

AUDIOMETER DESIGN BASED ON MICROCONTROLLER ATMEGA 16

Ade Nur Febrianti¹, Nur Hudha Wijaya¹, Agus Susilo Wibowo²

¹Vocational Program of D3 Electro Medical Engineering

University of Muhammadiyah Yogyakarta

Jln. Lingkar Barat Tamantirto, Kasihan, Bantul-DIY, Indonesia 55185

Phone (0274) 387656, Fax (0274) 387646

²RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta

Ade.nur.2014@vokasi.umy.ac.id¹, nurhudhawijaya@umy.ac.id

ABSTRACT

The major implication of noises on human is the damage in hearing sense that it causes hearing disorders, such as temporary or even permanent deaf, depending on how intense, how long and how sensitive each individual is exposed to the noises. Early detection and management of hearing disorders either towards children or adult are necessary to be conducted. Hearing disorders in adults would diminish their quality of life, in which such weakening hearing sense would have effect on work, study and daily life. Human hearing level can be checked by using audiometer. This research aims at building audiometer based on microcontroller ATMEGA 16. The components used were relay module for equalizer, IC ATMEGA 16 for controlling overall performance system. This tool is equipped with sound and frequency intensity interface. The main microcontroller component is able to generate frequency 20 Hz, 120 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2500 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz and 15000 Hz, with 10 – 60 dB sound intensity output. The tool testing was performed by using digital oscilloscope and android smartphone. The result of the testing shows that the tool's error frequency is below 5 % and the highest sound intensity (dB) error margin is at 40 dB point, which is as many as 3 dBs.

Key Words: Noises, audiometer, microcontroller, frequency, sound intensity

1. PENDAHULUAN

Semua suara yang tidak dikehendaki dan bersumber dari alat proses produksi dan atau alat kerja pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran[1]. Pengaruh utama kebisingan bagi manusia adalah kerusakan pada indera pendengaran yang dapat menyebabkan beberapa gangguan pendengaran mulai dari ketulian sementara maupun ketulian

permanen bergantung pada intensitas, lama waktu dan kepekaan individu terhadap kebisingan tersebut[2]. Banyak hal yang mempermudah seseorang menjadi tuli akibat terpapar kebisingan antara lain intensitas kebisingan yang lebih tinggi, berfrekuensi tinggi, lebih lama terpapar kebisingan, kepekaan individu dan faktor lain yang dapat menimbulkan ketulian[3].

Deteksi dan penata laksanaan gangguan pendengaran baik pada anak maupun dewasa harus dilakukan sedini mungkin. Gangguan pendengaran pada anak sangat mempengaruhi kemampuan belajar dan perkembangan bicara. Sedangkan gangguan pendengaran pada orang dewasa akan menurunkan kualitas hidup, dimana penurunan pendengaran akan berdampak pada pekerjaan, proses belajar dan kehidupan sehari-hari[4]. Penurunan daya pendengaran akibat kebisingan pada umumnya terjadi secara perlahan dalam waktu yang lama dan terkadang tanpa disadari. Besarnya risiko penurunan daya pendengaran ini berbanding lurus dengan besarnya intensitas kebisingan dan lama pemaparannya sehingga untuk mengurangi faktor-faktor tersebut menjadi salah satu upaya mengurangi risiko penurunan daya pendengaran tersebut[5]. Agar tidak terjadi penurunan daya pendengaran akibat terlambatnya pemeriksaan tingkat pendengaran, maka perlu diukur tingkat pendengaran manusia menggunakan alat yang disebut audiometer. Audiometer adalah alat elektronik pembangkit bunyi dalam intensitas dan frekuensi tertentu, yang dipergunakan untuk mengukur tingkat ambang pendengaran seseorang. Frekuensi untuk tingkat ambang pendengaran antara 125–8000 Hz dengan intensitas bunyi 0–120 dB[6].

Penelitian tingkat pendengaran manusia dengan audiometer juga pernah dilakukan oleh Santoso (2011), menggunakan *microcontroller* AT89C51 yang menghasilkan frekuensi dengan jangkauan 125-8000 Hz serta menghasilkan intensitas suara 10-100 dB. Penelitian lain juga pernah dilakukan oleh Ratrianto (2013),

merancang audiometer digital berbasis *microcontroller* dengan menggunakan antarmuka personal *computer* (PC) dan menggunakan *microcontroller* ATmega 8535 yang menghasilkan frekuensi 250-8000 Hz dengan intensitas suara 0-80 dB.

Dari latar belakang diatas dan mengingat akan pentingnya pendengaran maka penulis merancang suatu alat yang dapat mengukur tingkat pendengaran dari seseorang dengan merancang *prototype* minimum sistem *microcontroller* dan program *microcontroller* ATmega 16.

2. TINJAUAN PUSTAKA

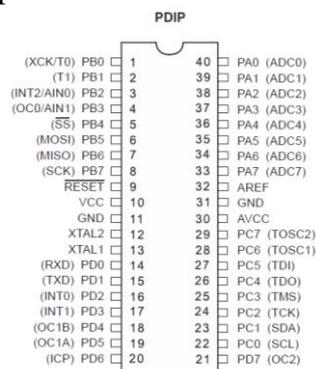
2.1. Audiometer

Audiometer adalah alat elektronik pembangkit bunyi dalam intensitas dan frekuensi tertentu, yang dipergunakan untuk mengukur tingkat ambang pendengaran seseorang. Ambang pendengaran ialah bunyi terlemah. Pada audiometer sistem manual, proses pemeriksaan dilakukan dengan cara memilih berbagai intensitas dan frekuensi melalui penekanan tombol untuk diperdengarkan terhadap pasien menggunakan sepasang *earphone*, kemudian pasien akan mengacungkan tangan sebagai tanggapan mendengar bunyi. Ketika pasien mengacungkan tangan sebagai tanggapan mendengar bunyi maka operator memberi tanda pemeriksaan pada sebuah kartu hasil pemeriksaan yang disebut audiogram. Pada audiogram terdapat tingkat bunyi dalam intensitas 0 dB – 20 dB dan frekuensi 125 Hz – 8000 Hz. Menggunakan audiometer akan dapat ditentukan tingkat gangguan pendengaran dan tindakan selanjutnya. Jika gangguan pendengaran disebabkan kelainan bawaan pada telinga luar atau

pada telinga tengah maka untuk dapat mendengar digunakan alat bantu pendengaran[7].

2.2. Microcontroller ATmega16

Microcontroller AVR ATmega16 adalah sebuah *microcontroller* 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan *microcontroller* lain, keunggulan AVR yaitu memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar intruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*, lebih cepat dibandingkan MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi 1 intruksi. *Microcontroller* ATmega16 memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, *Timer/Counter*, *Watchdog Timer*, PWM, Port I/O, komunikasi serial, komparator, I2C, dll)[8]. Untuk lebih jelasnya gambar konfigurasi pin ATmega 16 dapat dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini:



Gambar 2.5 Konfigurasi pin ATmega 16

2.3. Liquid Crystal Display (LCD)

Display elektronika adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik.

LCD adalah salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. Untuk lebih jelasnya gambar LCD ini dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini:



Gambar 2.6 LCD 2x16

Dalam modul LCD terdapat *microcontroller* yang berfungsi sebagai pengendali tampilan karakter LCD. *Microcontroller* pada suatu LCD dilengkapi dengan memori dan *register*. Memori yang digunakan *microcontroller* internal LCD adalah:

- Display Data Random Access Memory* (DDRAM) merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.
- Character Generator Random Access Memory* (CGRAM) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- Character Generator Read Only Memory* (CGROM) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrik pembuat LCD tersebut sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM. *Register control* yang

terdapat dalam suatu LCD diantaranya adalah:

1. *Register* perintah yaitu *register* yang berisi perintah-perintah dari *microcontroller* ke panel LCD pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD dapat dibaca pada saat pembacaan data.
2. *Register* data yaitu *register* untuk menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada *register* akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.
3. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD dapat dihubungkan dengan *bus* data dari rangkaian lain seperti *microcontroller* dengan lebar data 8 bit.
4. Pin *Read Write* (R/W) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data. Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
5. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras).
6. Pin *Register Select* (RS) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah tersebut menunjukkan logika *low*, atau menunjukkan logika *high*.

2.4. Module Relay 8 Channel

Komunikasi serial dengan format 8-bit, dengan transfer data disinkronisasi menggunakan *clock* serial dari *microcontroller*. Sebuah *register*

tunggal mengendalikan semua *output* (satu bit per *output*). Nilai defaultnya adalah nol (OFF). Jika sebuah *output* memerlukan fungsi modulasi lebar pulsa (PWM), *register* harus diupdate pada kecepatan yang lebih cepat daripada frekuensi PWM yang diinginkan. *Out1* dapat dikontrol dengan *input* serial dari *microcontroller* atau dengan pin *enable* (EN1) khusus. Jika EN1 ditarik rendah atau dibiarkan terbuka, *input* serial melalui *register* geser mengendalikan *Out1*. Jika EN1 ditarik tinggi, *Out1* selalu dinyalakan, dan *input* serial untuk *Out1* diabaikan. Untuk lebih jelasnya gambar *Module Relay 8 Channel* ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 *Module Relay 8 Channel*

2.5. Motor Stepper

Stepper Motor adalah motor yang dikendalikan oleh serangkaian koil elektromagnetik. Poros pusat memiliki serangkaian magnet yang terpasang di atasnya, dan gulungan yang mengelilingi poros bergantian diberikan saat ini atau tidak, menciptakan medan magnet yang menolak atau menarik magnet pada poros, menyebabkan motor berputar. Ada dua tipe dasar *motor stepper*, yaitu *steppers unipolar* dan *steppers bipolar*. *Motor stepper unipolar* memiliki lima atau enam kabel dan empat koil (sebenarnya dua gulungan dibagi dengan koneksi pusat pada masing-masing koil). Sambungan tengah kumparan diikat dan digunakan sebagai sambungan daya. Mereka disebut

unipolar steppers karena *power* selalu masuk pada satu tiang ini. Untuk lebih jelasnya gambar motor *stepper* ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 di bawah ini:

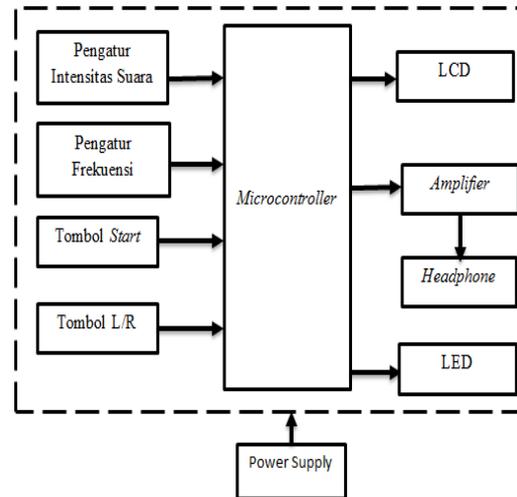


Gambar 2.8 Motor Stepper

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Blok Sistem

Pada modul ini, PLN akan memberikan tegangan pada *Power Supply*. *Power supply* untuk memberikan tegangan ke seluruh rangkaian. Pengatur frekuensi untuk mengatur frekuensi bunyi dan pengatur intensitas untuk mengatur intensitas bunyi/desiBell ke pasien. Pasien dipasangkan *headphone*, kemudian mengatur frekuensi dan intensitas bunyi, tekan tombol *start*, untuk mengeluarkan bunyi ke pasien, jika pasien mendengar suara maka pasien disarankan mengangkat tangan. Besarnya intensitas dan frekuensi ditampilkan pada LCD. *Amplifier* sebagai penguat frekuensi dan tegangan dari *microcontroller* untuk *supply* ke *headphone*. Gambar 3.1 menunjukkan blok sistem dari modul yang penulis buat.

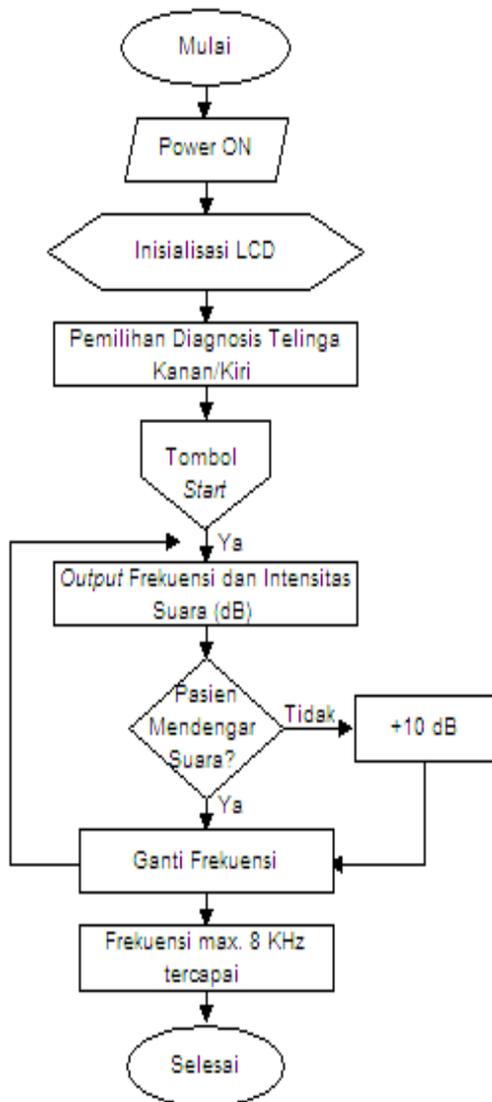


Gambar 3.1 Blok Sistem

3.2 Diagram Alir Proses/Program

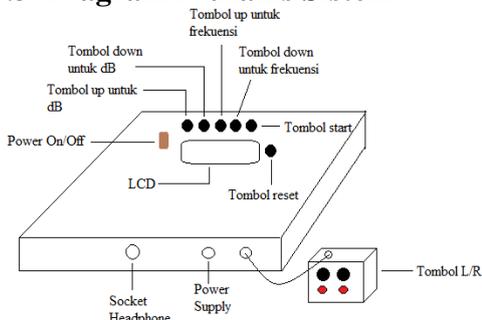
Pada Gambar 3.2 dapat dilihat cara kerja diagram alir, untuk memulai nyalakan alat dengan menekan tombol *power ON*, selanjutnya operator memilih diagnosis telinga kanan atau telinga kiri dan menekan tombol *start* untuk memulai pengujian. Pada saat alat mulai melakukan pengujian, pasien akan mendengarkan suara dari *headphone* dengan frekuensi awal 20 Hz dan 10 dB. Jika pasien mendengar suara 10 dB, maka pasien akan mengangkat tangan dan mengganti frekuensi menjadi 120 Hz dengan proses yang sama. Pada saat pasien tidak mengangkat tangan di frekuensi 20 Hz dan 10 dB, maka menambahkan intensitas suara dengan kelipatan 10 dB. Penambahan 10 dB akan berakhir hingga nilai 60 dB. Jika sampai nilai 60 dB pasien tidak mengangkat tangan, maka frekuensi akan diganti secara bertingkat hingga 8000 Hz.

Selain melakukan pengujian dengan *Oscilloscope* dan *Sound Level Meter*, penulis juga melakukan pengujian pada orang dewasa.



Gambar 3.2 Diagram Alir

3.3 Diagram Mekanis Sistem



Gambar 3.3 Desain Mekanis Sistem

Berikut ini keterangan rancangan modul yang di tunjukkan pada Gambar 3.3:

1. Tombol *up* frekuensi berfungsi untuk menaikkan frekuensi.
2. Tombol *down* frekuensi berfungsi untuk menurunkan frekuensi.
3. Tombol *up* dB berfungsi untuk menaikkan intensitas bunyi/desiBell.
4. Tombol *down* dB berfungsi untuk menurunkan intensitas bunyi/desiBell.
5. Tombol *Start* atau tombol suara berfungsi untuk mengeluarkan bunyi yang didengar pasien.
6. Tombol *reset*
7. Tombol L/R berfungsi untuk mengatur pemilihan keluaran bunyi di *headphone*, kiri atau kanan.
8. LCD 2x16 berfungsi untuk menampilkan pengaturan frekuensi dan intensitas bunyi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama yang dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah dengan menghubungkan alat pembanding dengan modul. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan keluaran frekuensi pada modul dengan *oscilloscope* dan membandingkan keluaran intensitas suara (dB) pada modul dengan *Sound Level Meter* yang akan terlihat pada tampilan LCD. Tahapan pengujian pada modul adalah:

1. Pengujian Frekuensi Pada *Oscilloscope*
2. Pengujian Intensitas Suara (dB) Pada *Sound Level Meter*
3. Pengujian Pada Manusia

Pengujian pada manusia dilakukan setelah selesai melakukan pengujian frekuensi dan intensitas suara (dB) agar

nilai frekuensi dan intensitas suara yang dihasilkan pada modul sesuai dengan ambang pendengar seseorang.

4.1. Kesimpulan Data Hasil Pengujian Frekuensi Pada Oscilloscope

Pengujian alat dilakukan dengan membandingkan modul TA dengan *Oscilloscope*. Pengujian frekuensi dilakukan pada 10 titik pengujian yaitu 20 Hz, 120 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2500 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz dan 15000 Hz. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali dan didapatkan uraian data hasil pengukuran yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Uraian Data Hasil Pengujian Frekuensi

| Pengujian | Frekuensi | Hasil Analisa Data | | |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|-------|
| | | Rata-rata | Simpangan | Error |
| 1 | 20 Hz | 20 | 0,554 | 3% |
| 2 | 120 Hz | 120 | 0,994 | 1% |
| 3 | 125 Hz | 125 | 0,432 | 0% |
| 4 | 250 Hz | 250 | 7,8 | 3% |
| 5 | 500 Hz | 500 | 17,546 | 3% |
| 6 | 1000 Hz | 1000 | 22 | 2% |
| 7 | 2500 Hz | 2500 | 91 | 4% |
| 8 | 4000 Hz | 4000 | 31 | 1% |
| 9 | 8000 Hz | 8000 | 209,8 | 3% |
| 10 | 15000 Hz | 15000 | 423,8 | 3% |

Pada tabel dapat dilihat uraian data hasil pengukuran frekuensi berdasarkan hasil dari rata-rata, simpangan dan *error*. Berdasarkan tabel, simpangan terjauh pada frekuensi 500 Hz yaitu 17,546 Hz. Nilai *error* frekuensi tertinggi berada pada frekuensi 2500 Hz yaitu 4%. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari data pengukuran, seperti tegangan yang

tidak stabil yang menyebabkan nilai pengukuran naik turun dan nilai toleransi komponen yang digunakan.

4.2. Pengujian Intensitas Suara Pada Sound Level Meter

Pengujian alat juga dilakukan dengan membandingkan modul TA dengan *Sound Level Meter*. Pengujian intensitas suara (dB) dilakukan pada 6 titik pengujian yaitu 10 dB, 20 dB, 30 dB, 40 dB, 50 dB dan 60 dB. Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan didapatkan uraian data hasil pengukuran yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.1 Uraian Data Hasil Pengujian Intensitas Suara

| Modul TA | Sound Level Meter |
|----------|-------------------|
| 10 dB | 11 dB |
| 20 dB | 22 dB |
| 30 dB | 32 dB |
| 40 dB | 43 dB |
| 50 dB | 52 dB |
| 60 dB | 58 dB |

Berdasarkan tabel di atas, selisih terjauh antara modul TA dan *sound level* meter hanya 3 dB pada titik 40 dB dan selisih terdekat terjadi pada titik 10 dB, dimana selisih antara modul TA dan *sound level* meter hanya 1 dB.

4.3. Pengujian Pada Pasien

Penulis melakukan uji modul pada pasien. Pengujian dilakukan pada 4 orang pasien dengan 1 kali pengambilan data. Pada umumnya titik pemeriksaan pertama kali pada frekuensi 1000 Hz, dengan intensitas suara (dB) awal yaitu 40 dB. Jika pasien tidak mendengar maka akan dinaikkan 20 dB, tetapi jika pasien mendengar maka akan diturunkan 10

dB. Kemudian naik ke frekuensi 2500 Hz sampai ke frekuensi 8000 Hz. Kemudian dari frekuensi 8000 Hz, turun ke frekuensi 500 Hz, turun lagi sampai ke frekuensi 250 Hz.

a. Pengambilan Data Pada Frekuensi 20 Hz

Pengukuran yang dilakukan pada pasien dengan frekuensi 20 Hz dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Pengambilan Data Pada Frekuensi 20 Hz

| Nama | Usia | Intensitas Suara (dB) | Pengujian | |
|----------|----------|-----------------------|---------------|--------------|
| | | | Telinga Kanan | Telinga Kiri |
| Yodia | 18 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Yossica | 18 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Gumilang | 22 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Widya | 40 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |

Dari tabel diatas dapat dilihat pada frekuensi paling rendah 20 Hz keempat pasien bisa mendengarkan suara yang dihasilkan oleh modul. Dapat dikatakan keempat pasien memiliki pendengaran yang normal.

b. Pengambilan Data Pada Frekuensi 4000 Hz

Pengukuran yang dilakukan pada pasien dengan frekuensi 4000 Hz dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Pengambilan Data Pada Frekuensi 4000 Hz

| Nama | Usia | Intensitas Suara (dB) | Pengujian | |
|----------|----------|-----------------------|---------------|--------------|
| | | | Telinga Kanan | Telinga Kiri |
| Yodia | 18 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Yossica | 18 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Gumilang | 22 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Widya | 40 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |

Dari tabel diatas dapat dilihat pada frekuensi 4000 Hz keempat pasien bisa mendengarkan suara yang dihasilkan oleh modul. Dapat dikatakan keempat pasien memiliki pendengaran yang normal.

c. Pengambilan Data Pada Frekuensi 8000 Hz

Pengukuran yang dilakukan pada pasien dengan frekuensi 8000 Hz dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.4 Pengambilan Data Pada Frekuensi 8000 Hz

| Nama | Usia | Intensitas Suara (dB) | Pengujian | |
|---------|----------|-----------------------|---------------|--------------|
| | | | Telinga Kanan | Telinga Kiri |
| Yodia | 18 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Yossica | 18 | 10 dB | √ | √ |

| | | | | |
|----------|----------|-------|---|---|
| | tahun | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Gumilang | 22 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |
| Widya | 40 tahun | 10 dB | √ | √ |
| | | 20 dB | √ | √ |
| | | 40 dB | √ | √ |
| | | 60 dB | √ | √ |

Dari tabel diatas dapat dilihat pada frekuensi paling tinggi 8000 Hz keempat pasien bisa mendengarkan suara yang dihasilkan oleh modul. Dapat dikatakan keempat pasien memiliki pendengaran yang normal.

5. KESIMPULAN

Adapun secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa telah dibuat audiometer berbasis *microcontroller* ATMega 16 dengan frekuensi pada audiometer ini berkisar antara 20 Hz–15000 Hz dan intensitas suara (dB) antara 10-60 dB sebagai alat pengukur tingkat pendengaran pada seseorang. Alat tersebut berhasil dibuat dan dapat berfungsi dengan baik. Pasien bisa mendengar pada frekuensi 20 Hz-8000 Hz. Alat audiometer dihubungkan pada *display* LCD sebagai penampil nilai frekuensi dan intensitas suara (dB) yang teruji. Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*, didapatkan nilai *error* frekuensi alat secara keseluruhan dibawah 5% dan pengambilan data dengan menggunakan *sound level* meter, didapatkan selisih terjauh nilai intensitas suara (dB) terjadi pada titik 40 dB yaitu sebesar 3 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. F. Kandou, “Ambang Pendengaran Penerbang Di Balai Kesehatan,” *Indones. J. Occup. Saf. Heal.*, vol. 2, pp. 1–9, 2013.
- [2] P. K. Suma'mur, *Higiene Perusahaan dan Kesehatan Kerja (Hiperkes)*. Jakarta: Sagung Seto, 2009.
- [3] A. Y. M. Rambe, “Gangguan Pendengaran Akibat Bising,” *USU Digit. Libr.*, pp. 1–11, 2003.
- [4] S. R. Sp and F. Azman, “Deteksi & Solusi Gangguan Pendengaran dalam Meningkatkan Kualitas Hidup (Tingkat Layanan Kesehatan Primer sampai Tersier),” *Bagian THT-KL Fak. Kedokt. Univ. Andalas*, 2015.
- [5] Sasongko. D.P., “Kebisingan Lingkungan.” Universitas Diponegoro, Semarang, 2000.
- [6] Bahtiar, Syaiful, “Audiometer Berbasis *Soundcard* Pada Komputer Pribadi. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi,” Universitas Diponegoro Semarang, 2006.
- [7] Bahtiar, S. & Setiawan, Iwan, “Audiometer berbasis *Soundcard*,” Universitas Diponegoro, 2006
- [8] A. I. Nugroho, “Monitoring Tetesan Infus Berbasis Mikrokontroler Atmega16,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2013.