

Pengembangan Termometer Suara bagi Tuna Netra berbasis Mikrokontroler dengan Sensor Resistif

Hendi Handian Rachmat, Fuad Ughi

Konsentrasi Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung, Indonesia.
E-mail : hendi_hr@itenas.ac.id

ABSTRAK

Termometer tubuh yang banyak dijual sekarang masih membutuhkan indera penglihatan untuk melihat hasil pengukurannya. Termometer ini sulit digunakan oleh penderita tuna netra secara mandiri. Kehadiran termometer suara sangat membantu penderita tuna netra dan juga pasangan tuna netra yang memiliki bayi untuk mengukur suhu tubuh sebagai salah satu indikator kondisi kesehatan. Termometer suara telah banyak direalisasikan dengan sensor suhu jenis rangkaian terintegrasi LM35. Akan tetapi permasalahan akan timbul ketika sensor ini harus dikemas terlebih dahulu sebelum dipergunakan, yaitu faktor sensitifitas dan keakuratan pengukuran serta kenyamanan pemakaian bagi pengguna baik dari segi waktu pengukuran dan keamanan. Pada penelitian ini, dikembangkan termometer suara portable menggunakan sensor suhu resistif dari termometer digital. Sensor ini dihubungkan dengan rangkaian Jembatan Wheatstone dan penguat instrumentasi untuk menghasilkan sinyal digital. Pengolahan data termometer yang meliputi pembacaan tegangan, konversi tegangan, perhitungan suhu dan pengaturan aktivasi rangkaian output suara dilakukan oleh mikrokontroler yang memiliki ADC internal. Rentang suhu termometer ini adalah 32⁰C hingga 43⁰C dengan catu daya berupa baterai. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa termometer suara dapat menghasilkan suhu terukur dalam kurun waktu 2 menit dengan stabil selama tegangan baterai minimal 7,8Volt, dengan resolusi pengukuran 0,1⁰C dan akurasi 0,4⁰C. Secara kualitatif, suara hasil pengukuran terdengar jelas, tidak terpotong dan tidak bertumpuk.

Kata kunci: Mikrokontroler, portable, sensor resistif, termometer suara, tuna netra.

ABSTRACT

Most of body-thermometers are sold today still require the vision sense to see the results. These thermometers are difficult to be used by blind-people independently. The voice thermometer is very helpful for blind-people and blind-couples that have a baby to measure body temperature as one health condition indicator. The voice thermometer has been implemented with temperature sensor LM35. However, problems may arise when the sensor must be packaged, which are the sensitivity, the accuracy and the users convenience both in terms of time measurement and safety. In this study, a portable voice thermometer has been developed using a resistive temperature sensor from an existing digital thermometer. This sensor is connected to the Wheatstone-bridge circuit and instrumentation amplifier to produce a digital signal. Signal processing including voltage examination, voltage conversion, temperature calculation and voice output circuit activation is performed by microcontroller with internal ADC. This thermometer supplied by battery has temperature range from 32⁰C until 43⁰C. When the minimum supply of 7.8volts, the thermometer can produce the stable temperature within 2 minutes with 0.1⁰C and 0.4⁰C of a resolution and an accuracy, respectively. Qualitatively, the voice from thermometer can be heard clearly, not be truncated and not be overlap.

Keywords: Blind-people, microcontroller, portable, resistive temperature sensor, voice thermometer

1. PENDAHULUAN

Termometer tubuh yang banyak dijual di pasaran Indonesia saat ini adalah termometer jenis analog dan digital dengan display hasil pengukuran berbentuk papan skala air raksa untuk analog dan tulisan pada display LCD atau *seven segment* untuk jenis digital. Kedua jenis termometer tersebut hanya diperuntukkan bagi pengguna yang memiliki penglihatan yang normal. Termometer ini akan sulit digunakan secara mandiri oleh para penderita tuna netra.

Salah satu solusi untuk membantu para tuna netra dalam mengukur suhu tubuhnya adalah menggunakan termometer dengan output berupa suara. Dengan adanya termometer suara ini, para tuna netra dapat mengetahui kondisi suhu tubuh sebagai salah satu indikator kondisi kesehatan secara mandiri tanpa bantuan orang lain. Keberadaan alat ini juga akan sangat membantu bagi pasangan tuna netra yang memiliki bayi untuk mengetahui suhu tubuh bayi.

Termometer suara telah banyak dirancang dan direalisasikan dengan menggunakan sensor suhu jenis rangkaian terintegrasi (IC) tipe LM35[3,4,5]. Sensor ini memang menghasilkan output suhu yang linier, tetapi menghadapi kesulitan dalam hal pengemasan ketika akan dijadikan termometer tubuh. Selain harus diuji ulang dalam mengukur suhu tubuh dengan kondisi berkemasan, bentuk kemasan pun harus ikut dipertimbangkan dan diperhitungkan. Bagian sensor pada termometer tubuh memiliki peranan yang sangat penting karena sifat kenyamanan, sensitifitas dan akurasi pengukuran bagi pemakai menjadi prioritas utama. Hal ini dapat diartikan bahwa pemakai harus merasa aman dan nyaman menggunakan termometer tersebut dengan waktu pengukuran yang relatif tidak lama serta suhu terukur yang dihasilkan relatif akurat.

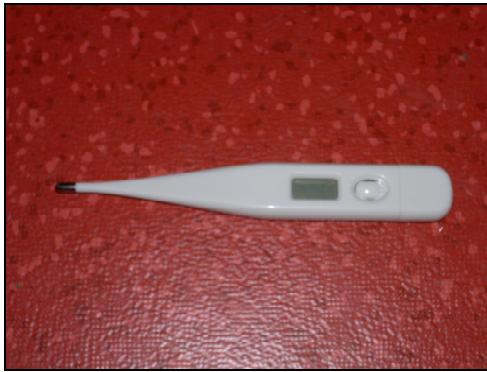
Atas dasar kondisi tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan pengembangan sistem termometer suara berbasis mikrokontroler dengan menggunakan sensor suhu yang berasal dari termometer digital yang telah ada. Dengan menggunakan sensor ini, maka masalah pengemasan yang memberikan kenyamanan dan sensitifitas pengukuran suhu pada pemakai dapat terselesaikan. Hal ini disebabkan karena sensor ini memang dirancang dan diimplementasikan khusus sebagai sensor untuk termometer.

Akan tetapi timbul permasalahan lain yaitu pengolahan sinyal output yang dihasilkan oleh sensor sehingga diperoleh suhu terukur dalam bentuk suara yang akurat. Maka pada penelitian ini, ditujukan untuk melakukan pengembangan sistem termometer suara yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak untuk pengukuran suhu dan pengolahan data suhu terukur dari sensor yang digunakan, hingga menghasilkan suhu terukur yang relatif akurat berupa suara. Diharapkan dengan pengembangan ini dapat lebih memperbaiki kualitas dari termometer suara yang telah ada dan para tuna netra pun semakin terbantu dengan adanya termometer suara ini.

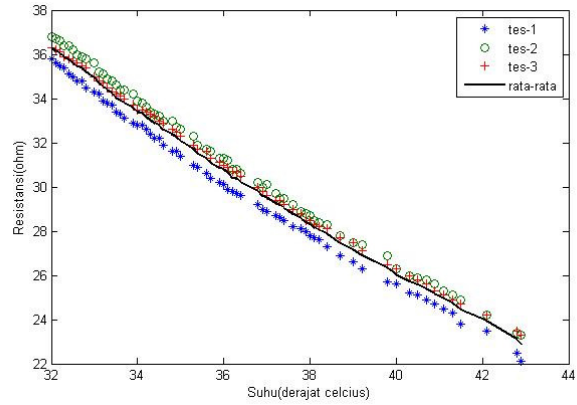
2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM TERMOMETER SUARA

Termometer suara yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki spesifikasi sistem sebagai berikut :

- Sensor berasal dari termometer digital yang tersedia di pasaran, dimana salah satunya seperti diperlihatkan pada Gambar 1(a).
- Rentang pengukuran suhu (T) : 32°C sampai dengan 43°C .
- Resolusi hasil pengukuran = $0,1^{\circ}\text{C}$
- Akurasi pengukuran = $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- Hasil pengukuran berbentuk suara yang juga memiliki fasilitas untuk memutar ulang hasil pengukuran.
- Catu daya berupa baterai 9 Volt



(a)

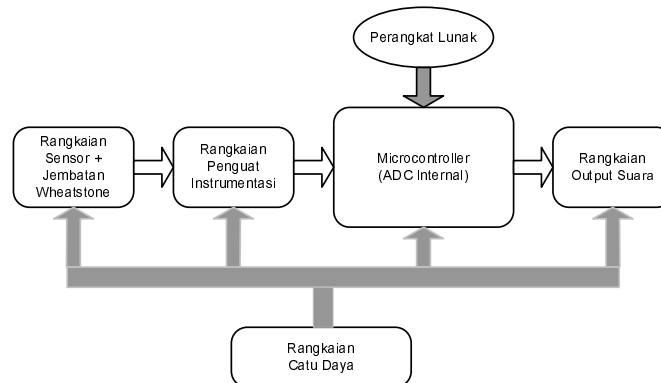


(b)

Gambar 1. (a)Termometer digital ; (b) Grafik pengujian resistansi sensor termometer digital.

Pengujian jenis sensor termometer digital dilakukan untuk merancang rangkaian pengolahan sinyal sebagai rangkaian pendukung termometer suara agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Proses pengujian dilakukan dengan mengukur suhu air hangat sebanyak tiga kali dengan mengukur suhu maksimum sebesar $42,9^{\circ}\text{C}$ sampai dengan 32°C . Perubahan suhu dan resistansi dicatat untuk setiap perubahan suhu $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Hasil pengujian berupa perbandingan nilai suhu terukur dan nilai resistansi serta nilai rata-rata resistansi terukur dibuat dalam bentuk grafik sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1(b). Dari hasil pengujian ini dapat dilihat bahwa sensor suhu ini berjenis sensor resistif atau Thermistor dengan sifat NTC (*Negative Thermal Coefficient*), di mana dengan penurunan suhu yang terjadi pada air hangat maka nilai resistansi sensor yang terukur semakin besar. Nilai resistansi rata-rata dari hasil pengujian ini untuk suhu $42,9^{\circ}\text{C}$ adalah $22,9\text{k}\Omega$ dan untuk suhu 32°C adalah $36,3\text{k}\Omega$.

Untuk memenuhi spesifikasi sistem, termometer suara ini dirancang dengan beberapa sub sistem yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak seperti ditunjukkan pada diagram blok Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok termometer suara

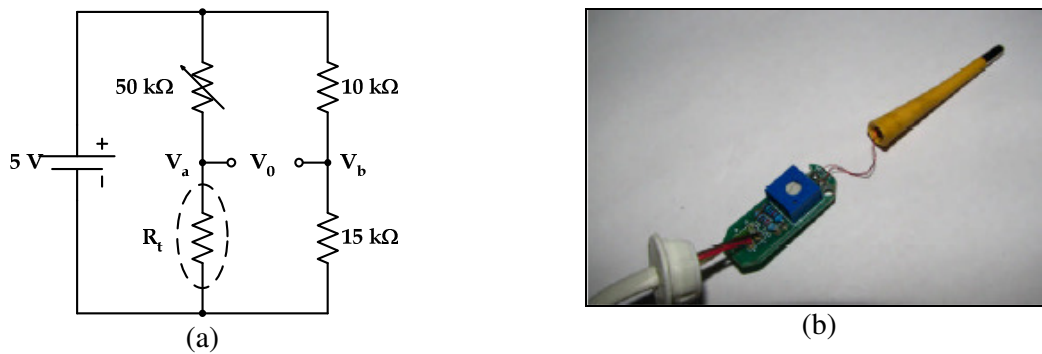
Pada sistem ini, sensor suhu dengan jenis resistif akan mengukur suhu tubuh manusia. Sensor ini dihubungkan dengan rangkaian Jembatan Wheatstone untuk melakukan konversi besaran resistansi menjadi besaran tegangan yang sebanding dengan suhu tubuh yang terukur secara relatif linier. Tegangan yang dihasilkan akan dikuatkan dengan penguat instrumentasi sehingga sesuai dengan spesifikasi tegangan mikrokontroler. Nilai tegangan analog ini diolah menjadi bentuk digital dengan menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) internal yang terdapat di dalam mikrokontroler. Hasil pengolahan data suhu ini, akan diolah oleh mikrokontroler yang dilengkapi dengan perangkat lunak menjadi suatu data untuk rangkaian output suara. Data output suara inilah yang akan diperdengarkan kepada pengguna sebagai hasil pengukuran suhu tubuh. Seluruh rangkaian ini akan dicatu dengan daya yang berasal dari baterai 9 V_{DC} sebagai komponen utama dari rangkaian catu daya.

2.1. Perancangan dan Realisasi Perangkat Keras

Perancangan dan realisasi perangkat keras ini meliputi rangkaian sensor dan Jembatan Wheatstone, rangkaian penguat instrumentasi, rangkaian output suara, rangkaian mikrokontroler serta rangkaian catu daya.

2.1.1. Rangkaian Sensor dan Jembatan Wheatstone

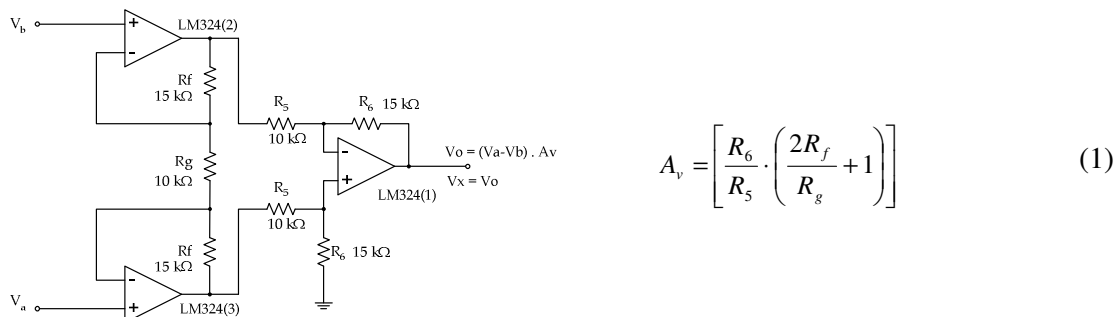
Sensor resistif (thermistor) dari termometer digital akan dipergunakan pada termometer suara dengan rentang pengukuran suhu $32^{\circ}\text{C} \leq T < 43^{\circ}\text{C}$. Pembacaan nilai resistansi sensor pada sistem ini menggunakan rangkaian Jembatan Wheatstone seperti digambarkan secara skematik pada Gambar 3(a), di mana R_t merupakan thermistor. Dengan mengatur besarnya potensiometer pada nilai $26,8 \text{ k}\Omega$, kemudian dilakukan pengukuran tegangan pada terminal V_0 terhadap perubahan suhu air hangat setiap $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ sebanyak tiga kali. Dari hasil pengujian diperoleh nilai tegangan (V_0) rata-rata pada saat suhu minimum 32°C yaitu sebesar $107,67\text{mV}$ dan pada suhu maksimum $42,9^{\circ}\text{C}$ yaitu sebesar $543,33\text{mV}$. Realisasi rangkaian sensor dan Jembatan Wheatstone ini dapat dilihat pada Gambar 3(b). Output dari rangkaian ini (saluran V_a dan saluran V_b) akan dihubungkan dengan rangkaian penguat instrumentasi.



Gambar 3. Skematik (a) dan realisasi (b) rangkaian sensor dan Jembatan Wheatstone

2.1.2. Rangkaian Penguat Instrumentasi

Untuk memenuhi spesifikasi tegangan digital yang disyaratkan oleh ADC internal pada mikrokontroler, maka output tegangan rangkaian sensor dan Jembatan Wheatstone dikuatkan dengan menggunakan penguat instrumentasi. Penggunaan penguat jenis ini bertujuan untuk menghindari efek pembebanan yang biasa terjadi jika menggunakan penguat differensial biasa. Resistansi input pada penguat instrumentasi tidak akan berpengaruh terhadap besarnya penguatan, sehingga hasil penguatan diharapkan memiliki nilai yang akurat. Rangkaian penguat instrumentasi yang digunakan pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian dan persamaan penguatan penguat instrumentasi [1]

Rangkaian ini dirancang untuk penguatan sebesar 6 kali. Hal ini bertujuan agar hasil penguatan tegangan V_0 maksimum dari rangkaian sensor tidak akan melebihi tegangan 5 V_{DC} . Untuk menghasilkan penguatan tersebut, digunakan persamaan penguatan (persamaan 1) dan ditentukan nilai-nilai resistor yaitu $R_5 = R_g = 10 \text{ k}\Omega$ dan $R_6 = R_f = 15 \text{ k}\Omega$. Jenis komponen Op-amp (*operational amplifier*) yang digunakan adalah IC LM324. IC jenis ini memiliki empat buah Op-

amp di dalam satu buah chip IC sehingga dapat memperkecil dimensi rangkaian. Selain itu, IC ini dapat bekerja tanpa catu daya negatif.

Dari hasil realisasi rangkaian penguat instrumentasi, maka dilakukan penggabungan rangkaian sensor dan jembatan Wheatstone dengan rangkaian penguat instrumentasi untuk mengukur rentang tegangan yang dihasilkan setiap perubahan suhu. Prosedur pengukuran yang dilakukan sama yaitu dengan mengukur air hangat sebanyak tiga kali pengukuran untuk memperoleh nilai tegangan rata-rata. Untuk pengukuran suhu digunakan termometer digital yang lain sebagai pembanding. Dari hasil tiga kali pengukuran diperoleh tegangan rata-rata terbesar adalah 3280 mV untuk suhu 42,9⁰C dan 646 mV untuk suhu 32⁰C serta penguatan maksimum yang terjadi yaitu 6,27 kali dan penguatan rata-rata yaitu 6,1 kali. Ketidaksesuaian besarnya penguatan antara perancangan dan hasil pengukuran ini, dapat disebabkan karena adanya ketidak-idealitas pada komponen yang dipergunakan.

2.1.3. Rangkaian Output Suara

Suara yang dihasilkan pada termometer ini dihasilkan dari pemutaran rekaman suara berupa urutan kata-kata yang sesuai dengan hasil pengukuran suhu. Pada termometer ini, kata-kata yang direkam tidak dalam bentuk puluhan, tetapi hanya berupa bilangan satuan. Sebagai contoh adalah penyebutan suhu 35⁰ celcius maka termometer ini akan dirancang untuk menghasilkan output suara berupa urutan kata-kata sebagai berikut : “tiga” – “lima” – “derajat” – “celcius”. Hal ini dilakukan untuk menghemat memori penyimpanan suara, selain itu sistem penyimpan suara ini dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pengembangan sistem lebih lanjut.

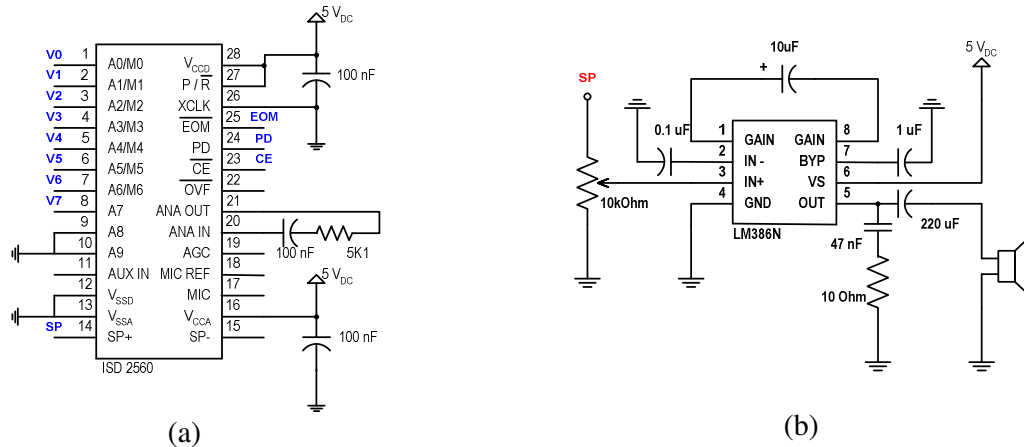
Rangkaian output suara ini dirancang dengan tiga buah rangkaian yaitu rangkaian perekam suara, rangkaian pemutar suara dan rangkaian penguat audio. Rangkaian perekam suara dibuat secara terpisah dari sistem, dimana berfungsi untuk merekam suara data-data bilangan dan kata-kata pendukung lainnya serta untuk melakukan pengujian awal suara hasil dari proses perekaman. Komponen yang dipergunakan untuk menyimpan data suara pada sistem ini berupa IC tipe ISD2560. IC dengan suplai tegangan 5 V_{DC} ini, dapat menyimpan suara selama 60 detik dengan *sample rate* 8 kHz dan dioperasikan dalam mode *address bit*. Dengan mode operasi ini, memungkinkan setiap alamat pada IC dapat menyimpan sebuah data suara.

IC ini memiliki 10 bit alamat, tetapi pada sistem ini hanya digunakan delapan jalur alamat (8 bit) yaitu A0 ~ A7. Saluran A8 dan A9 dibuat selalu aktif *low* sehingga hanya input pada saluran A0 sampai dengan A7 yang akan diinterpretasikan sebagai alamat. Jadi dengan menggunakan 8 bit saluran alamat maka data suara dapat tersimpan dalam 256 alamat dari 00000000₂ (00₁₆) sampai dengan 11111111₂ (FF₁₆). Sejumlah data suara yang direkam dan alamat tempat penyimpanan suara dapat dilihat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data suara dan alamat suara pada IC ISD2560

Data Suara	Alamat Suara (Heksadesimal)
"Suhu Tubuh Anda"	00
"Nol"	17
"Satu"	25
"Dua"	31
"Tiga"	3D
"Empat"	48
"Lima"	56
"Enam"	63
"Tujuh"	6E
"Delapan"	7B
"Sembilan"	8B
"Koma"	9A
"Derajat Celcius"	CB
"On"	DF

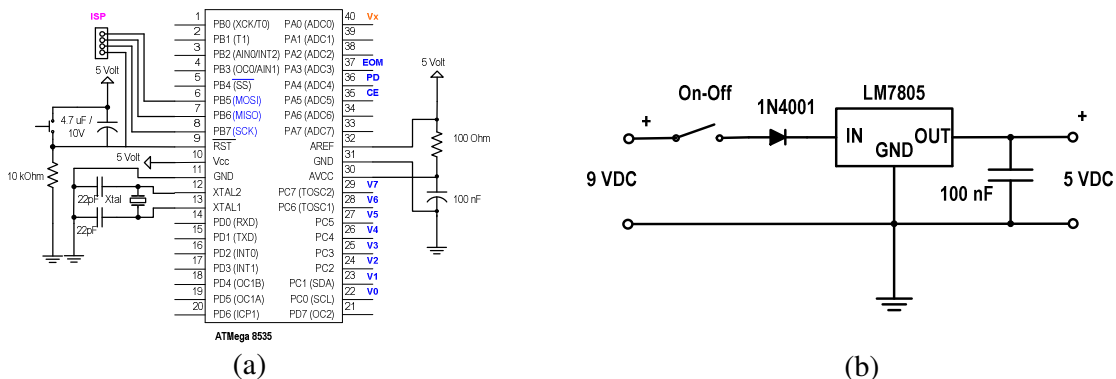
Rangkaian pemutar suara yang direalisasikan dalam sistem ini dihubungkan dan dikendalikan oleh rangkaian mikrokontroler seperti ditunjukkan pada Gambar 5(a). Fungsi tombol *push button Rec/Play* (\overline{CE}), *dip switch* ($A0 - A7$), LED (\overline{EOM}), serta saklar *reset* (PD) dihubungkan langsung ke port I/O mikrokontroler. Pin *playback/record* (P/\overline{R}) langsung dihubungkan pada V_{cc} agar IS2560 dalam kondisi *playback*. Untuk meningkatkan intensitas suara yang dihasilkan oleh rangkaian pemutar suara, sistem ini dihubungkan dengan rangkaian penguat audio seperti pada Gambar 5(b). Rangkaian penguat audio dihubungkan dengan rangkaian pemutar suara melalui pin SP. Rangkaian ini dirancang dengan menggunakan IC Op-Amp LM386 dengan penguatan sebesar 46 dB atau 200 kali.



Gambar 5. (a) Rangkaian pemutar suara ; (b) Rangkaian penguat audio

2.1.4. Rangkaian Mikrokontroler

Pengolah data termometer ini menggunakan komponen utama berupa mikrokontroler. Sejumlah fungsi dikerjakan oleh rangkaian mikrokontroler (Gambar 6(a)) yaitu membaca tegangan input dari rangkaian penguat instrumentasi sebagai representasi dari besarnya suhu yang terukur, melakukan konversi besaran tegangan dengan menggunakan ADC untuk mendapatkan nilai digital, mengolah data suhu berdasarkan persamaan metoda pencocokan kurva, melakukan konversi data suhu menjadi data suara dan mengatur kerja rangkaian pemutar suara yang meliputi tiga fungsi utama yaitu mengatur awal penyalaan suara rekaman berdasarkan hasil pengolahan data dari mikrokontroler melalui pin CE, melakukan *reset* pemutaran suara melalui pin PD dan mengontrol akhir pemutaran rekaman suara melalui pin EOM. Rangkaian ini juga berfungsi untuk mengatur pemutaran ulang data suara jika terdapat perintah pengulangan hasil pengukuran dari pengguna.



Gambar 6. (a) Rangkaian mikrokontroler ATmega 8535; (b) Rangkaian catu daya

Rangkaian mikrokontroler ini dirancang dengan menggunakan mikrokontroler jenis ATmega8535 yang memiliki fasilitas *In System Programming* (ISP) dengan memori *flash* sebesar 8 kByte dan ADC internal 10 bit dengan 8 saluran input analog. Untuk melakukan konversi besaran tegangan dari rangkaian penguat instrumentasi, digunakan satu saluran input analog pada mikrokontroler ini yaitu pin PA0 (ADC0).

2.1.5. Rangkaian Catu Daya

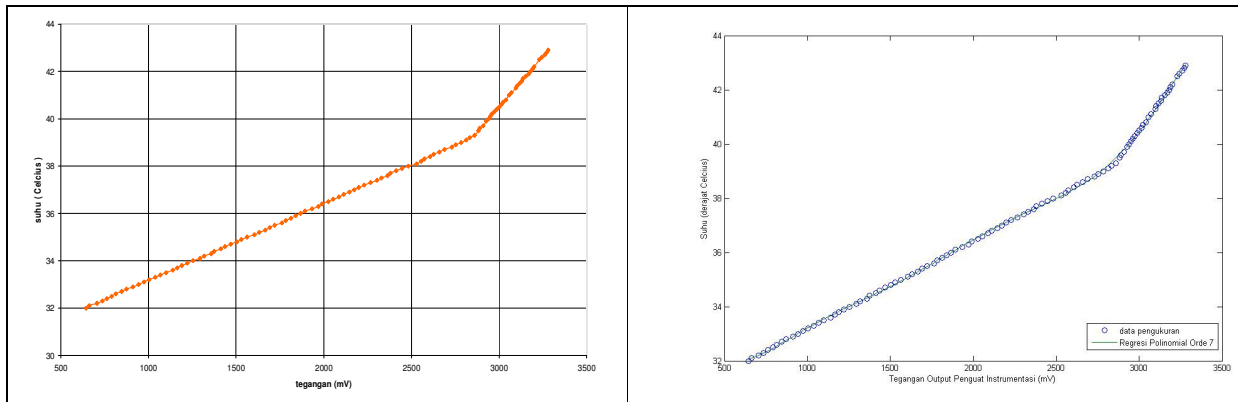
Catu daya pada termometer ini dirancang dengan menggunakan baterai tipe kotak 9 V_{DC}. Hal ini disebabkan untuk menghasilkan termometer yang *portable*. Tegangan dan kapasitas baterai ini relatif cukup besar yaitu 350 mAh. Rangkaian catu daya ini direalisasikan dengan menambahkan IC regulator tegangan LM7805 untuk melakukan konversi tegangan 9 V_{DC} menjadi tegangan 5 V_{DC}. Pada bagian input tegangan IC regulator ditambahkan pula sebuah dioda tipe 1N4001 yang berfungsi sebagai protektor rangkaian catu daya jika terjadi kekeliruan pemasangan polaritas baterai. Rangkaian ini pun dilengkapi dengan sebuah kapasitor pada bagian output untuk mencegah timbulnya *noise* pada tegangan output yang dihasilkan. Untuk pengaturan aktifasi sistem, pada rangkaian ini juga ditambahkan sebuah saklar *on-off*. Gambar 6(b) memperlihatkan keseluruhan rangkaian catu daya untuk sistem termometer suara ini.

2.2. Perancangan dan Realisasi Perangkat Lunak

Pada sistem ini, dirancang dan direalisasikan dua buah perangkat lunak yaitu perangkat lunak pertama untuk menentukan persamaan dari data suhu terukur terhadap tegangan yang dihasilkan dan perangkat lunak kedua untuk pengolahan data yang dilakukan oleh mikrokontroler. Persamaan yang dihasilkan pada pengolahan perangkat lunak pertama, akan dipergunakan untuk pengolahan data pada mikrokontroler.

2.2.1. Penentuan Nilai Suhu Terukur

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan output dari rangkaian penguat instrumentasi terhadap suhu diperoleh hasil pengukuran yang tidak bersifat linier seperti ditunjukkan pada Gambar 7(a).



Gambar 7. (a) Grafik pengukuran tegangan rata-rata output rangkaian penguat instrumentasi terhadap suhu ; (b) Grafik perbandingan Regresi Polinomial orde 7 dengan grafik data pengukuran

Untuk mencari bentuk persamaan fungsi dari hasil pengukuran ini, maka dilakukan analisis secara numerik dengan menggunakan metoda pencocokan kurva[2] dengan perangkat lunak Matlab. Teknik pencocokan kurva **Regresi Polinomial orde 7** digunakan pada sistem ini untuk menentukan persamaan output suhu terukur. Dari hasil analisis diperoleh fungsi kurva seperti pada Persamaan 2 dan grafik tegangan hasil pengukuran dan suhu terukur seperti pada Gambar 7(b) untuk dibandingkan dengan data pengukuran.

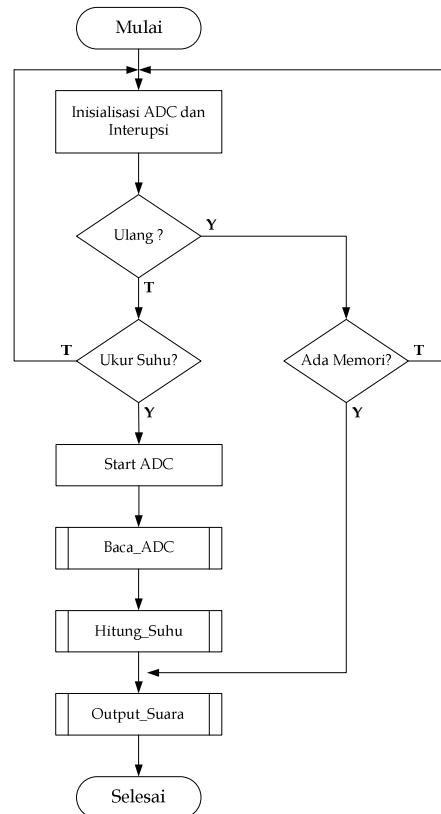
$$f(x) = -6,5904e-22.x^7 + 8,8328e-18.x^6 - 4,8493e-14.x^5 + 1,4101e-10.x^4 - 2,3385e-7.x^3 + 2,2052e-4.x^2 + 0,106.x + 51,8509 \quad (2)$$

Nilai-nilai parameter penentu sebagai proses validasi untuk persamaan di atas adalah sebagai berikut :

- $Sy/x = 0,0777 < Sy = 3,1490$; Hal ini menandakan bahwa fungsi $f(x)$ dari Regresi Polinomial orde 7 ini bersifat valid
- Koefisien variansi (kv) = 8,4549%
- Kuadrat residual (Sr) = 0,5790
- Koefisien determinasi (r^2) = 0,99943

2.2.2. Program Mikrokontroler

Instruksi-instruksi dalam mikrokontroler diprogram untuk mengolah data sesuai dengan fungsi dari mikrokontroler pada sistem termometer suara ini. Fungsi mikrokontroler ini dapat dijelaskan dalam bentuk diagram alir program utama mikrokontroler seperti terlihat pada Gambar 8. Dalam diagram alir ini terdapat tiga buah sub program yaitu **sub program Baca_ADC** untuk pengolahan data dengan komponen ADC internal mikrokontroller, **sub program Hitung_Suhu** untuk pengolahan data suhu terukur dengan persamaan Regresi Polinomial orde 7 dan mengubahnya dalam bentuk satuan bilangan puluhan, satuan dan digit bilangan di belakang koma serta **sub program Output_Suara** untuk pengolahan nilai suhu terukur menjadi suara.



Gambar 8. Diagram alir program utama mikrokontroler

3. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian sistem termometer suara ini dilakukan dalam skala laboratorium terhadap beberapa perangkat keras dan keseluruhan sistem. Untuk pengujian keseluruhan sistem, dilakukan dengan membandingkan suhu terukur antara termometer suara dengan termometer digital yang ada di pasaran pada kondisi yang sama. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat kinerja sistem baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Hasil pengujian ini kemudian dianalisis untuk melihat performa termometer suara serta untuk kepentingan perbaikan dan pengembangan sistem pada tahap selanjutnya.

3.1. Pengujian Rangkaian Sensor dan Jembatan Wheatstone

Selain pengujian nilai resistansi dan tegangan keluaran dari rangkaian ini seperti ditunjukkan hasilnya pada Gambar 1(b), diuji pula waktu rata-rata perubahan nilai resistansi sensor sampai pada kondisi stabil pada saat melakukan pengukuran. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 5 kali, dimana waktu pengukuran yang diperoleh adalah 88 detik, 75 detik, 91 detik, 81 detik dan 75 detik. Rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali pengukuran suhu tubuh ini adalah 82 detik. Akan tetapi, untuk memberikan tenggang waktu proses konversi oleh ADC dan memperoleh hasil

yang lebih akurat, maka waktu tunggu yang digunakan oleh termometer suara ini untuk melakukan satu kali pengukuran adalah 2 menit atau 120 detik.

3.2. Pengujian Rangkaian Output Suara

Pengujian rangkaian output suara ini dilakukan dengan memutar hasil rekaman yang tersimpan pada IC ISD 2560. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rangkaian pemutar suara dimana pengaturan saklar dan alamat dilakukan melalui rangkaian mikrokontroler. Dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa selain hasil suara yang tidak terpotong dan bertumpuk, pengaturan alamat rekaman suara dan pengaturan pemutaran rekaman pun telah dapat berhasil diatur melalui rangkaian mikrokontroler.

Kualitas suara yang dihasilkan oleh rangkaian ini pun diuji secara kualitatif dengan melakukan survei kepada beberapa orang normal untuk mendengarkan hasil rekaman. Dari hasil survei ini, diperoleh bahwa suara rekaman dapat terdengar dengan jelas. Hal ini dapat diasumsikan bahwa proses perekaman dan pemutaran suara telah berhasil direalisasikan dengan baik.

3.3. Pengujian dan Analisis Rangkaian Catu Daya

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian pada rangkaian catu daya dengan menguji tegangan input minimum pada IC Regulator LM7805. Pengujian ini bertujuan untuk melihat batas minimum tegangan baterai yang harus diinputkan pada rangkaian catu daya agar tegangan output dari rangkaian ini masih menghasilkan tegangan sebesar $\pm 5 V_{DC}$. Pengujian input minimum tegangan IC Regulator ini dilakukan dengan memberikan variasi input tegangan yang berasal dari alat adaptor tegangan yang dapat diatur nilai tegangannya. Kemudian di bagian output rangkaian catu daya diukur tegangan keluaran yang dihasilkan dengan menggunakan multimeter. Dari hasil pengujian dapat dianalisis bahwa rangkaian catu daya ini memiliki batas input minimum sebesar 7,8 Volt agar masih dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 4,98 V_{DC} . Tegangan sebesar ini dianggap masih memenuhi syarat untuk mencatu daya seluruh rangkaian termometer suhu agar dapat menghasilkan hasil pengolahan suhu yang akurat.

3.4. Pengujian dan Analisis Sistem Termometer Suara

Tahap akhir pengujian dilakukan dengan menguji termometer suara secara keseluruhan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kinerja sistem secara keseluruhan dalam mengukur suhu dan melihat output yang dihasilkan oleh termometer suara ini. Prosedur pengujian pada tahap ini dilakukan dengan cara mengukur suhu air hangat secara bersamaan dengan termometer digital. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian suhu termometer suara

Termometer Digital ($^{\circ}C$)	Termometer Suara ($^{\circ}C$)	Selisih Suhu ($^{\circ}C$)
39,7	40,0	0,3
39,1	39,5	0,4
37,9	38,1	0,3
37,4	37,6	0,2
36,6	36,8	0,2
36,5	36,8	0,3
36,4	36,4	0
35,5	35,2	0,3
35,2	34,8	0,4
34,5	34,3	0,2
34,1	34,2	0,1
33,1	33,3	0,2
32,3	32,1	0,2

Dari hasil pengujian ini terlihat bahwa hasil pengukuran termometer suhu dengan sensor resistif menunjukkan performa yang baik dimana setiap pengukuran yang dilakukan menunjukkan kestabilan kondisi suhu yang terus menurun sebanding dengan penurunan suhu air hangat. Selisih suhu maksimum antara hasil pengukuran termometer suara dengan termometer digital adalah sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$. Selisih suhu ini dapat disebabkan karena tidak idealnya komponen yang digunakan serta persamaan perhitungan suhu dari Regresi Polinomial orde 7 yang hanya merupakan nilai pendekatan pada kurva karakteristik sensor yang sebenarnya. Nilai selisih maksimum ini merupakan akurasi termometer suara yang telah dirancang dan direalisasikan pada penelitian.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian pada termometer suara yang merupakan hasil proses perancangan dan realisasi baik perangkat keras maupun perangkat lunak, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Sensor suhu resistif pada termometer suara ini menghasilkan kondisi pengukuran yang stabil dimana resistansi sensor selalu menunjukkan resistansi yang semakin besar ketika terjadi penurunan suhu serta hasil yang diperoleh untuk beberapa kali pengujian (*repeatability*) memiliki nilai yang hampir sama.
- b. Berdasarkan data pengujian sistem sensor secara keseluruhan, diperoleh bahwa sensor mampu mendeteksi setiap perubahan suhu $0,1^{\circ}\text{C}$ dengan nilai akurasi pengukuran sebesar $0,4^{\circ}\text{C}$.
- c. Waktu pengukuran rata-rata yang diperlukan oleh termometer suhu ini, berdasarkan pada hasil pengujian pada Tabel 2 adalah 82 detik dengan waktu pengukuran maksimum adalah 91 detik. Untuk memberikan tenggang waktu proses konversi oleh ADC dan memperoleh hasil yang lebih akurat, maka waktu tunggu yang digunakan oleh termometer ini untuk melakukan satu kali pengukuran adalah 2 menit atau 120 detik.
- d. Untuk mendapatkan hasil pengukuran suhu yang akurat, termometer suhu harus memiliki suplai minimum tegangan baterai sebesar 7,8 Volt.
- e. Rangkaian pemutar suara telah bekerja dengan baik dimana rangkaian telah dapat diatur aktifasinya melalui mikrokontroler serta suara yang diputar terdengar jelas, tidak terpotong dan tidak bertumpuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carr, J.J. 1993. *Sensors and Circuits*. New Jersey: Prentice Hall.
- [2] Chapra, S.C., Canale, R.P. 1991. *Metode Numerik untuk Teknik dengan Penerapan pada Komputer Pribadi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [3] Mardianto, B. 2009. *Termometer Suhu Badan dengan Output Suara berbasis AT89S51*. Tugas Akhir. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- [4] Sofwan, A., Yulhendri, Y. 2005. *Termometer Badan dengan Output Suara untuk Orang Buta Berbasis Mikrokontroler MCS-51*. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI).
- [5] Thiang, Santoso, F., Matriksa, B. 2003. *Termometer Badan dengan Output Suara berbasis Mikrokontroler MCS51*. Jurnal Teknik Elektro Volume 3, Nomor 12. Jakarta: Fakultas Teknologi Industri-Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra.