

PENGOLAHAN BUNYI DIGITAL

“Beat Tracking”



Disusun Oleh :

Putu Indah Pradnyawati	(1608561014)
Gede Putra Dharmajaya	(1608561035)

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS UDAYANA
2018**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	2
BAB I PENDAHULUAN	3
1.1 Latar Belakang	3
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Library numpy	5
2.2 Library scipy	5
2.3 Library librosa	5
2.4 Onset Detection	5
2.5 Beat Tracking	7
BAB 3 SKENARIO PENGUJIAN	9
BAB 4 IMPLEMENTASI PENGUJIAN	10
BAB 5 HASIL PENGUJIAN	13
Referensi	14

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Music dapat didengarkan dimanapun dan kapanpun, karena music ada di sekitar kita. Ketika kita mendengarkan music, tanpa sadar kita mengetuk bersamaan dengan ketukan music yang kita dengarkan. Tidak jarang, kaki kita secara otomatis bergerak mengikuti irama music yang didengarkan. Kita jatuh ke alur music dan pikiran kita mulai beresonansi dengan lagi-lagu yang didengarkan. Bertepuk tangan, mengetuk kaki, atau bahkan menggerakkan tubuh saat mendengarkan musik disebabkan oleh kemampuan manusia untuk memahami onset dalam musik (A. Holzapfel, 2010).

Onset adalah saat dimana sebuah (atau beberapa) nada mulai dimainkan, ditandai dengan perubahan dari keadaan tanpa nada menjadi “bernada” (J. P. Bello, dkk. 2005) . Deteksi onset mempengaruhi pengenalan fitur musik lainnya seperti beat, tempo, dan ritme (Diah P. Wulandari, dkk. 2013). Deteksi onset berguna untuk banyak aplikasi tingkat tinggi dalam pengambilan informasi musik, seperti identifikasi instrument.

Beat (ketukan) adalah periodisitas yang menonjol dalam sinyal music yang menyediakan unit dasar waktu dan pondasi untuk struktur temporal dari musik. Dengan perkembangan teknologi yang begitu pesat, kini manusia dapat melatih system buatan untuk dapat menangkap beat dari music seperti kemampuan yang dimiliki manusia. Hal ini dapat dilakukan dengan memahami konsep *beat tracking*. Beat tracking didefinisikan sebagai penentuan waktu instance dalam rekaman audio, dimana manusia sebagai pendengar cenderung mengetukkan kakinya ketika mendengarkan music (www.analyticsvidhya.com, 2018). Tujuan dari beat tracking ini yaitu untuk melacak semua lokasi beat dalam kumpulan file suara dan menampilkan waktu onset beat ini untuk setiap file. Berbagai penelitian mengenai beat tracking audio telah dilakukan, karena bidang ini menjadi bagian yang penting dan relevan dalam Music Information Retrieval.

Dalam hal yang lebih teknis, beat dapat digunakan untuk tugas pencarian informasi musik seperti transkripsi musik. Misalnya, Anda dapat membuat notasi

ketukan drum - sehingga dapat dibagi dengan pencipta dan penggemar musik lainnya. Sebagian besar pengujian pendekatan untuk transkripsi music dengan konsep beat tracking diterapkan pada instrumen akustik fabrikasi, seperti organ, piano, gitar, dan biola, tetapi hanya sedikit dari mereka yang diuji pada musik tradisional.

Salah satu music tradisional yang terkenal di Bali yaitu gamelan Angklung. Salah satu instrumen yang terdapat pada Angklung yaitu reong. Reong adalah instrumen yang bentuknya memanjang dan berpencon (<http://blog.isi-dps.ac.id>). Reong angklung adalah instrumen yang berpencon dengan gaya nada slendro dan dimainkan oleh 4(empat) orang pemain atau penabuh. Instrumen ini menggunakan alat pukul panggul tetapi panggul itu dililit dengan benang dengan tujuan agar suara reong tersebut bisa lebih merdu. Penempatan nada-nada reong berjejer dari nada rendah ke nada tinggi (dari kiri ke kanan), sesuai dengan ukuran besar kecilnya (nirus). Tinggi rendahnya nada yang dihasilkan sebuah pencon reyong ditentukan oleh besar kecil pencon dan cembung cekungnya pencon reyong. Semakin besar pencon reyong maka semakin rendah nada yang dihasilkan, dan semakin cembung pencon reyong maka semakin tinggi nada yang dihasilkan (<http://blog.isi-dps.ac.id>).

Dalam laporan ini, penulis akan menggunakan instrumen reong untuk proses transkripsi music yang dilakukan dengan mengetahui tempo dari ketukan reong yang dimainkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada laporan ini yaitu bagaimana melakukan proses Beat Tracking pada audio instrumen reong dengan menggunakan metode autokorelasi untuk proses perkiraan pitchnya.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan laporan ini adalah melakukan pelacakan beat (beat tracking) untuk melacak semua lokasi beat dalam kumpulan file audio instrumen reong dan menampilkan waktu onset beat ini untuk setiap file yang diinputkan.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 Library numpy

Numpy merupakan paket dasar untuk komputasi ilmiah dengan Python. Numpy antara lain berisi :

- Objek array N-dimensi yang kuat
- Sophisticated (broadcasting) functions
- Alat untuk mengintegrasikan kode C/C++ dan Fortran
- Berguna untuk Aljabar linier, Transformasi Fourier, dan kemampuan angka acak

Selain penggunaan ilmiahnya yang jelas, NumPy juga dapat digunakan sebagai wadah data generik multi dimensi yang efisien. Tipe data dapat didefinisikan. Ini memungkinkan NumPy untuk berintegrasi dengan cepat dengan berbagai macam basis data. (<https://www.numpy.org/>)

2.2 Library scipy

Pustaka SciPy adalah salah satu paket inti yang membentuk tumpukan SciPy. Ini menyediakan banyak rutinitas numerik yang ramah pengguna dan efisien seperti rutinitas untuk integrasi numerik, interpolasi, optimisasi, aljabar linier dan statistik. (<https://www.scipy.org/scipylib/index.html>)

2.3 Library librosa

a. Librosa.onset.onset_detect

Merupakan fungsi librosa yang digunakan sebagai detektor onset dasar. Fungsi tersebut akan menemukan kondisi onset dengan memilih puncak pada kekuatan onset envelope. Parameter yang digunakan untuk menggunakan fungsi tersebut adalah audio time series (y), sampling rate (sr), dan hop length.

b. Librosa.onset.onset_strength

Merupakan fungsi yang digunakan untuk menghitung fluktuasi spectral dari kekuatan onset envelope.

c. Librosa.samples_to_time

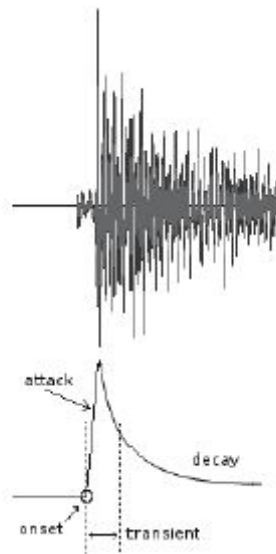
Merupakan fungsi untuk mengkonversi index dari sampel menjadi waktu dalam detik. Parameter yang digunakan adalah sampel dari index atau array dan sampling rate. Keluaran yang dihasilkan berupa nilai waktu sesuai dengan sampel.

d. Librosa.autocorrelate

Merupakan fungsi untuk melakukan proses auto-correlation. Parameter yang digunakan adalah array dari autocorrelate (y), nilai maksimum correlation (max_size), dan nilai axis yang melalui autocorrelate (axis). Keluaran yang dihasilkan adalah nilai z yaitu nilai dari autocorrelation

2.4 Onset Detection

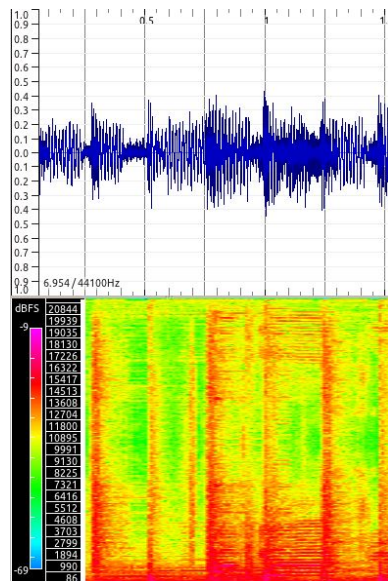
Ada beberapa teknik untuk menentukan onset yaitu dengan mendefinisikan onset sebagai awal dari sebuah not (Dixon, 2006), saat dimulainya nada akustik (Eyben et al, 2010), atau sebagai pemilihan tanda transien yang diperpanjang (Bello et al, 2005). Transien merupakan interval waktu saat perubahan energi yang signifikan terjadi dalam sinyal (Bello et al.,2005; Klapuri & Davy, 2006). Contoh ilustrasi berikut dapat menjelaskan konsep di atas:



Gambar 2.1: Attack, onset dan transient pada not tunggal

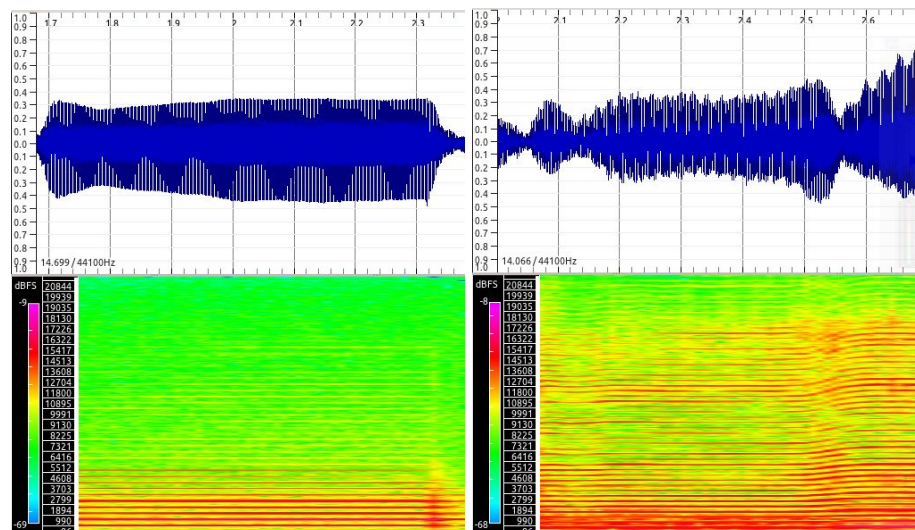
Pada gambar di atas, onset digambarkan seperti penjelasan sebelumnya, namun definisi onset akan menjadi membingungkan pada kasus polyphonic yang akan

diilustrasikan pada gambar selanjutnya. Menurut Dixon, awal not yang menyusun akord mungkin menyebar sepersepuluh milidetik yang menghasilkan perluasan transien. Untuk mengatasi ambiguitas dalam menentukan onset yang tepat biasanya terlebih dahulu menentukan definisi onset yang tepat untuk aplikasi tertentu.



Gambar2.2: Polyphonies synchronous onsets (sinyal dan spectrogram)

Dari penjelasan sebelumnya, onset dapat dikatakan sebagai momen awal not musik. Oleh karena itu, onset dapat dibedakan menjadi kelas onset yaitu Non-pitched Percussive (NPP) dan Pitched Percussive.



Gambar 2.3: Extended Transient dan Ambiguous Onset

2.5 Beat Tracking

Algoritma pelacakan beat (beat tracking) konvensional umumnya menggunakan tiga komponen utama yaitu ekstraksi fitur, tempo induction, dan beat induction. Fitur ritme yang diekstraksi biasanya didasarkan pada onset dan berbagai jenis fungsi deteksi onset. Periodik diidentifikasi dari fitur - fitur yang diekstraksi dan domain tempo didapatkan dengan menggunakan informasi periodisitas tersebut. Beat dilacak menggunakan tempo dengan menemukan fase beat dan mengidentifikasi mana yang termasuk beat dan non-beat.

Pada jurnal yang diusulkan oleh Dixon menggunakan sistem BeatRoot yang memiliki dua komponen utama yang digunakan untuk mencari tempo induction dan beat tracking. Inter Onset Interval (IOIs) dihitung dan didapatkan hipotesis tempo. Hipotesis dan IOI merupakan input untuk proses beat tracking.

BAB 3 SKENARIO PENGUJIAN

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan beat dari instrumen reong pada sebuah file audio dengan format .wav. File audio dari pukulan beberapa nada reong, akan diujikan pada data nada dasar reong yang telah dimiliki. Langkah awal, akan dicari frekuensi fundamental dari nada dasar reong yang terdiri dari nada dang, deng, dan dong. Kemudian, file audio dari pukulan beberapa nada reong akan melalui tahapan-tahapan untuk mengenali masing-masing nada dari ketukan audio, dan akhirnya dapat menentukan beat dari audio yang diinputkan sesuai dengan pukulan nada dasarnya.

Dalam menentukan beat pada suatu audio dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu :

1. Deteksi Onset

Untuk mendeteksi onset, dilakukan dengan menggunakan library yang disediakan python, yaitu librosa.onset.onset_detect. Dengan library ini akan dihasilkan list posisi onset yang terdeteksi di unit yang ditentukan.

Dalam menentukan onset, pada pengujian ini akan dilakukan pengambilan puncak dengan menggunakan heuristik yang fleksibel untuk memilih puncak dalam sinyal dengan menggunakan library librosa.util.peak_pick untuk memilih puncak dari deret waktu. Oleh sebab itu pada library librosa.onset.onset_detect perlu ditambahkan beberapa parameter yaitu pre_max, post_max, pre_avg, post_avg, delta, dan wait.

Selanjutnya onset diberi pad dengan awal dan akhir sinyal. Onset juga perlu diubah menjadi satuan detik dengan menggunakan library librosa.samples_to_time.

2. Memperkirakan Pitch

Dalam memperkirakan pitch, kami menggunakan metode autocorrelation. Dalam python telah disediakan library untuk proses dari autocorrelation yaitu dengan library librosa.autocorrelate.

Proses dilakukan dengan mengambil segmen dari sinyal, dimana satu segmen didefinisikan sebagai sinyal yang ada pada onset_sample ke-i hingga onset_sample ke-(i+1). Selanjutnya, segmen sinyal akan diproses dengan menggunakan library autocorrelate. Dari proses ini, akan diperoleh frekuensi fundamental masing-masing segmen sinyal.

Dalam mengumpulkan fundamental frekuensi dari data nada dasar reong juga menerapkan proses ini.

3. Pengecekan frekuensi fundamental

Proses ini dilakukan untuk mengelompokkan frekuensi fundamental dari masing-masing segmen sinyal berdasarkan data nada dasar reong yang dimiliki.

BAB 4 IMPLEMENTASI PENGUJIAN

1. Proses pengumpulan data nada dasar reong

Pada proses ini, dilakukan dengan menggunakan file audio dengan format wav, dimana masing-masing audio merupakan rekaman dari nada dasar reong yaitu nada dang, deng, dan dong. Untuk proses penentuan nada dasar dari masing-masing audio dilakukan dengan mengimplementasikan library python yaitu autocorrelation. Untuk source code nya terlihat seperti gambar di bawah:

```
In [19]: def estimate_pitch(segment, sr, fmin=50.0, fmax=2000.0):  
  
    # Compute autocorrelation of input segment.  
    r = librosa.autocorrelate(segment)  
  
    # Define lower and upper limits for the autocorrelation argmax.  
    i_min = sr/fmax  
    i_max = sr/fmin  
    r[:int(i_min)] = 0  
    r[int(i_max):] = 0  
  
    # Find the location of the maximum autocorrelation.  
    i = r.argmax()  
    f0 = float(sr)/i  
    print(f0)  
    return f0
```

Hasil dari run program tersebut akan menghasilkan fundamental frekuensi dari input audio. Untuk masing-masing nada dasar digunakan 3 buah audio yang diujikan. Hasil dari masing-masing pengujian nada dasar dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Nada dasar	Frekuensi nada dasar File 1	Frekuensi nada dasar File 2	Frekuensi nada dasar File 3
Dong	59.115	63.1083	63.728
Deng	147.986	147.165	147.234
Dang	297.272	297.972	329.104

2. Proses Deteksi Onset

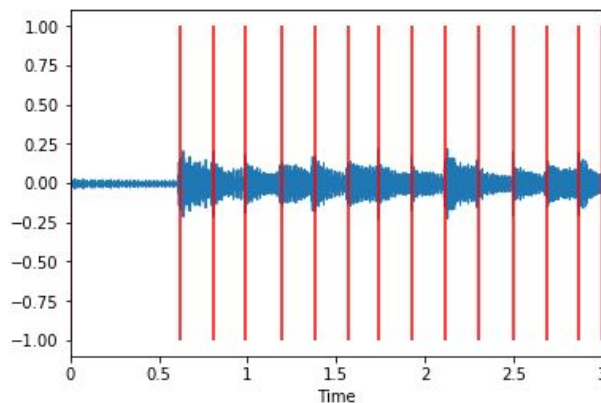
Dalam proses ini diimplementasikan library yang disediakan python yaitu librosa.onset.onset_detect. Untuk parameter hop_length kami mendeklarasikan nilainya adalah 100. Beberapa parameter tambahan yang juga digunakan yaitu dideklarasikan sebagai berikut: parameter backtrack

diberi nilai False sehingga kejadian awal yang terdeteksi tidak akan dilacak mundur ke minimum energi sebelumnya. Parameter `pre_max` diberi nilai 20, `post_max` diberi nilai 20, `pre_avg` diberi nilai 100, `post_avg` diberi nilai 100, `delta` diberi nilai 0.2 dan parameter `wait` diberi nilai 0.

Untuk Source code yang digunakan terlihat seperti gambar di bawah :

```
onset_samples = librosa.onset.onset_detect(x,
                                          sr=sr, units='samples',
                                          hop_length=hop_length,
                                          backtrack=False,
                                          pre_max=20,
                                          post_max=20,
                                          pre_avg=100,
                                          post_avg=100,
                                          delta=0.2,
                                          wait=0)
```

Selanjutnya, signal akan melalui proses concatenate dan onset akan diubah menjadi satuan detik. Hasil dari proses deteksi onset terlihat seperti gambar di bawah:



Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa garis merah menyatakan lokasi onset yang telah dideteksi melalui proses deteksi onset yang dilakukan.

3. Proses Memperkirakan Pitch

Untuk proses ini akan mengimplementasikan library python autocorrelate. Terlebih dahulu dideklarasikan variabel '`n0`' untuk menampung posisi onset ke-*i* dan variabel '`n1`' untuk menampung posisi onset ke-*(i+1)*. Kemudian, segmen yang akan digunakan pada proses autocorrelate ini akan bergantung pada nilai variabel `n0` dan `n1`. Setelah melakukan perhitungan autocorrelate pada segment inputan, maka proses dilanjutkan dengan menetapkan batas bawah dan atas untuk argmax autokorelasi. Selanjutnya akan dilakukan proses untuk menemukan lokasi autokorelasi maksimum. Untuk `fmax` diberikan nilai 2000 dan `fmin` diberikan nilai 50. Untuk source code terlihat seperti gambar di bawah :

```

n0 = onset_samples[i]
n1 = onset_samples[i+1]
f0 = estimate_pitch(x[n0:n1], sr)

def estimate_pitch(segment, sr, fmin=50.0, fmax=2000.0):
    # Compute autocorrelation of input segment.
    r = librosa.autocorrelate(segment)

    # Define lower and upper limits for the autocorrelation argmax.
    i_min = sr/fmax
    i_max = sr/fmin
    r[:int(i_min)] = 0
    r[int(i_max):] = 0

    # Find the location of the maximum autocorrelation.
    i = r.argmax()
    f0 = float(sr)/i
    return f0

```

4. Proses Pengecekan Frekuensi Fundamental

Pada proses selanjutnya, akan dilakukan proses pengecekan dan mengelompokkan frekuensi dasar yang diperoleh pada masing-masing segmen sesuai dengan rentang frekuensi fundamental nada dasar reong.

Untuk nada dasar dong memiliki rentang frekuensi 59 hingga 64, nada dasar deng memiliki rentang frekuensi 147 hingga 148, nada dasar dang memiliki rentang 296 hingga 330. Source code dari implementasi pada tahap ini dapat dilihat seperti pada gambar di bawah :

```

f0 = estimate_pitch(x[n0:n1], sr)

t0 = onset_times[i]

if f0 >= 59 and f0 <= 64:
    dong.append(t0)
elif f0 >= 147 and f0 <= 148:
    deng.append(t0)
elif f0 >= 296 and f0 <= 330:
    dang.append(t0)
return generate_sine(f0, sr, n1-n0)

```

Variabel t0 akan digunakan untuk menyimpan posisi waktu dimana ditemukan suatu onse dengan nada yang terdeteksi.

Untuk mengetahui beat dari suatu nada dasar yang ada pada audio pukulan berbagai nada reong dapat ditambahkan sinyal secara bersamaan dari sisi sample. Maka hasilnya akan dapat didengarkan audio asli disertai dengan onset yang terdeteksi.

BAB 5 HASIL PENGUJIAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap 15 file audio, maka diperoleh hasil data terlihat pada tabel di bawah ini :

Nama file	Dong	Deng	Dang	Keterangan
reong_1.wav	0 kali ketukan	2 kali ketukan	0 kali ketukan	salah
reong_2.wav	0 kali ketukan	5 kali ketukan	7 kali ketukan	benar
reong_3.wav	3 kali ketukan	4 kali ketukan	1 kali ketukan	benar
reong_4.wav	4 kali ketukan	8 kali ketukan	0 kali ketukan	salah
reong_5.wav	5 kali ketukan	9 kali ketukan	3 kali ketukan	salah
reong_6.wav	5 kali ketukan	5 kali ketukan	5 kali ketukan	benar
reong_7.wav	9 kali ketukan	8 kali ketukan	0 kali ketukan	benar
reong_8.wav	0 kali ketukan	5 kali ketukan	2 kali ketukan	salah
reong_9.wav	0 kali ketukan	6 kali ketukan	9 kali ketukan	benar
reong_10.wav	9 kali ketukan	9 kali ketukan	0 kali ketukan	benar
reong_11.wav	0 kali ketukan	2 kali ketukan	0 kali ketukan	salah
reong_12.wav	9 kali ketukan	8 kali ketukan	8 kali ketukan	benar
reong_13.wav	8 kali ketukan	4 kali ketukan	0 kali ketukan	benar
reong_14.wav	0 kali ketukan	4 kali ketukan	8 kali ketukan	benar
reong_15.wav	4 kali ketukan	8 kali ketukan	0 kali ketukan	salah

Berdasarkan dari hasil pengujian di atas, dapat disimpulkan bahwa dari 15 audio file yang digunakan untuk pengujian tigad nada reong yaitu dang, deng, dan dong untuk beat tracking terdapat 9 audio file yang terdeteksi ketiga nada tersebut dan 6 audio file yang tidak terdeteksi beat dari masing - masing nada pada suatu kotekan. Tidak terdeteksinya nada tersebut dikumgkinkan karena adanya nada reong yang dipukul secara bersamaan yang mengakibatkan nilai frekuensi baru yang muncul dan tidak dikenali pada empat frekuensi dasar yang telah dimiliki.Selain itu, rentang frekuensi dasar pada tiap nada perlu lebih diperhatikan agar pada setiap onset dapat dikenali pada frekuensi dari ketiga nada. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai keberhasilan akurasi yaitu 60%.

Referensi

1. Learn Audio Beat Tracking for Music Information Retrieval (with Python codes) diakses dari: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/02/audio-beat-tracking-for-music-information-retrieval/>
2. Klemens, K., Liliana, L., & Budhi, G. S. Automatic Transcription of Music. *Jurnal Infra*, 2(1).Detection.
3. J. P. Bello, L. Daudet, S. Abdallah, C. Duxbury, M. Davies, M. B. Sandler. A Tutorial on Onset Detection in Music Signals. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 2005
4. A. Holzapfel, Y. Stylianou, A. C. Gedik, B. Bozkurt. Three Dimensions of Pitched Instrument Onset Detection. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2010;
5. Diah P. Wulandari, Aris Tjahjanto, Yoyon K. Suprpto. Gamelan Music Onset Detection based on Spectral Features. 2013
6. INSTRUMEN REONG, diakses dari : <http://blog.isi-dps.ac.id/dwiriasta/instrumen-reong> pada 15 mei 2019.
7. Rosao, 2012, "Onset Detection in Music Signal", Department of Information Science and Technology.