

Rancang Bangun Audiometer Berbasis Mikrokontroler dengan Antarmuka Komputer

Kartini Sinaga^{1,2)}, Suryono¹⁾ dan Heri Sutanto¹⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Univ. Diponegoro, Semarang

²⁾Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru, Riau

E-mail: sinagakartini@yahoo.co.id

ABSTRACT

For this research, an audiometer based on microcontroller with computer interface as a measuring instrument for the threshold of audible range has been designed. This device has some features, like graphic display, audio intensity display, and computer frequency.

This audiometer intended for the research consists of frequency generator, audio generator, and manual and automatic amplifying switch. The microcontroller is the main component which has the ability to be frequency generator using Fast PWM at timer 1 within 16bit resolution and crystal value 16MHz so that the frequencies at 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, and 8000 Hz can be generated precisely and steadily.

The maximum audio intensity as the result of this research using the device was 46,2 dB. The result of the frequency test on the device designed for this research has the linear correlation coefficient $R=1$, meanwhile the audio intensity measured at the standardized device has the linear correlation coefficient $R=0,997$

Keywords: microcontroller, sound level meter, multi-tester, frequency, audio intensity

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dibuat audiometer berbasis mikrokontroler dengan antarmuka komputer sebagai alat ukur nilai ambang pendengaran. Alat ini dilengkapi dengan tampilan grafik, tampilan intensitas suara, dan frekuensi pada komputer.

Audiometer dalam penelitian ini terdiri atas pembangkit frekuensi, penguat audio, dan saklar penguatan baik secara manual maupun menggunakan komputer. Mikrokontroler komponen utama yang mampu membangkitkan frekuensi menggunakan fitur Fast PWM pada Timer1 dengan resolusi 16 bit dengan nilai kristal 16MHz sehingga mampu membangkitkan frekuensi 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, dan 8000 Hz dengan tepat dan stabil.

Pada penelitian ini didapatkan nilai maksimal intensitas suara yang dihasilkan alat ini adalah 46,2 dB. Hasil pengujian frekuensi yang terukur oleh alat standar dengan perangkat yang dirancang mempunyai nilai koefisien korelasi linier $R = 1$, sedangkan pada intensitas suara yang terukur oleh alat standar dengan perangkat yang dirancang mempunyai nilai koefisien korelasi linier $R = 0,997$.

Kata kunci: Mikrokontroler, Sound level meter, Multitester, frekuensi, intensitas suara

PENDAHULUAN

Telinga melalui suatu proses pendengaran yang kompleks merupakan pintu masuk komunikasi dan informasi. Lingkungan kerja yang bising dapat menyebabkan gangguan pendengaran yang permanen. Gangguan pendengaran akibat bising dapat terjadi secara mendadak atau perlahan, dalam waktu hitungan bulan sampai tahunan. Hal ini sering tidak disadari oleh penderitanya.

Deteksi dini berupa pemeriksaan audiometri nada murni dilakukan secara berkala minimal sekali dalam setahun pada lingkungan kerja yang bising. Audiometer adalah alat untuk mengukur tingkat pendengaran seseorang secara umum. Ada 3 syarat yang diperlukan untuk keabsahan pemeriksaan audiometri, yaitu alat audiometer, lingkungan yang cocok untuk pemeriksaan dan pemeriksa yang tampil [2].

Audiometer umumnya dijumpai terdiri dari komponen utama yaitu : oskilator yang menghasilkan berbagai nada murni, amplifier untuk menaikkan intensitas nada murni sampai dapat terdengar, pemutus (*interuppter*) yang memungkinkan pemeriksa menekan dan mematikan tombol nada murni, *attenuator* agar pemeriksa dapat menaikkan atau menurunkan intensitas ke tingkat yang dikehendaki, dan *ear phone* mengubah gelombang listrik yang dihasilkan oleh audiometer menjadi bunyi yang dapat didengar [2]. Audiometer yang digunakan pada umumnya dijumpai masih bersifat konvensional dimana pengaturan berbagai frekuensi dan intensitas suara bersifat manual, dan hasil audiogramnya masih dituliskan secara manual oleh operator.

Dengan perkembangan dunia elektronika yang sangat pesat maka penulis akan membuat tugas akhir tentang rancang bangun rangkaian audiometer digital berbasis mikrokontroler dengan menggunakan antar muka *Personal Computer* (PC).

DASAR TEORI

Sifat Fisika Suara

Bunyi diudara merupakan hasil penekanan dan pengembangan partikel udara secara bergantian. Kecepatan terjadinya penekanan dan pengembangan udara ini disebut frekuensi bunyi. Satu penekanan dan pengembangan disebut satu siklus. [2].

Gelombang bunyi adalah sebuah getaran mekanis dalam gas, cairan atau benda padat yang bergerak keluar dari sumber dengan beberapa kecepatan tertentu. Hubungan antara frekuensi vibrasi f dari gelombang suara, panjang gelombang λ , dan kecepatan v dari gelombang adalah :

$$V = \lambda f \quad (1)$$

Energi yang dibawa oleh gelombang suara adalah sebagai energi potensial dan energi kinetik. Intensitas I dari gelombang suara adalah jumlah energi per detik (J/s) yang dibawa oleh gelombang udara melalui daerah seluas satu m^2 , atau $watt/m^2$. Untuk gelombang pesawat, I yang diberikan adalah [3]:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \rho v A^2 (2\pi f)^2 \\ &= \frac{1}{2} Z (A\omega)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana ρ adalah kepadatan media, v adalah kecepatan suara, f adalah frekuensi, ω adalah frekuensi sudut dalam radian/detik yang setara dengan $2\pi f$, A adalah kesalahan letak maksimum dari atom – atom dan molekul – molekul dari posisi semula, dan Z adalah yang setara dengan ρv adalah rintangan akustik. Rintangan akustik adalah sangat penting ketika menghitung refleksi (gaung) atau menghitung transmisi ketika suara menabrak media lain contohnya dinding. Intensitas juga dapat diekspresikan sebagai [3]:

$$I = \frac{P^2}{2z} \quad (3)$$

Dimana P adalah perubahan maksimum dari tekanan atmosfer.

Tingkat intensitas bunyi

Satuan khusus namanya *bel* telah dikembangkan untuk tingkat intensitas bunyi. Satuan ini dinamakan setelah nama penemunya Alexander Graham Bell, yang menemukan telepon dan melakukan riset dalam bidang suara dan pendengaran.

Rasio intensitas dalam bel setara dengan $\log_{10} (I_2 / I_1)$. Oleh karena itu bila satu suara 10 kali lebih kuat dari yang lainnya, $I_2/I_1 = 10$ dan $\log_{10} 10 = 1$, kedua intensitas suara dibedakan oleh 1 bel. Karena bel adalah satuan yang cukup besar, yang sering digunakan adalah 1/10 atau desibel (dB) dimana 1 bel = 10 dB [3]. Tingkat intensitas bunyi L_1 yang biasa didefinisikan dengan persamaan :

$$L_1(\text{dB}) = 10 \log_{10}(I_2/I_1) \quad (4)$$

Dengan cara yang sama tingkat tekanan bunyi L_p didefinisikan oleh persamaan :

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log_{10} (P_2/P_1) \quad (5)$$

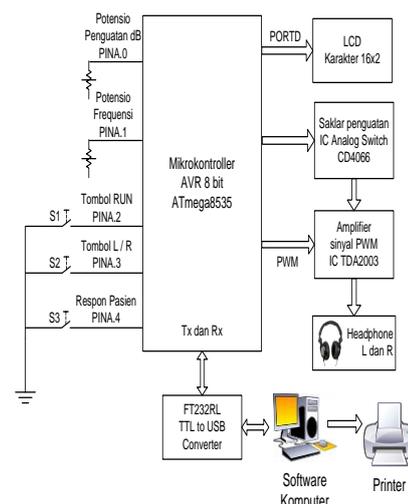
Yang dihasilkan dari sifat logaritma sehingga x , $\log_{10} (x^2) = 2 \log_{10} (x)$ dan dari persamaan (3) yang memperlihatkan I adalah sebanding dengan P^2 . Untuk test pendengaran biasanya memakai bahan pembanding intensitas bunyi atau tekanan bunyi dasar yaitu $I_0 = 10^{-6} \text{ W/cm}^2$ (10^{-12} W/m^2) dan $P_0 = 2 \times 10^{-4} \text{ dyne/cm}^2$.

METODE PENELITIAN

Secara garis besar blok diagram perancangan sistem yang dibuat seperti pada Gambar 1. Blok diagram rancangan terdiri dari mikrokontroler yaitu komponen yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi, mengirim

addressing kepada saklar penguatan yang fungsinya untuk mengatur tingkat tekanan bunyi yang diinginkan dan juga menerima respon tombol dari pasien. Kemudian penguat *audio* berfungsi untuk menguatkan sinyal yang dihasilkan oleh mikrokontroler dan saklar penguatan yaitu piranti yang mengatur tekanan suara yang kita inginkan.

Headphone adalah piranti yang mengkonversikan sinyal listrik pada berbagai intensitas dan frekuensi menjadi bunyi sedangkan tombol yaitu piranti yang mengindikasikan tanggapan pasien ketika mendengar bunyi pada berbagai intensitas dan frekuensi bunyi. Sistem yang berfungsi untuk menerima respon pasien terhadap bunyi dan mengolah data adalah komputer dan printer berfungsi untuk mencetak hasil audiogram.

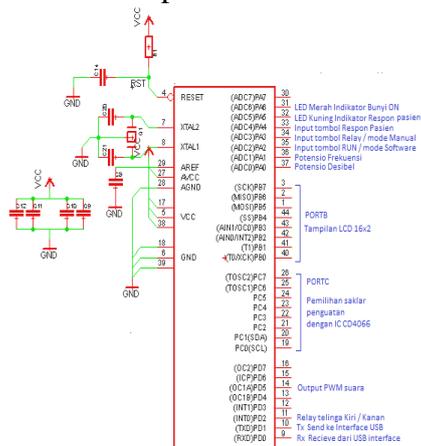


Gambar 1. Blok diagram perancangan

Mikrokontroler yang dipakai pada perancangan ini adalah mikrokontroler ATmega8535 yang mempunyai 8 bit yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada mikrokontroler terdapat rangkaian *internal* untuk membangkitkan pulsa PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dapat digunakan untuk berbagai frekuensi yang kita inginkan yaitu 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, dan 8000 Hz. Pada keluaran yang

Kartini Sinaga dkk.

digunakan adalah *PORTA.5* sebagai lampu hijau untuk indikator bunyi dikeluarkan, *PORTA.6* sebagai lampu kuning untuk indikator adanya respon dari pasien, *PORTD.2* untuk Relay yang berfungsi meng-aktif-kan headphone kiri atau kanan dan PWM untuk suara (*audio*) yang disambungkan ke headphone sedangkan input *PINA.2* sebagai tombol (S1) run, *PINA.3* sebagai tombol (S2) mengaktifkan telinga kiri atau kanan dan *PINA.4* tombol pasien (S3) sebagai respon dari pasien yang mendengar sedangkan pengaturan frekuensi dan intensitas suara digunakan pada *PORTA.0* dan *PORTA.1* menggunakan dua buah potensiometer pada mikrokontroler yang menggunakan fitur ADC (*Analog Digital Converter*). *PORTD* digunakan untuk tampilan LCD 16x2. Perancangan ini secara umum terdiri atas Pembangkit frekuensi secara manual, pembangkit frekuensi secara komputer, penguat audio dan saklar penguatan secara manual, dan penguat audio dan saklar penguatan secara komputer



Gambar 2. Skematik mikrokontroler ATmega8535

Pembangkit Frekuensi manual

Pada mode pengaturan frekuensi ditentukan dengan cara memutar potensiometer frekuensi dan mengeluarkan bunyi frekuensi tersebut melalui penekanan tombol RUN. Potensiometer digunakan untuk pengaturan frekuensi, potensiometer frekuensi dihubungkan pada *PINA.0*. Prinsip kerja potensiometer ini yaitu memberikan tegangan dengan rentang 0 Volt sampai dengan 5

Rancang Bangun Audiometer.....

Volt kepada *input* ADC mikrokontroler ATmega8535 yang selanjutnya diubah menjadi nilai 0 sampai 1023 karena ADC yang digunakan 10 bit. Ketika potensiometer diputar nilai tegangan akan berubah sehingga nilai ADC pada mikrokontroler ikut berubah. Tabel 1 menjelaskan tentang penggunaan nilai ADC terhadap keluaran frekuensi audio generator.

Dari tabel 1 dapat dilihat hasil pembacaan ADC dibagi menjadi *range – range* tertentu secara linier yang selanjutnya didefinisikan sebagai pengaturan frekuensi.

Potongan program pembacaan ADC tersebut adalah sebagai berikut :

```
// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char
adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE &
0xff);
// Delay needed for the
stabilization of the ADC input
voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to
complete
```

Tabel 1. Hubungan nilai ADC terhadap keluaran frekuensi

Nilai ADC	Frekuensi (Hz)
0-170	250
171-341	500
342-512	1000
513-683	2000
684-854	4000
855-1023	8000

Penguat audio dan saklar penguatan manual

Penguatan audio menggunakan IC 2003 dimana karakteristiknya mengeluarkan suara dengan daya maksimum mencapai 10 watt. Penguat audio yang digunakan adalah jenis *non inverting* atau tidak membalikkan

polaritas yaitu tegangan *output* memiliki polaritas yang sama dengan tegangan input tetapi memiliki penguatan atau amplitudo yang berbeda. Hal ini disebabkan karena sumber tegangan yang digunakan pada rangkaian ini minimal adalah 0 volt sedangkan maksimalnya adalah 12 volt.

Potensio intensitas suara prinsip kerjanya sama pada potencio frekuensi manual yaitu memberikan tegangan dengan rentang 0 Volt sampai dengan 5 Volt kepada input ADC mikrokontroler ATmega8535 yang selanjutnya diubah menjadi nilai 0 sampai 1023 karena ADC yang digunakan 10 bit. Ketika potencio diputar nilai tegangan akan berubah sehingga nilai ADC pada mikrokontroler ikut berubah berikut adalah Tabel 2 menjelaskan tentang penggunaan nilai ADC terhadap keluaran intensitas suara.

Tabel 2. Hubungan nilai ADC dan logic terhadap intensitas suara

Nilai ADC	Nilai Logic pada IC 4066	Intensitas suara (dB)
0 – 170	0000 0000	0
171 – 341	0000 0001	10
342 – 512	0000 0010	20
513 – 683	0000 0100	30
684 – 854	0000 1000	40
855 – 1023	0001 0000	50

Potongan program pembacaan ADC tersebut adalah sebagai berikut :

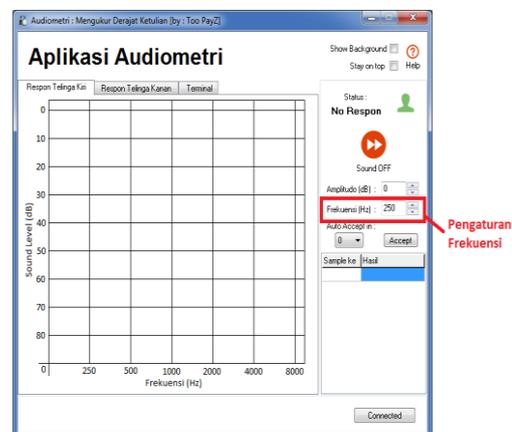
```
void ADctoGAIN()
{
    char ref;
    int adctmp;
    float nilai;
    adctmp = read_adc(GAIN);
    nilai = adctmp / 102.4; // range
    adc 170.66 = 1024 / 6 range
    ref = floor(nilai);
    gain = gaintab[ref];
    //-----
    DISPLAYfreqgain();
}
//-----
void GAINsetvalue()
{
    if (gain == 0) PORTC
    = 0x00;
```

```
else if (gain == 10)
```

Pembangkit frekuensi menggunakan komputer

Pada mode SOFTWARE komputer pengaturan frekuensi ditentukan melalui perangkat lunak yang dibuat khusus yaitu *Audiometri.exe* dimana perangkat keras dan perangkat lunak terhubung menggunakan *interface* USB pada laptop atau komputer.

Aplikasi audiometri bertindak sebagai *master* dan perangkat keras sebagai *slave* sehingga semua aktifitas *slave* ditentukan oleh perintah yang diberikan oleh master. Aplikasi audiometri mengirim karakter atau data – data tertentu untuk mengatur nilai frekuensi dan intensitas suara pada perangkat keras dan penekanan tombol “Sound OFF/ON” pada software akan meng-On/Off-kan suara pada headphone. Apabila pasien mendengar dan merespon dengan penekanan tombol maka pada diagram Audiometri akan muncul titik pengujian pada nilai Frekuensi (Hz) dan Sound Level (dB) sesuai pengaturan yang ditentukan.



Gambar 3. Aplikasi audiometer pengaturan frekuensi

Jika pada komputer dipilih frekuensi 250 Hz maka oleh perangkat lunak *Audiometri.exe* nilai tersebut dikodekan menjadi “A” dikirim ke mikrokontroler yang selanjutnya di-aktif-kan sebagai pembangkit frekuensi 250 Hz. Potongan program untuk

Kartini Sinaga dkk.

proses pengiriman data dari perangkat lunak *Audiometri.exe* ke mikrokontroler adalah sebagai berikut :

```

case st_soft:
dataRX = 0;
dataRX = WAITdatarx();
if (dataRX!=0)
putchar(dataRX);
if (dataRX>='A' && dataRX<='F')
{
freq = freqtab[dataRX - 'A'];
DISPLAYfreqgain();
}
break;
//-----
void FREQsetvalue()
{
sprintf(buflcd,"F=%iHz
G:%idB",freq,gain);
lcd_clear();
lcd_puts(buflcd);
lcd_gotoxy(0,1);
Hubungan antara data yang dikirim oleh
perangkat lunak komputer yang dikirim ke
mikrokontroler ditunjukkan pada Tabel 3.

```

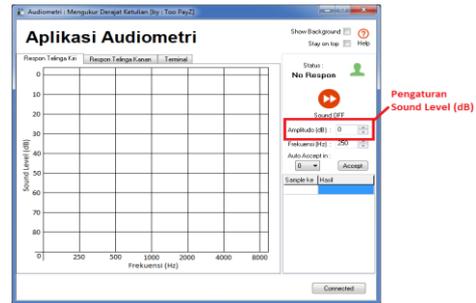
Tabel 3. Hubungan huruf terhadap frekuensi

Huruf	Frekuensi (Hz)
A	250
B	500
C	1000
D	2000
E	4000
F	8000

Penguat audio dan saklar penguatan menggunakan komputer

Penguatan audio menggunakan IC 2003 dimana karakteristiknya mengeluarkan suara dengan daya maksimum mencapai 10 watt. Prinsip kerja penguat audio menggunakan komputer sama dengan pembangkit frekuensi menggunakan komputer, pengaturan intensitas suara terdapat pada panel aplikasi audiometri yang

Rancang Bangun Audiometer.....



Gambar 4. Aplikasi audiometer pengaturan intensitas suara

Potongan listing program untuk proses pengiriman data dari software *Audiometri.exe* ke mikrokontroler adalah sebagai berikut :

```

case st_soft:
dataRX = 0;
dataRX = WAITdatarx();
if (dataRX!=0)
putchar(dataRX);
if (dataRX>='a' && dataRX<='j')
{
freq = freqtab[dataRX - 'a'];
DISPLAYfreqgain();
}
break;
//-----
void GAINsetvalue()
{
if (gain == 0)

```

Tabel 4. Hubungan huruf dan nilai logic terhadap intensitas suara

Huruf	Nilai logic pada IC 4066	Intensitas suara (dB)
A	0000 0000	0
B	0000 0001	10
C	0000 0010	20
D	0000 0100	30
E	0000 1000	40
f	0001 0000	50

Pada komputer dipilih intensitas suara 10 dB maka oleh perangkat lunak *Audiometri.exe* nilai tersebut dikodekan menjadi “a” dikirim ke mikrokontroler yang selanjutnya akan mengaktifkan saklar V ¼ karena logic yang keluar adalah 0000 0001 dapat dilihat pada Tabel 3. Penerjemahan perangkat lunak *audiometer.exe* dari mikrokontroler tersebut ditunjukkan pada listing dibawah ini :

```

procedure SendTohardware;
var valstr : integer;
begin
  if Fmain.RBkiri.Checked then
    Fmain.Comport.writeStr('L') // telinga
    kiri
  else
    Fmain.Comport.writeStr('R');// telinga
    kanan.
  //-----
  valstr := strtoint(Fmain.EdDesib.Text)
  div 10;
  valstr := ord('j') - valstr;

```

HASIL DAN PEMBAHASAN

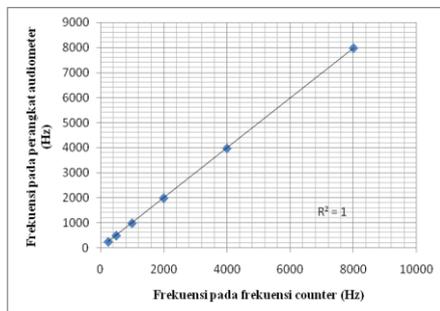
Pengujian output frekuensi

Pengukuran dimulai dengan nilai 250 Hz pada perangkat rancangan dan keluaran dari perangkat rancangan dapat dilihat pada frekuensi counter. Adapun hasil pengujian keluaran frekuensinya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Hasil pengukuran Frekuensi

Frekuensi alat (Hz)	Frekuensi yang terukur (Hz)
250	247,9
500	497,9
1000	991
2000	1995
4000	3983
8000	7990

Selanjutnya grafik faktor koreksi hasil pengukuran frekuensi dapat dilihat pada Gambar 5. Penunjukkan *ouput* dari frekuensi perangkat yang dirancang dengan frekuensi alat standar memiliki nilai yang linier dan nilai koreksi yang baik. Hal ini berdasarkan nilai R yang diperoleh dari hasil pengukuran yaitu sebesar 1. Maka dapat disimpulkan bahwa frekuensi yang dihasilkan stabil dan berfungsi dengan baik.



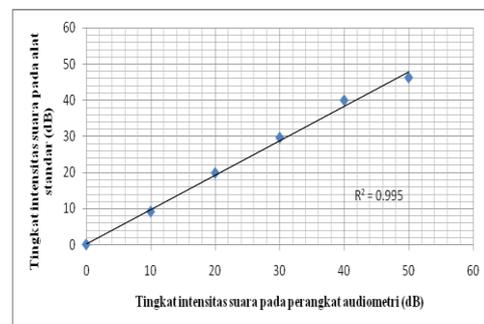
Gambar 5. Grafik hubungan antara frekuensi alat standar dengan alat audiometer

Pengujian output intensitas suara

Sebelum pengujian pada intensitas suara terlebih dahulu dilakukan kalibrasi dengan *sound level meter* dilakukan pada ruangan yang tertutup dengan tujuan untuk memperkecil pengaruh kebisingan yang ditimbulkan oleh lingkungan sekitar, setelah dikalibrasi pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai latar belakang (nilai background) dengan mengukur intensitas suara dilingkungan sekitar kemudian dikurangi dengan nilai pengukuran pada sound level meter. Data pengujian *output* intensitas suara dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran Intensitas suara

Intensitas suara perangkat yang dirancang (dB)	Intensitas suara Alat standar (dB)
0	0
10	9,1
20	19,8
30	29,6
40	39,9
50	46,2



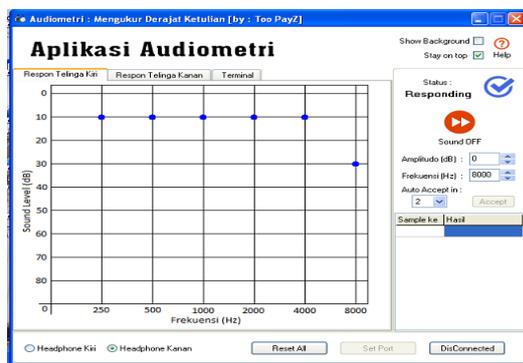
Gambar 6. Grafik hubungan intensitas alat standar dengan alat audiometer

Pada Gambar 6 dapat dilihat output dari intensitas suara dari perangkat dengan intensitas suara dari alat standar memiliki nilai yang linier. Hal ini berdasarkan nilai R yang diperoleh dari hasil pengukuran sebesar 0,997 mendekati 1.

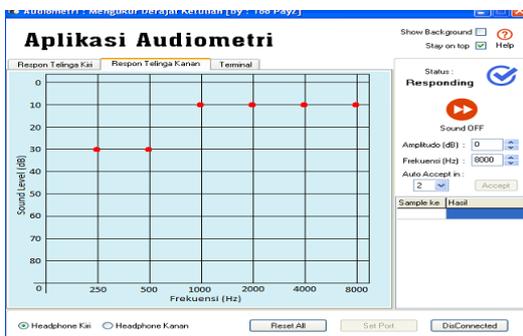
Pengujian Hasil Audiogram

Hasil pengujian sistem keseluruhan dengan menggunakan aplikasi audiometri menggunakan komputer berjalan dengan baik, setelah pengaturan frekuensi dan intensitas suara diatur dan ada respon dari pasien maka titik akan terlihat pada grafik.

Sistem yang dibuat dapat ditampilkan dalam bentuk dua grafik yaitu respon telinga kiri dan respon telinga kanan yang dapat diakses melalui program Borland Delphi 7.0 dan ditunjukkan pada Gambar 8.



(a)



(b)

Gambar 7 Hasil pengujian audiogram (a) respon telinga kiri dan (b) respon telinga kanan

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Audiometer dapat dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535 dan komputer pribadi sehingga memiliki

2. Mikrokontroler ATmega8535 dapat menghasilkan berbagai frekuensi audiometer yang stabil dengan koefisien koreksi 100% terhadap alat standar dan dapat menghasilkan berbagai intensitas suara pada audiometer dengan koefisien koreksi 99,7% terhadap alat standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bahtiar, Syaiful., 2003, “ Audiometer Berbasis Soundcard pada Komputer Pribadi “, Skripsi, Program Studi Teknik Elektronika Universitas Diponegoro, Semarang
- [2]. Ballenger, John J, 1997, “Penyakit Telinga, Hidung, Tenggorok, Kepala, dan Leher”, Edisi 13, Penerbit Bina Rupa Aksara, Jakarta
- [3]. Cameron, J.R., Skofronick, dan Grant., R. M., 2006, “ Fisika Tubuh Manusia “, Edisi Kedua, Penerbit CV. Sagung Seto, Jakarta
- [4]. Gabriel, J.F., 1996, “ Fisika Kedokteran “, Penerbit EGC, Jakarta
- [5]. Heryanto, M. Ary, dan P, Wisnu Adi., 2007, “ Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega8535 “, Penerbit Andi
- [6]. Syahrul, 2012, “ Mikrokontroler AVR ATMEGA8535 “, Penerbit Informatika
- [7]. Soepardi, dan Arsyad, Efiaty, 1997, “Buku Ajar Ilmu Penyakit Telinga Hidung-Tenggorok”, Balai Penerbit FK UI, Jakarta