

Perancangan dan Uji Kinerja Sistem Pengukur Suhu Berbasis Elektronik

Siswaya*¹

¹Program Studi Informatika, STMIK El Rahma Yogyakarta
e-mail: *¹siswaya.stmik@gmail.com

Abstrak (Bahasa Indonesia)

Pengukur suhu dengan termometer air raksa sudah biasa dilakukan, baik di industri/kedokteran. Sistem pengukur dianggap baik dan memenuhi syarat jika mudah dalam pembacaan serta dapat meminimalisir kesalahan paralaks, namun sebaliknya jika kesulitan itu masih ada berarti sistem belum baik dan dianggap belum memenuhi syarat. Alternatif solusi dari masalah tersebut, didesainlah sistem pengukur suhu elektronik yang sederhana, murah dan mudah digunakan. Desain pengukur suhu elektronik ini meliputi sensor suhu, pengkondisi sinyal input, ADC, chip mikrokontroler dan LCD display. Untuk memastikan sistem dapat bekerja dengan baik, beberapa parameter yang harus dipenuhi adalah data input yang berupa besaran fisis (suhu) dan ini harus harus diubah ke besaran listrik dulu, atau dengan kata lain mengubah suhu tersebut menjadi tegangan analog dengan menggunakan sensor suhu seri LM35 yang mampu mengkonversi suhu ke tegangan dengan kenaikan 10mV/°C. Lalu output dari sensor suhu, diumpungkan ke blok pengkondisi sinyal input untuk dikuatkan tegangannya, kemudian tegangan analog itu diubah menjadi data digital 8-bit menggunakan ADC 0804. Data digital 8-bit yang didapat kemudian di-input-kan ke chip mikrokontroler untuk diproses lebih lanjut sehingga bisa ditampilkan dengan LCD display, dan diketahui nilai suhunya dengan angka desimal. Berdasar konsep/desain rancangan sistem, kinerja termometer elektronik menunjukkan hasil yang baik dan mampu mengukur suhu dengan interval 25°C - 100°C, rata-rata kesalahan pengukuran suhu 0,2125°C.

Kata kunci—Sensor Suhu, Thermometer Elektronik & Kinerja Sistem

1. PENDAHULUAN

Termometer adalah sebuah piranti/alat yang berguna untuk menentukan suhu yang terdapat pada suatu benda baik hidup/tak hidup. Termometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suhu ataupun alat yang digunakan untuk menyatakan derajat dingin atau panas suatu benda. Alat ini memanfaatkan termometrik dari zat, yaitu perubahan dari sifat-sifat zat yang disebabkan karena perubahan suhu dari zat tersebut. Zat cair termometrik yaitu zat yang mudah mengalami suatu perubahan fisis ketika dipanaskan maupun didinginkan, misalnya alkohol dan air raksa. Pada dasarnya, termometer dapat didefinisikan sebagai alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur maupun perubahan suhu. Kata termometer berasal dari bahasa latin yaitu thermo yang artinya panas dan meter yang artinya untuk mengukur. Jadi, kegunaan dari alat termometer adalah untuk mengukur panas. [1] Dalam dunia kedokteran termometer digunakan untuk menentukan berapa suhu badan pasien, sehingga dapat membantu mendiagnosa penyakit yang diderita pasien untuk menentukan obatnya yang tepat, sedangkan di dunia industri termometer digunakan untuk memonitor suhu benda (bisa ketel uap, tanur besi, suhu cairan dan banyak lagi) mulai dari suhu yang rendah sampai dengan suhu yang tinggi, sehingga memudahkan dalam pengontrolan proses/reaksi tertentu baik reaksi kimia/fisika. Jadi, dengan menggunakan termometer dapat dengan mudah untuk melakukan monitoring terhadap suatu proses tertentu. Termometer untuk pengukuran suhu rendah misalnya di bawah 100°C, biasanya terbuat dari bahan/cairan air raksa yang diisikan di dalamnya atau bisa juga dengan cairan lain, yang intinya adalah dengan menggunakan prinsip pemuaian, yaitu jika suatu benda/cairan terkena panas maka akan memuai, fenomena inilah yang digunakan sebagai penunjuk suhunya. Termometer dengan prinsip seperti ini, terdapat kendala terutama dalam hal pembacaannya karena menggunakan skala tertentu dan tidak menunjukkan angka langsung, di samping itu juga sering muncul adanya kesalahan dalam pembacaan skala karena posisi mata yang tidak lurus dengan garis-garis pada skala termometer, kesalahan seperti ini sering disebut kesalahan paralaks. Untuk mengatasi dua kendala atau permasalahan di atas, maka dicoba untuk didesain sistem termometer elektronik yang lebih sederhana, murah dan

mudah digunakan. Adapun desain sistem termometer elektronik ini terdiri atas sensor suhu, pengkondisi sinyal *input*, ADC, *chip* mikrokontroler dan LCD *display* sebagai penampil nilai suhunya.

2. METODE PENELITIAN

Objek penelitian yang diteliti pada eksperimen ini adalah piranti pengukur suhu memanfaatkan rangkaian elektronik sebagai pengganti alat ukur suhu konvensional. Peneliti melakukan studi pustaka yaitu meneliti dan mengkaji literatur berupa buku, *paper* ataupun jurnal yang berhubungan serta relevan dengan objek yang sedang diteliti. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Tahap Inisiasi dan Analisa

Tahap ini merupakan tahapan analisa permasalahan yang dilakukan dengan melaksanakan *tracing* atau penelusuran dan kajian terhadap berbagai jenis literatur yang terkait dengan desain atau perancangan sistem. Perancangan sistem meliputi perangkat keras dan perangkat-lunak. Kajian antara lain dilakukan pada sensor suhu, pengkondisi sinyal *input*, ADC, *chip* mikrokontroler dan LCD *display*, dan program yang akan ditanam di *chip* mikrokontroler, sehingga berdasar kajian itu sistem dapat bekerja dengan baik sesuai rancangan awal.

2. Tahap Investigasi/Pendataan

Tahap ini bertujuan untuk melakukan pendataan terhadap berbagai hal yang dibutuhkan oleh sistem yang sedang dirancang/dibangun agar menghasilkan alat/piranti yang sesuai dengan rancangan awal dan dapat diimplementasikan dengan baik. Investigasi ini meliputi penentuan tipe sensor suhu, pengkondisi sinyal *input*, ADC, *chip* mikrokontroler, LCD *display* dan piranti pendukung lainnya.

3. Tahap *Prototype*

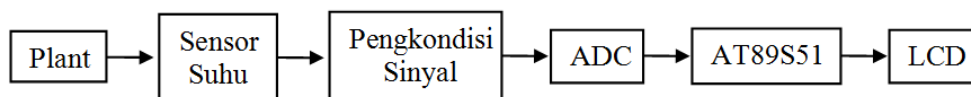
Tahap ini merupakan tahapan mewujudkan gambar rencana/rancangan awal menjadi sebuah *prototype* sebagai perwujudan sistem secara keseluruhan sehingga mampu berfungsi dengan baik, kemudian merakitnya antara satu bagian dengan bagian yang lain menjadi sistem perangkat keras lengkap, dan terintegrasi dengan perangkat lunaknya.

4. Tahap Pengujian

Tahap selanjutnya adalah pengujian atau *testing* terhadap semua bagian yang terdapat di dalam sistem. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa semua bagian dari *prototype* yang dibuat dapat berfungsi dengan benar dan sesuai dengan rancangan awal. Pengujian dilakukan pada sensor suhu, pengkondisi sinyal *input*, ADC, *chip* mikrokontroler, LCD *display* dan program yang ditanam ke *chip* mikrokontroler.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Sistem



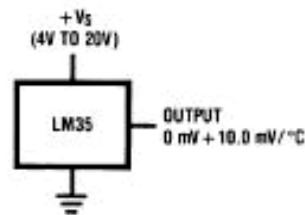
Gambar 1. Arsitektur Sistem Akuisisi Data Suhu

Gambar 1 menjelaskan tentang perancangan arsitektur sistem akuisisi data suhu. Arsitektur ini membahas mengenai keterkaitan antara blok satu dengan blok lainnya, yang disajikan secara berurutan mulai dari *plant* sampai dengan LCD *display*, dimana masing-masing blok sudah memiliki fungsi dan perannya sendiri-sendiri. Intinya adalah data masukan berupa

besaran fisis/analog yang kemudian akan dikuatkan sinyalnya sehingga bisa dideteksi oleh ADC yang kemudian data analog tersebut akan diubah menjadi data digital 8 bit, lalu dimasukkan ke *chip* mikrokontroler yang sudah berisi program yang bisa mengolah dan menyajikan data masukan tersebut ke dalam tampilan LCD, dimana nilai yang ditampilkan sudah dalam bentuk angka desimal. Angka desimal ini akan selalu sesuai dengan besar/kecilnya data masukan dari plant di awal.

3.2 Hasil Penelitian dan Pengujian terhadap Sensor Suhu LM35

Sensor suhu tipe LM 35 dapat dikalibrasi secara langsung dalam °C. Sensor suhu tipe LM 35 ini lebih difungsikan sebagai *basic temperature* sensor lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. LM 35 *basic temperature* sensor.

Tegangan *output* (V_{out}) dari LM 35 ini dihubungkan dengan ADC (*Analog to Digital Converter*). Dalam suhu kamar (25°C) transduser ini mampu mengeluarkan tegangan 250mV dan 1,5V pada suhu 150°C dengan kenaikan suhu sebesar $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.

Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mengubah besaran fisis yang berupa suhu menjadi besaran elektris berupa tegangan.[2] Sensor ini memiliki parameter bahwa setiap kenaikan 1°C maka tegangan keluarannya akan naik sebesar 10mV dengan batas maksimal keluaran sensor adalah 1,5 V pada suhu 150°C .

Pada perancangan keluaran ADC ditentukan mencapai *full scale* pada saat suhu 100°C , sehingga saat suhu 100°C maka tegangan keluaran *transducer* akan $(10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times 100^{\circ}\text{C}) = 1\text{V}$. Berdasar fakta pengukuran secara langsung pada suhu ruang, maka keluaran LM35 adalah 0,3V (300mV), kemudian tegangan ini diolah dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal agar sesuai dengan tahapan masukan ADC

Sensor suhu LM35 diuji dengan cara memberikan tegangan sebesar 5V dan memberikan pemanasan secara tidak langsung, sedangkan tegangan keluaran langsung diamati dengan voltmeter. Berdasar pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan data sebagaimana tersaji pada Tabel 1.

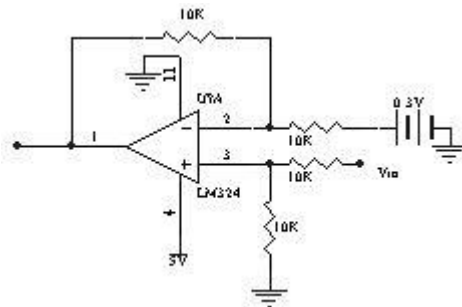
Tabel 1. Hasil pengujian sensor LM35

Suhu	Tegangan keluaran
35°C	0.35
40°C	0.40
45°C	0.45
50°C	0.51
55°C	0.55
60°C	0.65
65°C	0.71
70°C	0.76

Mencermati data hasil pengujian di atas maka diketahui bahwa tegangan keluaran sensor akan naik sebesar 50mV untuk setiap kenaikan suhu 5°C atau $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor telah bekerja dengan baik.

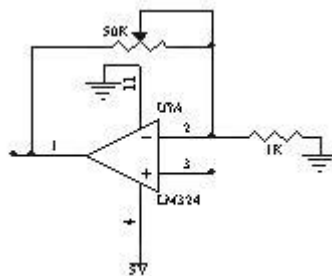
3.3 Hasil Penelitian dan Pengujian terhadap Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal ini berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran yang berasal dari sensor suhu LM35 agar mampu diproses pada peralatan ADC 0804. Diinginkan bahwa pengukuran suhu dapat dilakukan pada *range* 25°C - 100°C, sedangkan saat suhu kamar LM35 sudah mampu mengeluarkan tegangan sebesar 0,3V, sehingga untuk dapat mengatur agar masukan ADC 0V pada suhu ruang, ditambahkan sebuah penguat differensial dengan konfigurasi seperti Gambar 3.



Gambar 3. Penguat Differensial.

Keluaran penguat differensial ini dikuatkan lagi dengan rangkaian penguat *non-inverting* dengan konfigurasi seperti terlihat pada Gambar 4.[3]



Gambar 4. Penguat *Non-Inverting*.

Pengujian rangkaian pengkondisi sinyal ini dilakukan dengan memberikan tegangan yang nilainya berubah-ubah pada bagian masukan penguat akhir (penguat *non-inverting*) kemudian mengukur keluarannya untuk kemudian dihitung tingkat penguatan tegangannya.

Tabel 2. Hasil pengujian pengkondisi sinyal

V _{in}	V _{out}	A _v = (V _{out} /V _{in})
0,1V	0,5V	5
0,2V	1V	5
0,3V	1,5V	5
0,4V	2V	5
0,5V	2,5V	5
0,6V	3V	5
0,7V	2,5V	5

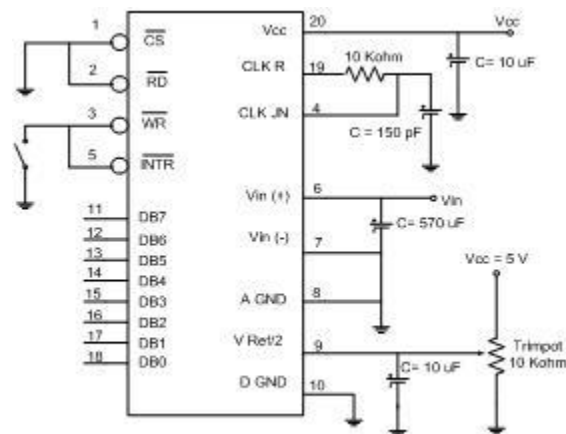
Tabel 2 menjelaskan tentang hasil pengujian pengkondisi sinyal dan diketahui bahwa tingkat penguatan tegangan rangkaian pengkondisi sinyal adalah 5 kali, maka dapat dikatakan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal ini telah bekerja dengan baik.

3.4 Hasil Penelitian dan Pengujian terhadap ADC 0804

ADC 0804 berfungsi mengubah *input* analog dari sensor suhu yang sinyalnya sudah dikuatkan sebelumnya menjadi data digital 8 bit pada mode kerja *free running*. [4] Untuk membuat mode kerja ADC 0804 Gambar 5 menjadi *free running*, maka harus diketahui bagaimana urutan pemberian nilai pada RD dan WR serta perubahan nilai pada INTR. Urutan pemberian nilai pada WR, RD perubahan nilai pada INTR ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Pemberian nilai pada RD dan WR serta perubahan nilai pada INTR

Langkah	$\overline{\text{INTR}}$	$\overline{\text{WR}}$	$\overline{\text{RD}}$
1	0	0	0
2	1	1	0



Gambar 5. Rangkaian *Free Running* ADC.

Mode kerja *free running* ADC diperoleh jika RD dan CS dihubungkan ke *ground* agar selalu mendapat logika 0 sehingga ADC akan selalu aktif dan siap memberikan data. Pin WR dan INTR dijadikan satu karena perubahan logika INTR sama dengan perubahan logika pada WR, sehingga pemberian logika pada WR dilakukan secara otomatis oleh keluaran INTR. [5]

Nilai tegangan masukan (V_x) dari sebuah ADC secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_x = V_{ref} (b_1 \cdot 2^{-1} + b_2 \cdot 2^{-2} + \dots + b_n \cdot 2^{-n})$$

dimana: V_x = tegangan masukan

V_{ref} = tegangan referensi

n = jumlah bit

Alasan rangkaian ADC menggunakan *mode free running* karena waktu konversi ADC menjadi jauh lebih cepat terhadap tingkat perubahan suhu dari *plant*, sehingga setiap kali suhu berubah, ADC selalu dapat mengikuti perubahan suhu pada *plant*-nya sehingga data yang dihasilkan akan selalu *valid* untuk dilakukan *sampling*. Untuk ADC 0804 dengan jumlah bit sebesar 8 bit dan tegangan $V_{ref} = 5V$ maka resolusinya (ΔV) = 19,53mV.

Masukan tegangan analog ADC yang berasal dari keluaran pengkondisi sinyal saat *full scale* dengan nilai sebesar V_x dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_x = 5 \left(\frac{1}{2^1} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{2^3} + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{2^5} + \frac{1}{2^6} + \frac{1}{2^7} + \frac{1}{2^8} \right) = 5 \frac{255}{256} = 4,9804 \text{ v}$$

Dengan demikian saat tegangan masukan ADC adalah 4,9804 volt maka keluaran ADC akan bernilai sebesar FFH.

Tabel 4 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan cara memberi tegangan masukan pada ADC dan mencatat data digital keluarannya melalui tampilan LED 8 bit.

Tabel 4. Hasil pengujian ADC.

Tegangan masukan	Data digital
0,6 v	23 H
1,2 v	41 H
1,8 v	62 H
2,6 v	8D H
3,4 v	B7 H
4 v	DF H
4,2 v	EF H
4,9 v	FF H

Data hasil pengujian ADC menunjukkan bahwa komponen ini dapat bekerja dengan baik.

$$Suhu = \left(\frac{\text{data digital} \times 5}{17} \right) + 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 5. Hasil pengujian tampilan suhu

Data Digital	Suhu tertampil	Suhu terhitung
25 H	35°C	35,294°C
43 H	44°C	44,117°C
63 H	53°C	53,823°C
8D H	66°C	66,470°C
B7 H	78°C	78,823°C
DF H	90°C	90,588°C
EF H	95°C	95,294°C
FF H	100°C	100°C

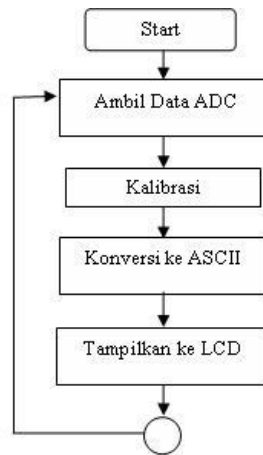
Fakta hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 5 dapat diketahui bahwa antara suhu tertampil di LCD dengan suhu hasil perhitungan terdapat perbedaan dalam hal ketelitian, dimana suhu tertampil di LCD adalah nilai bulat tanpa menampilkan nilai di belakang koma, sedangkan suhu terhitung adalah sebagai patokan suhu yang harus tertampil. Penghilangan nilai koma ini bertujuan untuk memudahkan proses pembuatan program, namun dengan konsekuensi adanya tingkat kesalahan suhu tertampil akibat penghilangan tersebut.

3.4 Hasil Pengujian Chip Mikrokontroler dan Program Akuisisi Data Suhu

Mikrokontroler adalah sistem mikroprosesor lengkap yang terkandung di dalam sebuah *chip*. Mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus, cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data [6].

Data digital 8 bit dari ADC diambil oleh mikrokontroler melalui *Port 2* (P2.0-P2.7) dihubungkan dengan DB0-DB7), sedangkan data masukan untuk penampil LCD dikeluarkan melalui *Port 1* (P1.0-P1.7) dihubungkan dengan D0-D7). Untuk mengontrol kaki RS dan E pada LCD, mikrokontroler memanfaatkan kaki P3.6 dan P3.7. Proses pengambilan data dan pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 6. Data yang diambil dari P2 dikalibrasikan terlebih dahulu, setelah dikalibrasi maka data tersebut kemudian diubah ke dalam kode ASCII supaya

dapat tertampil dalam bentuk angka 0-100 pada LCD, jika ini tidak dilakukan maka angka yang tertampil adalah angka 0-255.[7]



Gambar 6. Flowchart Program Akuisisi Data Suhu

Pengujian *software* meliputi pengujian program akuisi data suhu dan kalibrasi data akuisisi terhadap tampilan suhu pada LCD. Proses pengujiannya dilakukan dengan melihat secara visual data digital yang tertampil pada LED indikator yang merupakan data yang diakuisisi dan membandingkan hasil tampilan suhu di LCD terhadap rumus yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *software* telah dapat mengkalibrasi data digital dan dapat menampilkan nilai suhu dari *plant*, maka dapat dikatakan bahwa *software* yang dibuat telah dapat mengolah data masukan dengan baik.

3.5 Hasil Pengujian Sistem secara Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan dengan menempatkan sensor LM35 dan termometer biasa dalam *plant* suhu yang sama, kemudian membandingkan antara suhu penunjukan yang tertampil pada LCD terhadap penunjukan suhu pada termometer biasa selama 30 menit.

Tabel 6. Perbandingan hasil pengujian sistem

Tampilan suhu LCD	Tampilan suhu termometer	Error
30°C	29,7°C	0,3°C
32°C	32°C	0°C
34°C	34°C	0°C
37°C	37,5°C	0,5°C
40°C	40°C	0°C
45°C	45,6°C	0,6°C
46°C	46°C	0°C
47°C	46,7°C	0,3°C
Σ error		1,7°C

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem akuisisi data suhu memiliki kesalahan rata-rata sebesar 0,2125°C, nilai ini didapat dengan menjumlahkan semua nilai kesalahan dari setiap pengujian dibagi dengan jumlah pengujian (8 kali) atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\bar{x}_{error} = \frac{\Sigma error}{jumlah\ pengujian}$$

$$= \frac{1,7^{\circ}C}{8} = 0,2125^{\circ}C$$

4. KESIMPULAN

Berdasar hasil perancangan dan pengujian untuk sensor suhu didapatkan bahwa tegangan keluaran sensor akan naik sebesar 50mV untuk setiap kenaikan suhu 5°C atau 10mV/°C, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor telah dapat bekerja dengan baik. Tingkat penguatan tegangan rangkaian pengkondisi sinyal adalah 5 kali, maka dapat dikatakan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal ini telah dapat bekerja dengan baik

Hasil perancangan dan pengujian ADC 0804, menunjukkan suhu tertampil di LCD dengan suhu hasil perhitungan terdapat perbedaan dalam hal ketelitian, dimana suhu tertampil di LCD adalah nilai bulat tanpa menampilkan nilai di belakang koma, sedangkan suhu terhitung adalah sebagai patokan suhu yang harus tertampil. Penghilangan nilai koma ini bertujuan untuk memudahkan proses pembuatan program, namun dengan konsekuensi adanya tingkat kesalahan suhu tertampil akibat penghilangan tersebut. Walau demikian secara umum tampilan keduanya adalah identik atau sama.

Pada pengujian *chip* mikrokontroler dan program akuisisi suhu yang tertanam dalam *chip* menunjukkan bahwa program telah dapat mengkalibrasi data digital dan mampu menampilkan nilai suhu dari *plant*, sehingga dapat dikatakan bahwa *software* telah dapat bekerja dengan baik. Nilai rata-rata kesalahan pengukuran suhu sebagai akumulasi dari semua nilai kesalahan dari setiap pengujian dibagi dengan jumlah pengujian adalah 0,2125°C.

5. SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut dan menutup kekurangan penelitian saat ini, beberapa saran berikut dapat menjadi pertimbangan sebagai bentuk pengembangan penelitian selanjutnya:

- Pada bagian *output* rangkaian pengkondisi sinyal sebaiknya ditambahkan rangkaian *clipper* yang berfungsi sebagai pembatas masukan ADC agar tegangan maksimal sebesar 5V.[8]
- Untuk mempermudah pengaturan nol dari rangkaian penguat differensial sebaiknya *output* LM35 diperkuat terlebih dahulu sehingga tegangan referensi pengurang tidak terlalu kecil.
- Sumber tegangan referensi sebaiknya menggunakan diode zener agar didapatkan tegangan yang stabil.[9]
- Untuk membuat tampilan data suhu lebih presisi maka dapat dibuat program kalibrasi data suhu yang lebih baik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan untuk teman-teman dosen di lingkungan STMIK El Rahma Yogyakarta yang telah berkenan membantu dalam penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga dapat terwujudnya laporan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Habib Al Khairi, Muhammad, Mengenal Sensor Suhu LM35 dan Cara Kerjanya (Lengkap), <https://www.mahirelektro.com/2020/11/mengenal-sensor-suhu-lm35-dan-cara-kerjanya.html>, diakses tanggal 11 Juli 2023 pukul 10.00.
- [2] Woollard, Barry, *Elektronika Praktis*, Cet.6, 2006, diterjemahkan oleh: Kristono, Malta Printindo, Jakarta.
- [3] Tokheim, Roger L, *Prinsip-prinsip Digital*, Ed.2, Cet.1, 1994, diterjemahkan oleh: Strisna, Erlangga, Jakarta.
- [4] Evendi, Novita, Rangkaian ADC (free running), <http://automotive-moslem.blogspot.com/2011/12/rangkaian-adc-free-running.html>, diakses tanggal 10 Juli 2023 pukul 09.00.
- [5] Andrianto, H and Darmawan, A, *Arduino Belajar Cepat Dan Pemrograman*, 2015, Informatika, Bandung.
- [6] Putra, A, E, *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*, 2002, Gava Media, Yogyakarta
- [7] Suhartiwi, Fenny, Rangkaian clipper, https://www.academia.edu/9030513/Rangkaian_clipper, diakses tanggal 15 Juli 2023 pukul 12.00.
- [8] Malvino, Albert Paul, *Prinsip-prinsip Elektronika*, Ed.1, 2004, diterjemahkan oleh: Santoso, Joko, Salemba Empat, Jakarta.