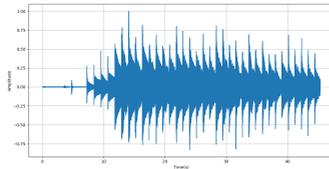
Estimasi Notasi: 6 7 6 5

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	0	-	-
3	0	-	-
5	1	169077	3.52
6	2	25397	0.52
		121629	2.55
7	1	73961	1.54

## Lampiran 8

### MUSIK AKUSTIK 4

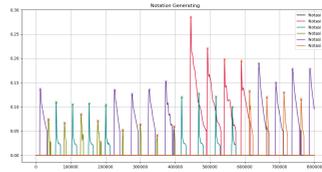
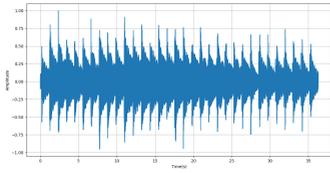


Notasi Asli: 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6 7  
6 7 6 7

Estimasi Notasi: 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2 7  
6 7 6 7 6 7

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	680940	30.88
		727936	33.01
		774806	35.13
		823767	37.35
3	8	292105	13.24
		341448	15.48
		391511	17.75
		439831	19.94
		656034	29.75
		703396	31.90
		750644	34.04
		799129	36.24
5	7	318075	14.42
		367617	16.67
		416536	18.89
		489954	22.22
		537645	24.38
		586385	26.59
		633689	28.73
6	7	465577	21.11
		513637	23.29
		563211	25.54
		610031	27.66
		870673	39.48
		917734	41.62
7	4	964394	43.73
		846303	38.38
		893141	40.50
		939764	42.61
		987728	44.79

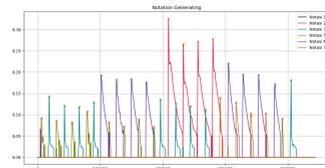
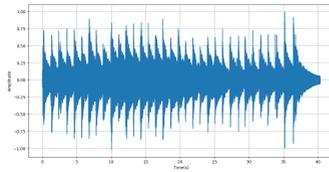


Notasi Asli: 6 5 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2 7  
6 7 6 7 6 7 6

Estimasi Notasi: 6 5 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3  
2 7 6 7 6 7 6 7 6

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	444941	20.17
		493206	22.36
		541906	24.57
		590374	6.77
3	8	58691	2.66
		105551	4.78
		153246	6.94
		200829	9.10
		418785	18.99
		468060	21.22
		517094	23.45
		564506	25.60
5	8	36128	1.63
		82515	3.74
		130058	5.89
		177934	8.06
		249713	11.32
		299987	13.60
		347971	15.78
		396555	17.98
6	9	12887	0.58
		225948	10.24
		276266	12.52
		325886	14.77
		373381	16.93
		640395	29.04
		689357	31.26
		737006	33.42
786850	35.68		
7	4	613867	27.83
		663338	30.08
		712477	32.31
		761667	34.54



Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2 7 6  
7 6 7 6 7 6 5 3

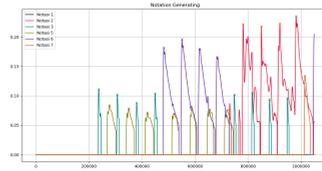
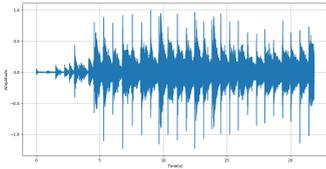
Estimasi Notasi: 5 3 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2  
7 6 7 6 7 6 7 6 5 3

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	418478	18.97
		466231	21.14
		512678	23.25
		560669	25.42
3	9	36847	1.67
		85932	3.89
		133078	6.03
		179527	8.14
		393026	17.82
		441978	20.04
		488754	22.16
		537156	24.36
		810457	36.75
5	9	11963	0.54
		59953	2.71
		110128	4.99
		158840	7.20
		228333	10.35
		276027	12.51
		323793	14.68
		371708	16.85
782745	35.49		
6	8	203009	9.20
		252279	11.44
		299864	13.59
		347382	15.75
		609999	27.66
		657197	29.80
706992	32.06		
759568	34.44		
7	4	583656	26.46
		634902	28.79
		681749	30.91
		729909	33.10

## Lampiran 9

### MUSIK AKUSTIK 5



Notasi Asli: 5 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 3 2 3 2 3 2 7

Estimasi Notasi: 3 5 3 5 3 6 5 6 5 6 5 6 5 3 2 (2) 3 2 3 2 3 2 7

Tabel hasil notasi, posisi sampling, dan waktu terjadinya nada.

Notasi	Jumlah Notasi	Posisi Sampling	Waktu (s)
1	0	-	-
2	4	781388	16.27
		850229	17.71
		919591	19.15
		980700	20.43
3	8	236890	4.93
		307212	6.40
		380093	7.91
		449665	9.36
		748123	15.58
		815678	16.99
		880849	18.35
		948670	19.76
5	7	276787	5.76
		349836	7.28
		420675	8.76
		520569	10.84
		588438	12.25
		654492	13.63
		721090	15.02
6	4	482107	10.04
		550706	11.47
		616365	12.84
		682559	14.21
7	1	1013977	21.12

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kediri, Jawa Timur pada 6 Februari 1998. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Aman Merdeka dan Ibu Sutrimah. Penulis lulus dari MTs Negeri 2 Kediri pada tahun 2012 kemudian melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 4 Kediri hingga akhirnya lulus pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Strata-I di Departemen Teknik Komputer di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Saat di kuliah penulis aktif menjadi staf BEM FTI ITS 2016/2017 dan menjadi sekretaris departemen Ristek Himatektro ITS 2017/2018. Pada saat kuliah penulis pernah mengikuti kompetisi menulis opini mahasiswa yang mengangkat tema "*Manusia dalam Bingkai Perbedaan*" di Universitas Diponegoro dan mendapatkan juara pertama tingkat Nasional. Penulis juga menjadi Asisten Laboratorium Telematika B201. Penulis dapat dihubungi melalui email [kafiyatulfithri@gmail.com](mailto:kafiyatulfithri@gmail.com).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*