

# Implementasi PCM (*Pulse Code Modulation*) sebagai Pengolah Sinyal pada Sistem Pendeteksi Musik untuk Aplikasi Robot

Albar Rizka Bahar, Ir. Wahyu Adi Priyono, M.Sc, Ali Mustofa, ST., MT.

**Abstrak**– Dalam kontes robot seni Indonesia, setiap robot diharuskan menari pada saat musik dimainkan, kemudian berhenti menari ketika musik tidak dimainkan, sehingga robot membutuhkan sistem pendeteksi suara yang tepat. *Pulse code modulation* (PCM) adalah metode modulasi yang dapat digunakan sebagai pengolah sinyal suara yang dihasilkan *microphone* melalui proses filterisasi (*lowpass filter* dengan frekuensi *cutoff* dibawah 4kHz), penyamplingan (frekuensi sinyal penyampling 8 kHz), proses kuantisasi 10 bit ADC dan pengkodean NRZ(*non return to zero*) 1 bit. Lagu uji yang digunakan dalam penelitian adalah *jiyuu e no shotai*. Hasil pengujian menunjukkan sistem yang dibuat telah dapat mengenali musik dan menyalakan LED biru ketika lagu uji dimainkan serta menyalakan LED merah ketika musik tidak dimainkan atau lagu yang dimainkan bukan lagu uji, sehingga dapat disimpulkan prinsip PCM dapat diimplementasikan sebagai pengolah sinyal dalam sistem pendeteksi musik untuk robot seni.

**Kata Kunci**— PCM, Musik, Robot Penari, Pengolah Sinyal, *microphone*

## I. PENDAHULUAN

Sistem deteksi suara merupakan salah satu sistem yang mulai dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir, karena dalam hal ini suara menjadi sumber informasi untuk diolah sebagai data dan bisa digunakan secara praktis dalam berbagai keperluan.

Teknologi robotika khususnya di Indonesia semakin berkembang, perkembangan ini mencakup dalam berbagai bidang robotika misalnya robot yang memiliki keahlian khusus memadamkan api, membangun suatu sistem hingga robot seni yang mampu memberikan hiburan dengan menari menyerupai manusia. Robot seni memerlukan suatu sistem pendeteksi musik untuk membuatnya menari saat ada musik. Oleh karena itu suatu metode yang tepat harus dimiliki sehingga sinyal suara yang diterima oleh robot dapat dikenali dan robot dapat melakukan keputusan yang sesuai dengan *rule* perlombaan.

*Pulse Code Modulation* (PCM) adalah metode transmisi serial dari representasi sinyal analog yang terdiri dari proses filterisasi, penyamplingan, kuantisasi dan

pengkodean. PCM memiliki kelebihan antara lain dapat mengubah sinyal analog menjadi besaran digital dengan *noise immunity* yang tinggi dan *error detection* yang mudah. Dengan menggunakan PCM pendeteksian musik dapat lebih mudah diatur karena sinyal analog diubah menjadi besaran digital, selain itu imunitas terhadap *error* atau *noise* menggunakan PCM lebih baik karena melewati tahap filterisasi, penyamplingan, kuantisasi dan pengkodean.<sup>[7]</sup>

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai bagaimana merancang diagram blok PCM(*pulse code modulation*), dan bagaimana mengimplementasikan prinsip kerja PCM (*pulse code modulation*) sebagai pengolah sinyal pada sistem deteksi musik sehingga sistem dapat membedakan keadaan ada musik dan tanpa musik dan mengirimkan sinyal kontrol yang menentukan gerak robot. Musik yang digunakan dalam pengujian adalah lagu dari *L'arc en ciel* yang berjudul *jiyuu e no shotai*. Proses PCM (*pulse code modulation*) antara lain filterisasi, penyamplingan, kuantisasi, dan pengkodean, kemudian untuk kontroler PCM digunakan ATmega8. Aplikasi robot yang dibahas adalah membuat robot seni menari pada saat musik dimainkan dan diam pada saat musik tidak dimainkan yang direpresentasikan dalam indikator LED (*Light-emitting diode*).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. PCM (*Pulse Code Modulation*)

Modulasi Kode Pulsa/*Pulse Code Modulation* (PCM) merupakan salah satu teknik modulasi yang merubah sinyal analog menjadi format sinyal digital yang ekuivalen dengan sinyal aslinya. Proses-proses utama yang dilakukan pada sistem PCM, diantaranya adalah proses Filterisasi, *Sampling* (Pencuplikan), *Quantizing* (Kuantisasi), dan *coding* (proses pengkodean) sehingga membentuk suatu sistem PCM.<sup>[7]</sup>

#### 1. Filterisasi

*Filter* adalah suatu rangkaian yang dirancang agar dapat meloloskan suatu sinyal input pada rentang frekuensi tertentu, dan meredam sinyal input yang mempunyai frekuensi diluar rentang frekuensi yang telah ditentukan, proses meloloskan sinyal oleh *filter* disebut filterisasi.<sup>[1]</sup>

*Filter* digital adalah *filter* dengan sinyal masukan berupa sinyal diskrit, yang dikelompokkan menjadi FIR (*Finite Impulse Response*) yang sering disebut *filter* nonrekursif dan IIR (*Infinite Impulse Response*) atau yang sering disebut *filter* rekursif.<sup>[11]</sup>

Albar Rizka Bahar adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (no telepon korespondensi penulis 085755941613; email albar.rizka@gmail.com)

Ir. Wahyu Adi Priyono, M.Sc. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Ali Mustofa, ST., M.T. adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

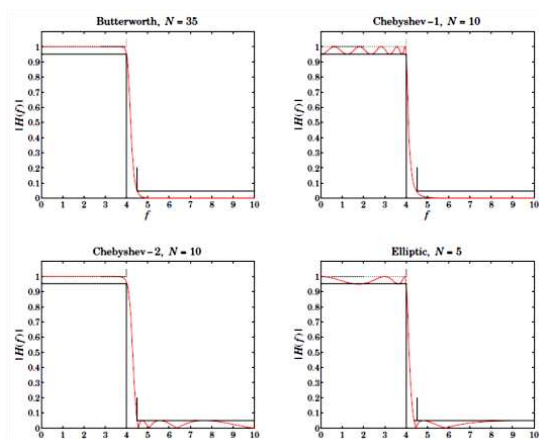
Fungsi transfer untuk filter digital dilambangkan sebagai  $H(z)$ , yang ditunjukkan dalam Persamaan 1.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_nz^{-n}}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n}} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan  $Y(z)$  adalah Persamaan untuk keluaran, dan  $X(z)$  Persamaan untuk masukan *filter*, lalu dengan  $b$  sebagai koefisien keluaran dan  $a$  sebagai koefisien masukan serta  $n$  sebagai orde *filter*.

Berdasarkan frekuensi yang diloloskan *filter* dapat dibedakan menjadi empat jenis yaitu *low pass filter*, *high pass filter*, *band pass filter*, dan *band stop filter*. Berdasarkan *ripple* dalam respon sinyal yang dihasilkan *filter* dibagi menjadi *filter butterworth*, *chebyshev* dan *elliptic*. Dalam Gambar 1 ditunjukkan respon frekuensi dari filter *butterworth*, *chebyshev 1*, *chebyshev 2*, dan *elliptic*.<sup>[9]</sup>



Gambar 1. Respon Sinyal Filter Butterworth, Chebyshev dan Elliptic.  
Sumber : Sophocles 2006:5

2. Penyamplingan

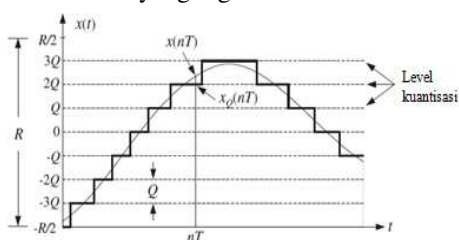
Penyamplingan adalah suatu proses mengubah sinyal analog menjadi sinyal diskrit agar sesuai dengan format digital. Untuk mendapatkan informasi yang menyerupai informasi asli, penyamplingan dilakukan sesuai dengan teorema *nyquist* yang ditunjukkan dalam Persamaan 2.

$$F_S \geq 2F_{max} \dots\dots\dots (2)$$

- $F_S$  = frekuensi sinyal penyampling (Hz) dan
- $F_{max}$  = frekuensi sinyal informasi (Hz)

3. Kuantisasi

Kuantisasi adalah suatu tahap pemetaan dari sinyal yang telah disampling menjadi sinyal dengan level tertentu berdasarkan bit ADC yang digunakan.<sup>[7]</sup>



Gambar 2. Sinyal Hasil Kuantisasi  
Sumber : Sophocles 2010:62

4. Pengkodean

Pengkodean merupakan proses mengubah suatu besaran tertentu kedalam bentuk lain yang dikenali berdasarkan ketentuan yang teratur. Pengkodean NRZ adalah suatu pengkodean dimana sinyal tidak kembali ke 0 volt di tengah-tengah bit. Dalam pengkodean NRZ, bit 0 direpresentasikan oleh sinyal dengan tegangan 0 volt, sedangkan bit 1 direpresentasikan oleh sinyal dengan tegangan +V volt.<sup>[11]</sup>

B. Microphone

*Microphone* adalah transduser, yang mengubah suara menjadi sinyal listrik. Terdapat berbagai jenis *microphone* berdasarkan caranya dalam mengubah energi, tetapi semua *microphone* mempunyai satu persamaan yaitu *diaphragm*. *Diaphragm* adalah material tipis seperti kertas, plastik, atau aluminium yang bergetar ketika terkena gelombang suara.

C. Signal To Noise Ratio (SNR)

Salah satu ukuran *noise* yang sangat penting adalah *signal to noise ratio* (SNR atau S/N). Ukuran *noise* ini merupakan perbandingan antara daya sinyal dan daya *noise*. Dengan menggunakan SNR dapat dilakukan evaluasi dan antisipasi pengaruh *noise* dari luar. SNR dapat diukur dari keadaan sinyal tanpa gangguan dan keadaan sinyal dengan gangguan. Secara matematis, SNR dinyatakan dalam satuan *decibel* (dB) dengan menggunakan Persamaan 3.

$$SNR = 10 \log \frac{\text{daya sinyal}}{\text{daya noise}} \text{ dB} \dots\dots\dots (3)$$

Jika dianggap sinyal komposit (informasi dan *noise*) diukur pada resistor yang sama ( $R_1 = R_2$ ), maka SNR juga dapat dinyatakan sebagai perbandingan tegangan sinyal dengan tegangan *noise* yang bila dinyatakan dalam *decibel*, dapat diformulasikan seperti Persamaan 4.

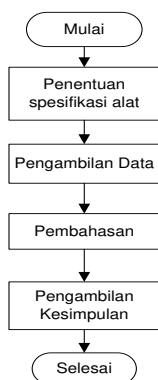
$$SNR = 10 \log \frac{S}{N}$$

$$= 10 \log \frac{(V_S)^2 / R_1}{(V_N)^2 / R_2}$$

$$= 20 \log \frac{\text{tegangan sinyal}}{\text{tegangan noise}} \text{ dB} \dots\dots\dots (4)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode kajian yang digunakan dalam penelitian bersifat aplikatif mengenai bagaimana implementasi PCM (*pulse code modulation*) sebagai pengolah sinyal pada sistem deteksi yang diaplikasikan untuk mengatur robot seni sehingga robot dapat menari atau diam menurut keadaan musik yang diberikan. Agar penelitian dapat dilakukan seperti yang direncanakan maka diperlukan langkah-langkah antara lain penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perencanaan dan pembuatan alat, pengujian alat serta pengambilan kesimpulan dan saran. Diagram alir proses penelitian ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Proses Penelitian  
Sumber : Perancangan

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan yang dilakukan yaitu mengenai perencanaan alat, perancangan alat, pembuatan alat, dan pengujian alat, alat yang dibuat dalam penelitian yaitu sistem pendeteksi lagu *jiyuu e no shotai* yang mengimplementasikan prinsip kerja PCM (*pulse coded modulation*).

##### A. Perencanaan Alat

Alat bekerja dengan suara sebagai input sinyal yang diolah, sinyal yang dihasilkan *microphone* dilewatkan pada *lowpass filter* lalu dimasukan pada mikrokontroler untuk melalui proses penyamplingan, kuantisasi dan pengkodean.

##### B. Perancangan Alat

###### 1. Perancangan *Hardware*

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian *microphone*, *filter*, rangkaian mikrokontroler, dan penguat sinyal.

###### 2. Perancangan algoritma *software*

Perancangan algoritma *software* mengenai algoritma penyamplingan, penguantisasian, dan pengkodean agar sistem dapat mengenali keadaan yang diberikan. *Software* yang digunakan untuk membuat *hardware* bekerja dengan maksimal antara lain CV AVR, dan *Extreme Burner* sebagai *writer*.

- Penyamplingan

Frekuensi sinyal penyampling minimal sama dengan dua kali nilai sinyal informasi yang akan disampling, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil penyamplingan yang baik dengan frekuensi sinyal informasi maksimal 4 kHz maka sinyal penyampling harus berfrekuensi :

$$fs \geq 2 \times 4 \text{ kHz}$$

$$fs \geq 8 \text{ kHz}$$

Untuk membuat mikrokontroler dapat menyampling dengan frekuensi 8 kHz digunakan *timer* ADC mikrokontroler yang diatur dalam *compiler* CV AVR.

- Kuantisasi

Sistem dirancang untuk menggunakan kuantisasi 8 bit. Untuk mengeluarkan sinyal hasil kuantisasi, pembacaan ADC dari ATmega8 setelah penyamplingan dilakukan disimpan dalam variabel kuantisasi, dengan memberikan isi variabel tersebut perintah ADCW.

- Pengkodean

Pengkodean sinyal PCM yang digunakan adalah pengkodean NRZ 1 bit. Agar nilai keluaran dari mikrokontroler bernilai +5 volt untuk logika 1 dan 0 volt untuk logika 0, perlu diatur nilai bit DDRB dan bit PORTB, yaitu nilai 1 pada pendefinisian bit DDRB (*data direction register* B), sehingga membuat *Port* B difungsikan sebagai *output* dan nilai 0 pada pendefinisian bit PORTB sehingga membuat *Port* B mengeluarkan logika 1 sebagai +Vcc (5 volt) dan logika 0 sebagai 0 volt.

Pengkodean tahap 1 yaitu sinyal dilewatkan dalam suatu *bandpass butterworth* IIR, dengan frekuensi band 50 Hz (f1) dan 2900 Hz (f2), dengan frekuensi sampling (fs) ADC 8 kHz, dan orde 4. Koefisien a dan b dalam Persamaan 1 dapat ditentukan dengan operasi MATLAB yaitu dengan menggunakan perintah sebagai berikut :

$$[a,b] = \text{butter}(0,5*n,[f1 f2]/0,5*fs);$$

Kemudian didapatkan koefisien a dan b sebagai berikut :

Tabel 1  
Koefisien a dan b

a0	a1	a2	a3	a4	b0	b1	b2	b3	b4
1	-1,10552	-0,38307	0,205936	0,285923	0,520508	0	-1,04102	0	0,520508

Sehingga Persamaan fungsi alih H(z) adalah :

$$H(z) = \frac{Y(z)}{x(z)} = \frac{0,520508 - 1,04102 z^{-2} + 0,520508 z^{-4}}{1 - 1,10552 z^{-1} - 0,38307 z^{-2} + 0,205936 z^{-3} + 0,285923 z^{-4}}$$

$$Y(z) - 1,10552 z^{-1}Y(z) - 0,38307 z^{-2}Y(z) + 0,205936 z^{-3}Y(z) + 0,285923 z^{-4}Y(z) = x(z)0,520508 - 1,04102 z^{-2}x(z) + 0,520508 z^{-4}x(z)$$

Dengan invers transformasi Z, didapatkan :

$$Y(n) = 0,520508 x(n) - 1,04102 x(n-2) + 0,520508 x(n-4) + 1,10552 Y(n-1) + 0,38307 Y(n-2) - 0,205936 Y(n-3) - 0,285923 Y(n-4) \dots \dots \dots (5)$$

Untuk memudahkan pemrograman koefisien x, dan y pada Persamaan 5 dibulatkan menjadi bentuk integer, dengan faktor pengali  $\frac{8}{16}$  yaitu menjadi :

$$Y(n) = \frac{1}{16} [8 x(n) - 16 x(n-2) + 8 x(n-4) + 17 Y(n-1) + 6 Y(n-2) - 3 Y(n-3) - 4 Y(n-4)] \dots \dots \dots (6)$$

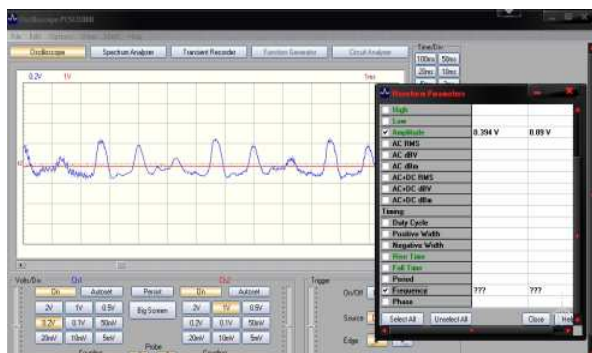
Dalam pengkodean tahap 2 diambil nilai Y[0], kemudian hasilnya dibedakan apabila nilai Y[0] lebih dari 413 dan kurang dari -36 (didapatkan dari nilai Y[0] lagu *jiyuu e no shotai* maksimal dan minimal melalui *hyper terminal* CV AVR) maka variabel data sinyal(ds) akan bernilai 1, apabila tidak memenuhi persyaratan ini variabel data sinyal(ds) bernilai 0, pengambilan data dilakukan 100 kali. Apabila terdapat minimal 1 dari 100 kali pengambilan data Y[0] yang berlogika 1 pada data sinyal (ds) variabel batas akan diberi perintah *increment*.

Selanjutnya variabel *batas* akan digunakan dalam pengkodean tahap 3, logika 1(+5 volt) diberikan pada keluaran PCM apabila nilai *batas* lebih dari 120 dan LED biru dinyalakan. Apabila nilai *batas* kurang dari 120 LED merah dinyalakan dan diberikan logika 0 (0 volt) pada keluaran PCM.

### C. Pengujian Alat

#### 1. Pengujian *Microphone*

Pengujian *microphone* dilakukan dengan memberikan suara dan tidak memberikan suara, lalu hasil pengujian dapat diketahui melalui *oscilloscope*. Dalam Gambar 4 ditunjukkan perbedaan hasil pengujian untuk keadaan dengan suara melalui *oscilloscope* PC LAB.



Gambar 4. Pengujian *Microphone*  
Sumber : Pengujian

#### 2. Pengujian LED indikator

Pengujian LED dilakukan dengan memberikan catu daya 5 volt pada rangkaian LED yang dihubungkan secara seri dengan resistor 250  $\Omega$ .

#### 3. Pengujian Detektor musik

Pengujian detektor musik dilakukan dengan menguji setiap sub-bagian dari sistem pendeteksi musik antara lain *filter*, mikrokontroler, frekuensi penyampling, hasil kuantisasi, dan pengkodean. Setelah masing-masing bagian sudah dapat bekerja dengan baik dilakukan pengujian keseluruhan sistem .

- Pengujian Mikrokontroler ATmega8

Data hasil pengujian mikrokontroler secara keseluruhan dapat diketahui dalam Tabel 3.

Tabel 3

Hasil Pengujian Mikrokontroler ATmega8	
Pengujian	Hasil
Pengujian <i>write</i> ke Mikrokontroler	Mikrokontroler dapat di <i>write</i>
Pengujian <i>read</i> Mikrokontroler	Mikrokontroler dapat di <i>read</i>
Pengujian <i>erase</i> memori Mikrokontroler	Mikrokontroler dapat di <i>erase</i>
Pengujian Masukan Pin C(ADC)	Masukan Terbaca dengan baik
Pengujian Pin keluaran (LED indikator)	Mengeluarkan logika dengan baik

Pengujian Mikrokontroler ATmega8 antara lain terdiri dari pengujian proses tulis ke mikrokontroler (*write*), baca dari mikrokontroler (*read*), hapus memori di mikrokontroler (*erase*), dan melihat masukan pin yang difungsikan sebagai pin ADC pada mikrokontroler serta keluaran yang dihubungkan dengan LED indikator.

- Pengujian *Filter*

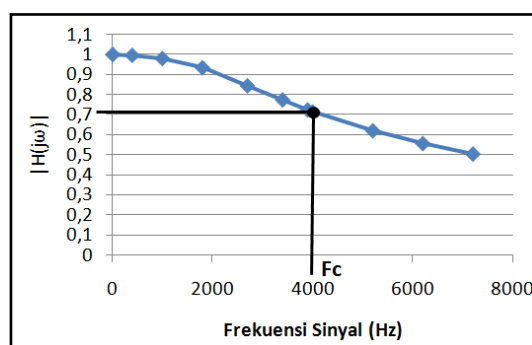
Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal dengan frekuensi 10 Hz, 400 Hz, 1000 Hz, 1800 Hz, 2700

Hz, 3400 Hz, 3900 Hz, 5200 Hz, 6200 Hz, dan 7200 Hz dengan tegangan 5 volt yang dihasilkan dari *function generator* dan dihubungkan pada *input* sistem lalu diukur tegangan keluaran dari *filter lowpass*.

Tabel 2  
Hasil Pengujian Filter

Frekuensi Sinyal Masukan (Hz)	Tegangan Terukur (Volt)	Redaman $ H(j\Omega) $
10	5	1
400	4,98	0,996
1000	4,9	0,98
1800	4,67	0,934
2700	4,22	0,844
3400	3,87	0,774
3900	3,62	0,724
4000	3,54	0,708
5200	3,102	0,6204
6200	2,78	0,556
7200	2,52	0,504

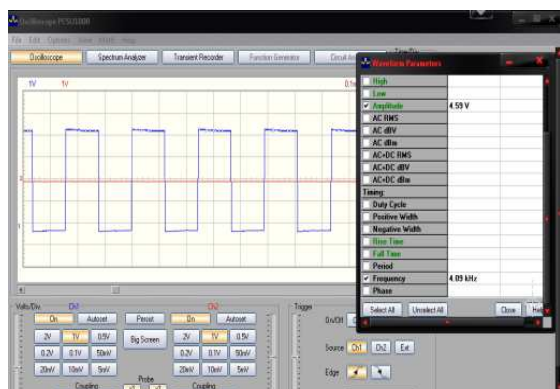
Berdasarkan Tabel 2 diketahui nilai redaman pada frekuensi 4 KHz sebesar 0,708 (mendekati *cutoff* 0,707).



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian *Filter*  
Sumber : Pengujian

- Pengujian Penyamplingan

Untuk mengetahui frekuensi penyampling mikrokontroler, dilakukan interupsi dalam *listing program* penyamplingan lalu membuat keluaran pada PORTB.0 berubah setiap kali periode sampling. Untuk mengetahui frekuensi yang dihasilkan, keluaran PORTB.0 dihubungkan dengan *oscilloscope* PC LAB kemudian berikan tanda *check* (✓) pada frekuensi dalam tab *waveform parameters* untuk mengetahui frekuensi sinyal keluaran PORTB.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian Frekuensi Sinyal Penyampling  
Sumber : Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, frekuensi keluaran PORTB.0 adalah 4,09 kHz sehingga frekuensi sinyal penyampling adalah  $2 \times 4,09 \text{ kHz} = 8,18 \text{ kHz}$ .

- Pengujian Kuantisasi

Pengujian kuantisasi dilakukan dengan memberikan masukan 0,5 volt, 1,5 volt, 2 volt, 3,5 volt dan 4,5 volt menggunakan potensiometer kemudian melalui *hyper terminal* dapat diketahui nilai masukan yang telah terkuantisasi.

Tabel 4  
Hasil Pengujian Kuantisasi

Tegangan Masukan (volt)	besar kuantisasi 10 bit berdasarkan teori	besar kuantisasi 10 bit terukur	LSB error
0,5	107	107	0
1,5	320	321	1
2	427	428	1
3,5	747	748	1
4	853	855	2

- Pengujian Pengkodean Sinyal

Pengujian pengkodean sinyal dilakukan dengan memberikan nilai sinyal yang memenuhi algoritma pengkodean dengan menggunakan *function generator*, kemudian sistem mengeluarkan logika 1 (+5 volt untuk keluaran PORTB.2) yang diwakili LED warna biru atau 0 (0 volt untuk keluaran PORTB.2) yang diwakili LED warna merah sesuai dengan algoritma NRZ pada pin keluaran LED. Pengkodean sinyal yang diatur dalam mikrokontroler sesuai dengan pengkodean yang dirancang apabila LED menyala sesuai dengan keadaan yang diberikan.

#### 4. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan memainkan lagu *jiyuu e no shotai* pada *sound system*. Setelah itu penyalan indikator LED diamati, sistem bekerja sesuai dengan perancangan apabila LED biru menyala serta LED merah tidak menyala disaat lagu *jiyuu e no shotai* dimainkan, dan LED merah menyala serta LED biru tidak menyala disaat lagu tersebut tidak dimainkan. Selain itu diberikan gangguan berupa musik lain dan suara manusia.



Gambar 7. Pengujian Keseluruhan Sistem  
Sumber : Pengujian

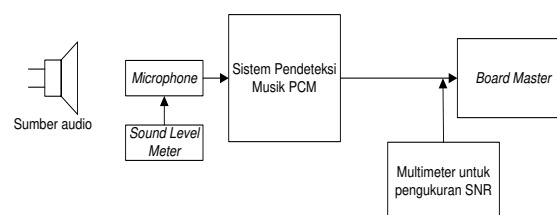
Tabel 5  
Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Keadaan yang diberikan	LED Merah	LED Biru
Ada Musik, Tanpa Noise	Tidak Menyala	Menyala
Tanpa Musik, Tanpa Noise	Menyala	Tidak Menyala
Ada Musik, Dengan Noise	Tidak Menyala	Menyala
Tanpa Musik, Dengan Noise	Menyala	Tidak Menyala

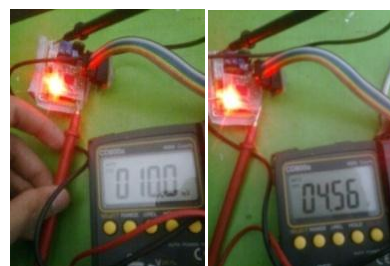
Berdasarkan hasil pengujian, LED biru menyala apabila lagu *jiyuu e no shotai* dimainkan baik ada gangguan maupun tidak ada gangguan dan LED merah selalu padam. Kemudian pada saat lagu uji tidak dimainkan baik ada gangguan maupun tidak ada gangguan LED biru selalu padam dan LED merah menyala

#### 5. Pengujian SNR Sistem

Pada pengujian SNR sistem dilakukan pengukuran pada tegangan masukan *board master* pada saat lagu uji dimainkan, dan pada saat lagu uji tidak dimainkan kemudian dibandingkan dengan pengukuran tegangan masukan *board master* pada saat masing-masing keadaan (lagu uji dimainkan dan lagu uji tidak dimainkan) diberikan gangguan berupa suara orang bicara atau musik lain.



Gambar 8. Blok Diagram Pengujian SNR  
Sumber : Pengujian



Gambar 9. Pengujian SNR Sistem  
Sumber : Pengujian

Tabel hasil pengujian SNR (*signal to noise ratio*) sistem pendeteksi musik ditunjukkan dalam tabel 6.

Tabel 6  
Hasil Pengujian SNR Sistem

Keadaan yang diberikan	Tegangan Sinyal (volt)					Rata-rata
	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4	Pengukuran 5	
Ada Musik, Tanpa Gangguan	4,56	4,54	4,56	4,56	4,58	4,56
Tanpa Musik, Tanpa Gangguan	0,012	0,01	0,01	0,01	0,013	0,011
Ada Musik, Dengan Gangguan	4,54	4,56	4,56	4,57	4,56	4,558
Tanpa Musik, Dengan Gangguan	0,01	0,011	0,012	0,01	0,01	0,0106

Berdasarkan data dalam tabel 6 dapat diketahui nilai SNR dari sistem dengan menggunakan Persamaan 3.

$$\begin{aligned} \text{SNR saat ada musik} &= 20 \log \frac{V_{\text{tanpa Gangguan}}}{V_{\text{dengan Gangguan}}} \\ &= 67,158 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SNR saat tidak ada musik} &= 20 \log \frac{V_{\text{tanpa Gangguan}}}{V_{\text{denganGangguan}}} \\ &= 28,78 \text{ dB} \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

Setelah sistem pendeteksi musik yang mengimplementasikan prinsip kerja PCM (*pulse code modulation*) dirancang, dibuat, dan diuji dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem yang dibuat telah dapat membedakan keadaan tanpa musik dan ada musik kemudian memberikan indikasi yang tepat melalui LED indikator dengan menggunakan lagu uji *jiyuu e no shotai*.
2. Prinsip *pulse code modulation* (PCM) dapat diimplementasikan sebagai pengolah sinyal pada sistem pendeteksi musik dan diaplikasikan dalam bidang robotika.
3. *Electret condenser microphone* selain memiliki dimensi yang kecil, dapat digunakan sebagai pengubah sinyal suara menjadi sinyal elektrik yang memberikan *input* untuk sistem pengolah sinyal.
4. Proses penyamplingan, kuantisasi dan pengkodean PCM dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8.
5. SNR(*signal to noise*) dari sistem yang telah dibuat pada saat lagu uji dimainkan yaitu 67,158 dB dan pada saat lagu uji tidak dimainkan sebesar 28,78 dB.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antoniou, Andreas. 1993. *Digital Filters: Analysis, Design, and Applications* Singapore: McGraw-Hill Inc
- [2] Atmel. ATmega8/ATmega8L, 8-bit AVR Microcontroller with 32 kbytes in System Programmable Flash. [http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8\\_L\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-2486-8-bit-AVR-microcontroller-ATmega8_L_datasheet.pdf) , diakses tanggal:2 April 2009.
- [3] Bejo, Agus. 2008. *C dan AVR Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535*. Yogyakarta:Graha Ilmu
- [4] CUI.Electret Condenser Microphone. <http://www.adafruit.com/datasheets/CMA-4544PF-W.pdf> , diakses tanggal : 19 Juni 2009.
- [5] Ellen Taylor dan Powel.1998. *Sampling* .Texas:College Station.

- [6] Freeman, Roger L.1999. *Fundamentals of Telecommunications*. New York:John Wiley & Sons, Inc
- [7] Hioki, Warren.1998.*Telecommunications Third Edition*. New Jersey :Prentice Hall
- [8] Johnson, Don.2012.*Fundamentals of Electrical Engineering I*. Texas:Rice University
- [9] Sophocles J. Orfanidis.2010.*Introduction to Signal Processing*. New jersey : Prentice-Hall Inc
- [10] Sophocles J. Orfanidis.2006. *Lecture Notes on Elliptical Filter Design*.New jersey : Rutgers University
- [11]Tanudjaja, Harlianto.2007.*Pengolahan Sinyal Digital Dan Sistem Pemrosesan Sinyal*.Yogyakarta: Andi