

# PERANCANGAN ALAT UKUR KEMIRINGAN BIDANG MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER AT89C51

Yuris Permana Yoga Utama\*<sup>1)</sup>

1. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tulungagung, Indonesia

## Article Info

**Kata Kunci:** Sensor potensiometer, pembagi tegangan, pengkondisi sinyal, ADC (Analog to Digital Converter), Mikrokontroler.

**Keywords:** Potensiometer sensor, voltage divider, the signal conditioning, ADC (Analog to Digital Converter), Microcontroller.

## Article history:

Received 20 September 2024

Revised 19 Oktober 2024

Accepted 25 November 2024

Available online 1 December 2024

## DOI :

<https://doi.org/10.29100/jupi.v9i4.7569>

\* Corresponding author.

Corresponding Author

E-mail address:

[yurispyu@gmail.com](mailto:yurispyu@gmail.com).

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang prototipe alat ukur kemiringan bidang datar. Alat ini nantinya dapat difungsikan untuk melihat kemiringan lantai, dinding ataupun melihat suatu kemiringan bidang lainnya. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengambil data untuk diolah dan ditampilkan diperoleh dari pergerakan bandul pendulum gravitasi. Potensiometer sebagai sensor sudut bergerak karena pengaruh gaya gravitasi dan selalu tegak lurus dengan bidang datar yang diukur (pada posisi horizontal x-y), disaat itu pula potensiometer yang bergerak mengakibatkan perubahan nilai resistansinya. Pada posisi bandul pendulum diam berhenti mencapai keseimbangannya maka perubahan nilai tahanan potensiometer akan diukur keluaran nilai tegangannya dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*) sebagai masukan rangkaian pengkondisi sinyal yang akan menghasikan nilai tegangan analog tertentu. Kemudian tegangan analog tersebut oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) diubah menjadi pulsa digital yang diumpankan ke mikrokontroler. Mikrokontroler membaca tegangan ADC dan akan mencari data sudut pada table dan apabila menemukan data yang sesuai akan ditampilkan oleh LCD (*Liquid Crystal Display*). Perancangan prototipe alat ini mempunyai beberapa spesifikasi diantaranya adalah dengan menggunakan sensor potensiometer, batas ukurnya antara 0° sampai 90° dengan resolusi terkecil pengukuran sebesar 1° dan menggunakan power supply berupa baterai 9 volt .

## ABSTRACT

This research aims to design a prototype of a flat surface inclination measuring instrument. This device will be used to measure the inclination of floors, walls, or other inclined surfaces. The working principle of this instrument involves collecting data from the movement of a gravitational pendulum. A potentiometer acts as an angle sensor that moves due to gravitational force and remains perpendicular to the measured flat surface (in the horizontal x-y position). As the potentiometer moves, its resistance value changes. When the pendulum reaches a state of equilibrium and stops, the change in the potentiometer's resistance is measured by determining its output voltage using the voltage divider principle. This voltage serves as an input for the signal conditioning circuit, which generates a specific analog voltage. The analog voltage is then converted into digital pulses by an Analog to Digital Converter (ADC) and fed into a microcontroller. The microcontroller reads the ADC voltage, searches for the corresponding angle data in a lookup table, and displays the result on an LCD (Liquid Crystal Display). The prototype design has several specifications, including the use of a potentiometer sensor, a measurement range from 0° to 90° with a minimum resolution of 1°, and a 9-volt battery as its power supply.

## I. PENDAHULUAN

Pada saat ini manusia menuntut adanya kemudahan-kemudahan dalam menunjang pekerjaannya serta menuntut hasil yang maksimal. Seiring dengan perkembangan teknologi dan penunjang pekerjaan maka perlu diciptakan alat elektronik yang sederhana dan memberi pilihan dalam menyelesaikan pekerjaannya. Pada penelitian ini kami menciptakan prototipe alat ukur suatu kemiringan bidang secara digital dimana pengukuran adalah sesuatu yang selalu dilakukan manusia untuk mendapatkan nilai suatu besaran. Kegiatan pengukuran memberikan efek besar dalam ilmu pengetahuan, kehidupan pribadi manusia dan masyarakat dalam meningkatkan

efisiensi. Dalam era modern saat ini telah banyak berkembang peralatan canggih untuk mempeoleh data. Peranan pengukuran dalam kehidupan manusia semakin terasa vital dan imperative [1]. Alat pengukuran kemiringan bidang ini banyak diaplikasikan di berbagai bidang misalnya konstruksi, otomotif, industri manufaktur galangan kapal dan bahkan aplikasi teknologi drone dan robotika.

Mengambil contoh dalam dunia konstruksi seorang pekerja konstruksi bangunan memerlukan alat bantu pengukuran bidang untuk pekerjaan pemasangan keramik, pemasangan batu bata dan pekerjaan lainnya yang membutuhkan ketepatan dalam mengitung kemiringan/sudut agar presisi sesuai dengan apa yang diharapkan. Para pekerja kontruksi biasanya masih menggunakan waterpass manual dimana cara kerjanya dengan melihat gelembung udara yang terdapat di waterpass apakah sudah berada dalam titik keseimbangan atau belum disini di perlukan ketelitian dari pengguna untuk munghindari kesalahan yang terjadi [2]. Penggunaan waterpass manual dilakukan dengan cara sederhana, yaitu dengan menempatkan permukaan alat pada bidang yang akan diperiksa. Untuk memeriksa tingkat kerataan, perhatikan posisi gelembung cairan pada bagian tengah alat ukur. Sementara itu, untuk mengecek ketegakan, amati gelembung yang berada di ujung waterpass. Agar memastikan bahwa bidang tersebut benar-benar rata, gelembung harus berada tepat di tengah alat. Inilah yang menjadi dasar dalam pengembangan alat ukur kemiringan bidang ini guna mengurangi kesalahan dengan memanfaatkan sensor untuk mendeteksi kemiringan bidang. Ada indicator grafis yang akan menunjukkan kemiringan objek yang diukur, apabila objek yang diukur miring ke kiri maka indicator grafis akan mengikuti bergerak ke kiri. Sebaliknya, jika objek lebih cenderung miring ke kanan maka indicator grafis akan bergerak ke kanan, dan apabila permukaannya benar-benar rata, grafis akan membuat blok garis lurus kiri dan kanan .

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana mengaplikasikan hasil perancangan alat pengukuran kemiringan bidang, apakah bidang tersebut dalam kondisi datar atau miring. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan sistem simulasi waterpass otomatis guna mempermudah dalam menentukan apakah suatu bidang datar atau tegak lurus.
2. Merancang perangkat dengan memanfaatkan sensor.
3. Mewujudkan hasil perancangan dalam bentuk prototipe.

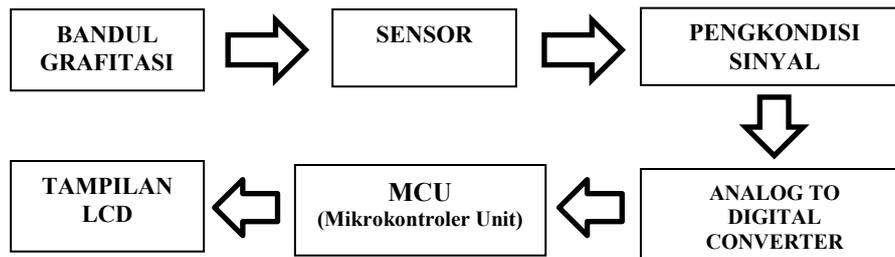
Penelitian sebelumnya dilakukan dengan menciptakan waterpass digital otomatis berbasis mikrokontroler AT-Mega16 dan modul sensor accelerometer menggunakan pemograman bahasa C [2]. Metode yang digunakan yaitu dengan menggunakan sensor accelerometer yang mendeteksi kemiringan benda berfungsi sebagai sensor yang terhubung dengan LCD. Sistem pemrosesan data menggunakan IC Mikrokontroler ATMega16 yang diprogram dengan bahasa C melalui compiler program Code Vision AVR. Sistem terhubung dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai server, dimana sistem dapat bekerja secara otomatis untuk menentukan permukaan rata atau sudut siku-siku, sehingga dapat mempermudah seseorang dalam menentukan sebuah bidang. Penelitian lainnya dilakukan dengan membuat waterpass digital dengan menggunakan sensor accelerometer berbasis mikrokontroler ATMega 8535 [3]. Mikrokontroler sebagai masukan untuk mengontrol jalannya alat dan menggunakan software baskomAVR ver2.0.7.5 yang kemudian menggunakan sensor accelerometer untuk mendeteksi besar sudut pada bidang, selanjutnya mikrokontroler akan mengubah data analog yang diterima dari sensor menjadi data digital dan ditampilkan pada LCD. Sedangkan penelitian yang penulis lakukan adalah menentukan kemiringan bidang dimana permukaan bidang tersebut dalam keadaan datar atau miring menggunakan sensor potensiometer murah harganya dan mudah didapatkan. Disamping itu penulis juga memanfaatkan rangkaian pengkondisi sinyal dalam membaca masukan dari sensor yang membuat nilai perubahan tegangan dari sensor lebih stabil.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Gambaran Umum Sistem.

Perencanaan alat ukur yang dibuat dalam penelitian ini terdiri dari beberapa blok diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 diantaranya sebagai berikut:

1. Bandul grafitasi
2. Rangkaian sensor sudut
3. Rangkaian pengkondisi sinyal
4. Rangkaian ADC
5. Rangkaian minimum mikrokontroler
6. Tampilan display LCD



Gambar 1. Blok Diagram

Dari Gambar 1 diagram blok diatas dapat dijelaskan prinsip dan cara kerjanya sebagai berikut: Data yang diolah dan ditampilkan di LCD adalah pergerakan dari pendulum/bandul gravitasi. Potensiometer digunakan sebagai transduser sudut, Ketika pendulum/bandul gravitasi bergerak karena adanya pengaruh gaya gravitasi dan selalu tegak lurus dengan bidang datar yang diukur (pada posisi horizontal x-y) untuk mencari kesetimbangan maka peristiwa ini akan menggerakkan potensiometer, pada saat potensiometer bergerak-gerak akan mengakibatkan perubahan nilai resistensinya. Pada posisi pendulum.bandul keadaan diam berhenti mencapai kesetimbangan akibat gaya gravitasi, maka pada saat ini perubahan nilai tahanan potensiometer akan diukur keluaran nilai tegangannya dengan menggunakan prinsip pembagi tegangan (*voltage divider*) sebagai masukan rangkaian pengkondisi sinyal yang menghasilkan nilai tegangan analog tertentu, kemudian dari besaran listrik analog oleh ADC diubah menjadi pulsa digital yang kemudian diteruskan ke MCU. MCU akan membaca tegangan keluaran ADC berupa pulsa diolah dan ditampilkan di LCD besaran sudut bidang yang diukur serta indikator pixel-pixel hitam bergerak mengikuti arah gerak dari ayunan matematis tersebut.

### B. Pendulum

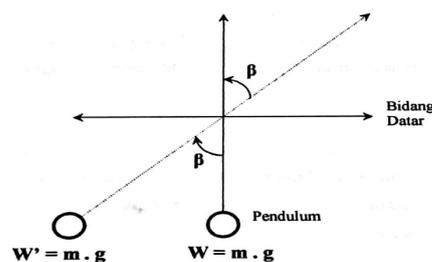
Pendulum atau ayunan sederhana dalam ilmu fisika gaya berat akan selalu menuju pusat gravitasi dan selalu tegak lurus dengan bidang datarnya. Jadi bila suatu benda dibiarkan jatuh bebas, gaya yang mempercepatnya adalah  $W$ , dan percepatan yang disebabkan oleh gaya tersebut merupakan percepatan akibat gravitasi ( $g$ ). Dimana memiliki hubungan secara umum:

$$F = m \times a$$

Karena itu, khusus dalam benda jatuh bebas, menjadi :

$$W = m \times g$$

Pendulum merupakan benda yang memiliki berat maka pendulum akan selalu menuju ke pusat gravitasi untuk mencapai kesetimbangan [4]. Melalui prinsip ini maka pendulum difungsikan sebagai pusat referensi untuk mengetahui seberapa besar sudut kemiringan yang diakibatkan suatu bidang terhadap titik referensi, seperti ilustrasi Gambar 2 yang memperlihatkan pembentukan sudut karena kemiringan bidang.



Gambar 2. Proses pembentukan sudut kemiringan bidang

Berdasarkan Gambar 2 adalah sebuah pendulum yang beratnya  $W$  bergerak dari posisi setimbang vertikal atas ke bawah, yang membentuk sudut sebesar  $\beta$  atau bidang datar tersebut dimiringkan sebesar  $\beta$  maka  $W'$  seolah-olah akan bergeser sebesar  $\beta$  menjauhi  $W$ , karena sifat gaya berat yang selalu menuju pusat gravitasi bumi. Kemudian besarnya sudut  $\beta$  akan dideteksi sebagai besar pergeseran sudut. Besaran masukan dalam sebuah sistem instrumentasi kebanyakan bukan besaran listrik maka diperlukan cara manipulasi untuk mengontrolnya. Untuk memanipulasinya diperlukan sebuah transduser. Transduser adalah suatu alat yang digerakkan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi dan akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke dalam sistem transmisi yang kedua [5]. Pada penelitian ini diperlukan transduser pasif dimana transduser tersebut memerlukan daya dari luar. Transduser pasif tersebut adalah Potensiometer.

### C. Potensiometer.

Pada perancangan dan pembuatan alat ini, potensiometer berfungsi sebagai pengukur perubahan besar sudut pada stang bandul grafitasi. Rangkaian dalam pada potensiometer ini terdiri dari beberapa resistor yang dihubungkan seri dan output dari potensiometer tersebut berupa tegangan. Perancangan alat ini menggunakan prinsip pembagi

tegangan (*voltage divider*) yang pada dasarnya ada pada komponen potensiometer yaitu komponen elektronika yang merupakan pembagi tegangan yang dapat diatur penggunaannya [6]. Ilustrasi Gambar 3.a rangkaian potensiometer dengan tiga terminal pengawatan, sumber tegangan  $E$  dihubungkan dengan sebuah resistor  $R_T$  diantara terminal  $a$  dan  $c$ , kontak geser potensiometer adaah terminal  $b$  (*disebut wiper arm*) yang bis diatur dan disesuaikan resistansinya. Nilai resistansi antara pengawatan  $a$  dan  $b$  adalah  $R_{ab}$  sedangkan nilai resistansi antara pengawatan  $a$  dan  $c$  adalah  $R_{bc}$ .

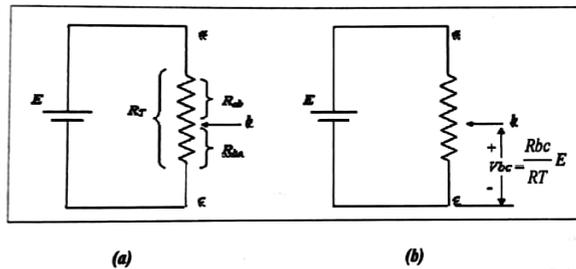
Dimanapun juga kontak pontensiometer diposisikan:

$$R_T = R_{ab} + R_{bc} \quad (2.1)$$

Gambar 3.b menunjukkan aturan pembagi tegangan pada potensiometer dapat ditetapkan untuk menghitung nilai tegangan  $V_{bc}$  dengan mengatur kontak terminal  $b$  dan teminal  $c$ , sehingga didapat:

$$V_{bc} = \frac{R_{bc}}{R_T} E \quad (2.2)$$

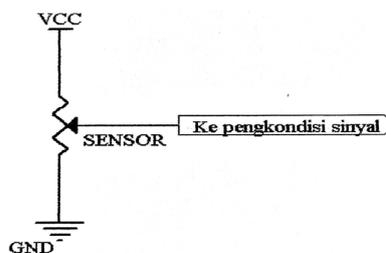
Kontak terminal  $b$  bergeser ke bawah, nilai resistansi  $R_{bc}$  berkurang dan nilai tegangan  $V_{bc}$  juga berkurang. Dari persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 makan nilai dapat ditemukan dengan menggunakan aturan pembagi tegangan [6].



Gambar 3. Potensiometer pembagi tegangan (*Voltage Divider*)

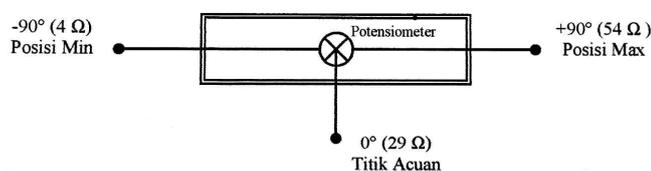
Pada perancangan ini potensiometer digunakan sebagai tranduser sudut, ketika pendulum/bandul grafitasi bergerak karena adanya pengaruh gravitasi yang selalu menuju pusat gravitasi dan selalu tegak lurus dengan bidang datar yang diukur (pada posisi horizontal x-y) untuk mencari keseimbangan maka peristiwa ini akan menggerakkan potensiometer, disaat potensiometer bergerak – gerak akan mengakibatkan perubahan nilai resistansinya.

Sensor potensiometer yang digunakan adalah potensiometer jenis Spectrol Precicion potensiometer 10 turn, 1 kilo ohm. Tranduser ini adalah sebuah tranduser pasif yang terdiri atas alat elektronik yang mengandung elemen tahanan yang dihubungkan oleh kontak mekanik yang dapat bergerak, sehingga menghasilkan suatu perubahan tahanan [7].



Gambar 4. Rangkaian sensor potensiometer

Gambar 4 menunjukkan ilustrasi potensiometer sebagai pembagi tegangan (*Voltage Devide*) yang dirancang sebagai rangkaian tranduser potensiometer. Dari karakteristik sensor diketahui ada 10 putaran, total putaran  $3600^\circ$  dengan nilai total tahanan 1 K $\Omega$  tetapi dalam perancangan ini hanya dibutuhkan setengah putaran sebesar  $180^\circ$  saja. Pada setemgah putaran atau sebesar  $180^\circ$  nilai tahanan diketahui sebesar 50  $\Omega$ , jadi untuk setiap perubahan derajat akan didapat tahanan sebesar  $50\Omega/180 = 0,277\Omega$ , nilai minimum dari posisi sensor ditetapkan 4  $\Omega$  dan maksimum sebesar 54  $\Omega$  dengan jangkauan pengukuran  $0^\circ$  sapaia  $180^\circ$ . Gambar 5 menunjukkan analogi perancangan sudut yang kan diukur.

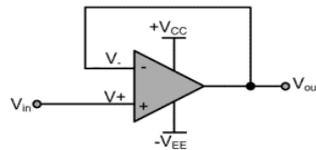


Gambar 5. Analogi posisi sudut yang akan diukur

Pada posisi minimum ( $4\Omega$ ) didapatkan tegangan sebesar  $4\Omega/1\text{ K}\Omega \times 5\text{ Volt} = 20\text{ mV}$ , pada posisi maksimum ( $54\Omega$ ) didapatkan tegangan sebesar  $54\Omega/1\text{ K}\Omega \times 5\text{ Volt} = 270\text{mV}$ , sehingga diperoleh jangkauan tegangan  $20\text{ mV}$  sampai  $270\text{ mV}$ , dimana jangkauan pengukuran yang dilakukan  $0^\circ - 180^\circ$  yang membutuhkan 180 step perubahan, maka tiap derajat terdapat perubahan tegangan sebesar  $2070\text{ mV} - 20\text{ mV} / 180 = 1,388\text{ mV}$ .

#### D. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian ini menghubungkan antara keluaran sensor potensiometer dengan masukan konversi analog ke digital (ADC) untuk memperoleh resolusi pengukuran sudut yang bisa ditanggapi oleh ADC. Pada perancangan alat ukur ini tegangan keluaran sensor potensiometer sebesar  $1,388\text{ mV}$  untuk perubahan setiap 1 derajat sudut. Untuk masukan rangkaian ADC 0804 dirancang sebesar  $20\text{ mV}$  untuk setiap perubahan tegangan masukan. Penguat penyangga merupakan penguat yang kegunaannya untuk penguatan 1 (satu satuan) tanpa pembalikan fasa [8]. Artinya sinyal keluaran (output) penguatan sefasa dengan sinyal masukan (input) penguatan yang diberikan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Bahwa penguatan dari penguat penyangga ini sama dengan satu, dimana :



Gambar 4. Penguat penyangga.  
(2.3)

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1$$

Keterangan:

$V_i$  = Tegangan Masukan

$V_o$  = Tegangan Keluaran

Keluaran rangkaian penguat penyangga ini terhubung langsung pada masukan membalik dengan tegangan masukan dikenakan pada masukan tak membalik. Resistansi umpan balik sama dengan  $R_1$ , karena itu bila diberikan umpan balik 100% maka keluaran akan mengikuti masukannya. Penguat penyangga (*buffer*) berfungsi untuk merubah tegangan pada impedansi tinggi menjadi tegangan yang sama pada impedansi rendah[8]. Karena potensiometer menghasilkan tegangan yang berubah sesuai dengan perubahan resistansinya, maka penguat penyangga ini memastikan agar sinyal tidak terpengaruh dengan pembebanan berikutnya. Output dari penguat penyangga dikuatkan lagi oleh penguat diferensial (*selisih*). Rangkaian penguat diferensial merupakan rangkaian untuk mencari selisih antara dua titik [9]. Rangkaian ini melakukan operasi diferensial antara output sensor  $E_2$ . Tegangan referensi ( $E_2$ ) ini merupakan tegangan yang digunakan untuk membuat tegangan minimum yang keluar dari sensor sebesar  $20\text{ mV}$  menjadi  $0\text{ mV}$ , untuk mempermudah penyetalan agar didapatkan  $V_0=0\text{ Volt}$  yang dijadikan tegangan jangkauan pengukuran minimum. Tegangan ini diperoleh dari pengaturan resistansi ( $Pot_2$ ) yang terhubung dengan  $R_5$  dan parallel dengan diode Zener  $Z_1$  dan  $R_6$  sehingga tegangannya dianggap sama dengan diode Zener  $3\text{ Volt}$ . Dioda Zener butuh arus reverse minimal  $10\text{ mA}$  [10], maka nilai resistansi  $R_5$  dapat ditentukan sebagai berikut:

$$R_5 = \frac{V_{\text{sumber}} - V_{\text{zener}}}{I_{\text{zener}}} = \frac{5\text{ volt} - 3\text{ volt}}{10\text{ mA}} = 200\ \Omega$$

Untuk mendapat tegangan referensi  $20\text{ mV}$ , dirancang pembagi tegangan yang disusun oleh  $R_6$  dan  $Pot_2$  disetel pada nilai resistensi :

$$V_{\text{out}} = \frac{R_6}{R_6 + Pot_2} \times V_{\text{in}}$$

$$20\text{ mV} = \frac{100\ \Omega}{100\ \Omega + Pot_2} \times 3\text{ Volt}$$

$$Pot_2 = 14900\ \Omega = 20\text{ K}\Omega$$

Jadi untuk mendapatkan nilai tegangan referensi  $20\text{ mV}$  maka  $Pot_2$  diatur pada nilai  $14900\ \Omega$ .

Selain digunakan untuk operasi selisih juga digunakan untuk operasi penguat. Besarnya penguatan ini akan ditentukan dari resolusi pengukuran kemiringan bidang yang diinginkan. Jika dalam perancangan sensor untuk setiap derajat terdapat perubahan tegangan sebesar  $1,388\text{ mV}$  dan resolusi ADC dalam perancangan diinginkan 1 LSB dari resolusi ADC 0804 dengan  $V_{\text{ref}}$  sama dengan  $5\text{ volt}$ , dengan resolusi 1 LSB adalah  $20\text{ mV}$ , agar resolusi pengukuran sudut menjadi  $1^\circ$  dan keluaran sensor ditanggapi oleh ADC sebesar 1 LSB, maka besarpenguatan adalah:

$$m = \frac{20\text{ mV}}{1,388\text{ mV}} = 14,409\text{ kali}$$

Untuk memperoleh penguatan sebesar  $14,409$  kali, sesuai dengan rumus penguatan diferensial adalah :

$$V_o = V_{o1} + V_{o2}, \text{ maka :}$$

$$V_o = \frac{mR}{R} E_2 + \left( \frac{R+mR}{R} \right) \frac{mR}{R+mR} E_1$$

$$V_o = -m E_2 + m E_1$$

$$V_o = m (E_1 - E_2)$$

Pengali  $m$  yang disebut gain deferensial, ditentukan oleh perbandingan tahanannya. Untuk nilai  $R_1 = R_3 = R$  ditetapkan sebesar  $100\Omega$ , maka akan diperoleh :

$$m = \frac{mR}{R}$$

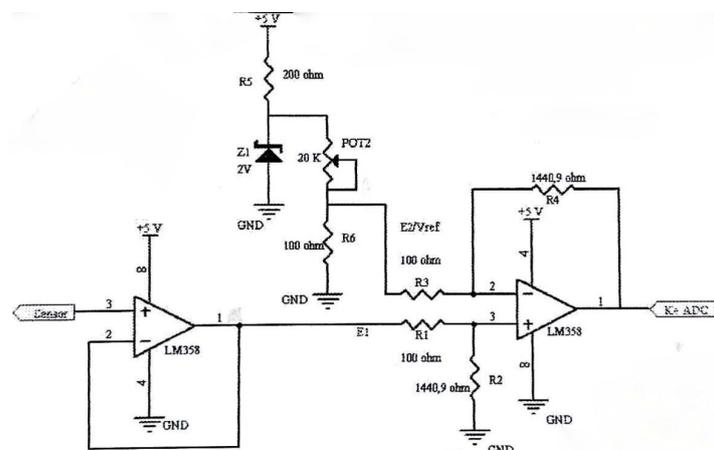
$$14,409 \text{ kali} = \frac{mR}{100 \Omega}$$

$$mR = 14,409 \times 100 \Omega$$

$$= 1440,9 \Omega$$

Sehingga nilai  $R_2$  dan  $R_4$  dapat diperoleh sebesar  $1440,9 \Omega$ .

Jadi untuk mendapatkan penguatan sebesar 14,409 kali dibutuhkan  $R_1 = R_2 = 100 \Omega$  dan  $R_3 = R_4 = mR = 1440,9 \Omega$ .  $R_2$  dan  $R_4$  disini digunakan resistor variable agar penguatannya dapat disesuaikan dengan mudah. Rangkaian pengkondisi sinyal ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

### E. Pengubah Analog ke digital

Pengubah analog ke digital (ADC) mengubah sinyal analog (*continue*) ke bentuk sinyal digital dengan pendekatan sesuai jumlah digit yang digunakan [11]. Pada prinsipnya ADC adalah menukur sinyal analog dan mengubahnya menjadi bilangan biner. Metode pengubah sinyal analog ke sinyal digital yang banyak digunakan adalah dengan menggunakan metode pendekatan berturut – turut (*Successive Approximation*).

Untuk rangkaian pengkonversi data analog ke digital ini digunakan IC ADC 0804 yang mempunyai satu jalur masukan sinyal digital analog yaitu  $V_{in} (+)$  pada pin 6 dan delapan buah keluaran yaitu (DB0-DB7) pada pin 11 – pin 19 dihubungkan pada port 1 masukan mikrokontroler [12]. Sedangkan masukan adalah keluaran sensor potensiometer, yang dihubungkan ke terminal  $V_{in} (+)$ . Pada pin CS dan RD diberi logika rendah, karena pada pin CS ini akan mengaktifkan ADC 0804 sedangkan pin RD berfungsi agar ADC secara terus-menerus melakukan pembacaan data dari pendeteksian sensor. Untuk pin WR dihubungkan ke port 3.0 dan pin INTR ke port 3.1 Mikrokontroler.

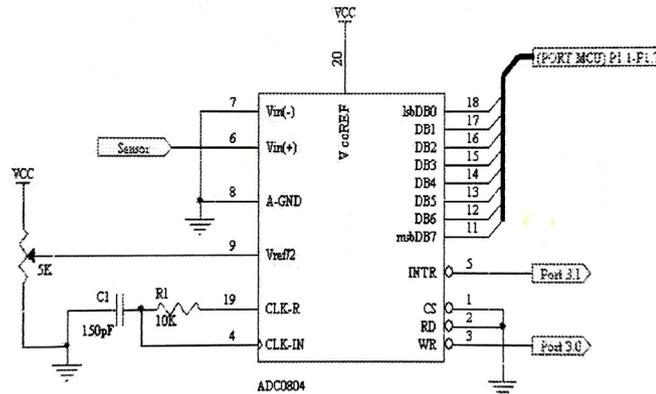
ADC ini dirancang dapat menerima masukan 0 sampai 5 volt. Untuk mengetahui kenaikan tegangan yang ada di ADC 0804 ini, dapat dilakukan dengan mengetahui tegangan maksimum yang mamou dideteksi ADC ini sebesar 5 volt, sehingga untuk menghitung resolusi setiap bit bernilai:

$$\text{Resolusi 1 bit} = \frac{\text{Tegangan skala penuh}}{255 \text{ (Banyak data per bit } 2^2-1=255)}$$

$$= \frac{5}{255}$$

$$= 19,6 \text{ m V} = 20 \text{ m V}$$

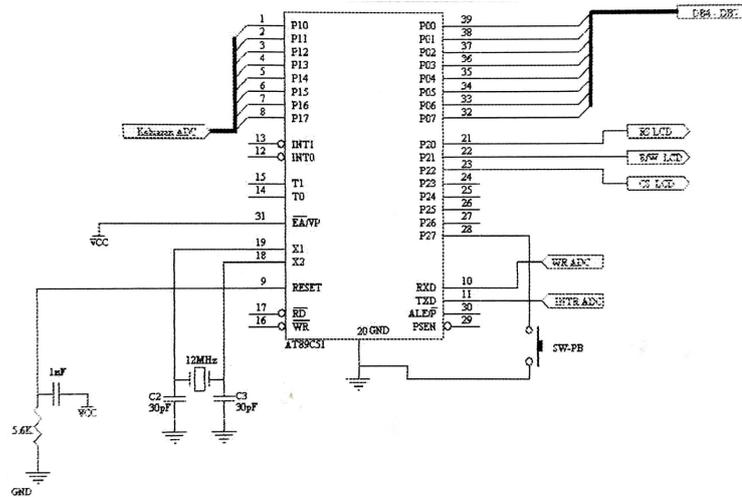
Sehingga kenaikan tegangan setiap *step* = tegangan resolusi ADC 0804 adalah sebesar  $19,6 \text{ m V} = 20 \text{ m V}$ . Perancangan rangkaian ADC 0804 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian ADC

### F. Perancangan Minimum Sistem AT89C51

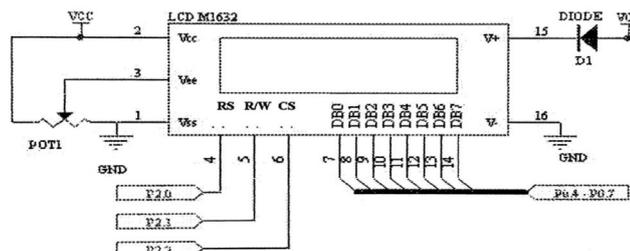
Mikrokontroler AT89C51 adalah mikrokontroler yang kompatibel penuh dengan MCS -51 yang butuh daya rendah, memiliki *performance* yang tinggi dan merupakan mikrokontroler 8 bit yang dilengkapi 4 Kbyte EPROM dan 128 byte RAM internal [13]. Mikrokontroler akan memproses masukan dan keluaran yang ada pada peralatan ini, pengontrolan tersebut dilakukan melalui pengaktifan masing-masing pin-pin pada mikrokontroler tersebut. Untuk mengaktifkan pin-pin atau port yang terdapat dalam mikrokontroler tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang ditempatkan pada *flash program memory internal enable* yang terdapat pada pin 3.1 diberi logika tinggi. Untuk mengoperasikannya, di catu dengan tegangan 5 volt pada kaki Vcc (pin 40). Pada kaki EA/Vpp dihubungkan juga ke Vcc 5 volt karena mikrokontroler yang direncanakan hanya mengakses memori internal sebesar 4 Kbyte dengan alamat 0000H – 0FFFH [14]. Perancangan mikrokontroler AT89C51 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Mikrokontroler

### G. Perancangan Antarmuka Liquid Crytas Display (LCD)

Dalam perancangan ini LCD yang digunakan *Seiko Instrument M1632* yang merupakan LCD dua baris dengan setiap barisnya terdiri dari 16 karakter dengan daya rendah [15]. Rangkaian hubungan antara LCD dengan Mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 10.



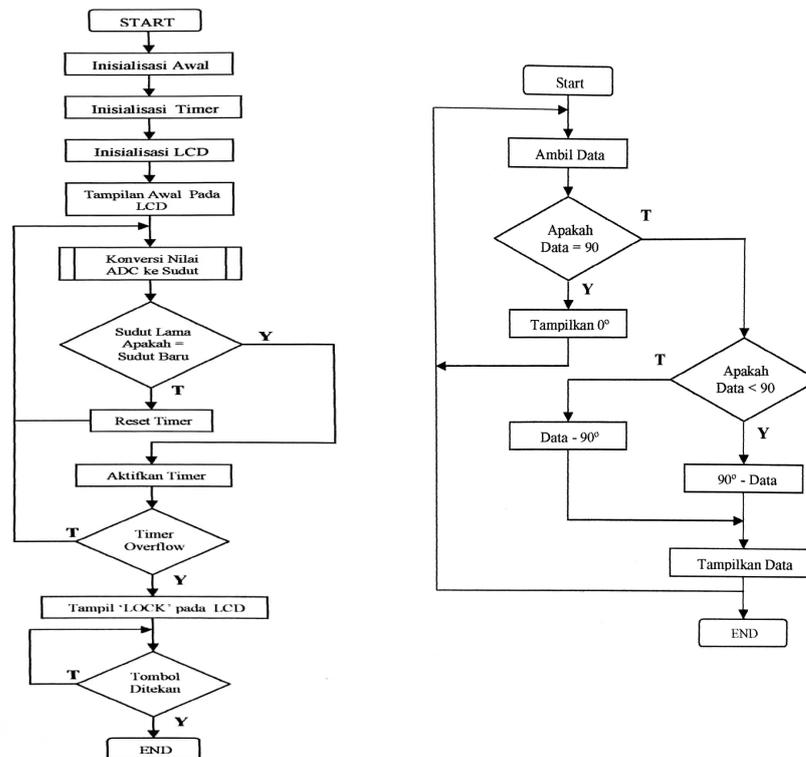
Gambar 10. Antarmuka LCD dengan mikrokontroler

LCD dot matrik ini membutuhkan sepuluh buah pin input/output pada mikrokontroler. Adapun delapan pin atau satu port input/output digunakan sebagai jalur data oleh mikrokontroler, digunakan untuk menampilkan karakter yang dikehendaki. Dua pin input/output digunakan mengendalikan proses pengiriman data ke LCD.

#### H. Software

Mikrokontroler adalah sebuah sistem berbentuk chip yang dirancang secara minimal dan berfungsi sebagai pengendali berdasarkan program yang dimasukkan ke dalamnya [16]. Program sendiri merupakan perangkat lunak yang terdiri dari serangkaian instruksi atau perintah yang tersusun secara sistematis dan dapat dijalankan untuk mengaktifkan sistem mikrokontroler. Dalam perancangan perangkat lunak ini, bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa assembly. Dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya, program yang dihasilkan oleh bahasa assembly memiliki ukuran lebih kecil. Sistem kendali jarak jauh ini memerlukan perangkat lunak dalam mikrokontroler untuk mengatur kerja perangkat keras serta menjalankan operasi aritmatika. Bahasa assembly memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahasa pemrograman lain [17]. Selain menghasilkan program dengan kecepatan lebih tinggi, kelebihan lainnya meliputi:

- Dilengkapi fungsi dan makro, fitur khas bahasa tingkat tinggi yang meningkatkan efisiensi pemrograman.
- Memungkinkan pemrograman secara modular, di mana program dapat dibagi menjadi beberapa modul kecil yang kemudian digabungkan kembali.
- Menghasilkan program berukuran lebih kecil, lebih menghemat ruang penyimpanan dalam mikrokontroler.
- Lebih dekat dengan perangkat keras, memungkinkan pemanfaatan maksimal dari seluruh kemampuan komputer. Diagram alir program utama sistem dan sub program konversi nilai ADC ke sudut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir program utama dan sub program konversi nilai ADC ke sudut

#### I. Kompilasi Program

Proses kompilasi program ASM51 tidak jauh berbeda dengan kompilasi bahasa pemrograman lainnya. Penulisan program ASM51 tidak terbatas pada media khusus, tetapi dapat dilakukan menggunakan berbagai editor seperti WordStar, Notepad, dan lainnya [18]. File program yang memiliki ekstensi **.ASM** dikompilasi menggunakan **ASM51.EXE**. Setelah dikompilasi, program akan menghasilkan tiga file, di antaranya **.lst** dan **.obj**. File dengan ekstensi **.lst** berguna untuk mendeteksi kesalahan dalam program selama proses kompilasi. Sementara itu, file dengan ekstensi **.obj** digunakan sebagai file objek yang nantinya akan dikonversi menjadi file dengan ekstensi **.HEX**.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada rangkaian penyusun sistem alat ukur ini, karena rangkaian ini akan bekerja sebagai satu kesatuan kerja yang berurutan. Instrumen yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya adalah sebagai

berikut: multimeter digital, multimeter analog, catu daya +5 Volt, LED sebagai indicator kondisi tegangan logika dari diagram blok rangkaian yang dilakukan pengujian dan pengamatan.

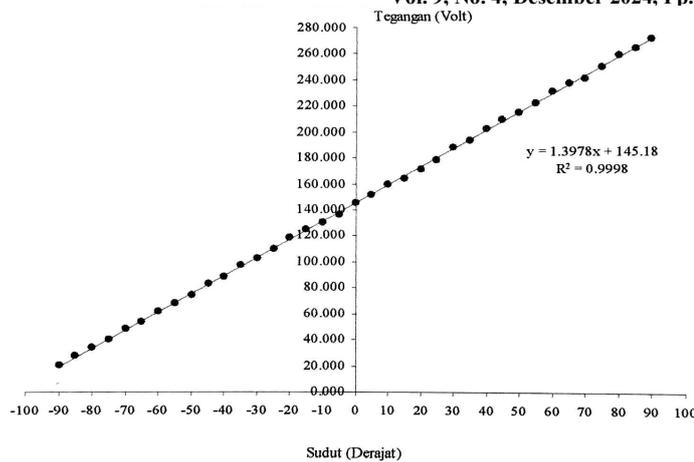
#### A. Pengujian Sensor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor potensiometer dalam mendeteksi adanya perubahan nilai resistensi yang disebabkan gerakan bandul pendulum yang mencari kesetimbangan akibat gaya gravitasi serta tegangan keluaran dari sensor tersebut. Langkahnya dengan menghubungkan rangkaian sensor dengan sumber tegangan DC yang merupakan sumber masukan sensor. Menghubungkan multimeter dengan rangkaian sensor untuk mengetahui nilai tegangan dari rangkaian, kemudian melihat dan mencatat hasil pengujian tegangan keluaran pada rangkaian sensor. Mengulangi langkah – langkah tersebut diatas dengan nilai resistensi yang berbeda. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan keluaran rangkaian sensor potensiometer yang dirancang menggunakan prinsip pembagi tegangan dan akhirnya diperoleh adanya perubahan nilai esistensi dan tegangan yang dihasilkan oleh sensor ketika nilai sudut minimum dan maksimum. Hasil pengujian rangkaian sensor dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I  
 HASIL PENGUJIAN SENSOR POTENSIOEMETER

NO	Sudut (Derajat)	Perhitungan (mVolt)	Pengukuran (mVolt)	Kesalahan (%)
1	-90	20.000	20.208	1.04
2	-85	26.944	27.400	1.69
3	-80	33.889	34.300	1.21
4	-75	40.833	40.030	1.96
5	-70	47.778	48.300	1.09
6	-65	54.722	53.900	1.50
7	-60	61.667	61.100	0.91
8	-55	68.611	67.955	0.95
9	-50	75.556	74.150	1.86
10	-45	82.500	83.150	0.79
11	-40	89.444	88.645	0.90
12	-35	96.389	97.180	0.82
13	-30	103.333	102.538	0.77
14	-25	110.278	109.400	0.79
15	-20	117.222	118.200	0.83
16	-15	124.167	124.950	0.63
17	-10	131.111	129.975	0.87
18	-5	138.056	136.750	0.95
19	0	145.000	145.472	0.33
20	5	151.944	151.300	0.42
21	10	158.889	160.000	0.69
22	15	165.833	164.050	1.08
23	20	172.778	171.650	0.65
24	25	179.722	178.100	0.90
25	30	186.667	188.172	0.80
26	35	193.611	193.100	0.26
27	40	200.556	202.000	0.72
28	45	207.500	209.750	1.08
29	50	214.444	215.050	0.28
30	55	221.389	222.275	0.40
31	60	228.333	230.765	1.06
32	65	235.278	237.525	0.95
33	70	242.222	241.100	0.46
34	75	249.167	250.085	0.37
35	80	256.056	258.405	0.89
36	85	263.056	264.000	0.36
37	90	270.000	270.880	0.33
<b>Kesalahan Rata-rata</b>				<b>0.85%</b>

Dari Tabel I dapat dibuat grafik hubungan antara perubahan sudut dan perubahan tegangan pada rangkaian sensor. Grafik hubungan antara perubahan sudut dengan perubahan tegangan pada rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik hubungan antara perubahan sudut dan tegangan pada rangkaian sensor

Analisis dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa hubungan tegangan keluaran sensor terhadap perubahan sudut terdapat penyimpangan dari hasil pengujian terhadap nilai yang diinginkan dalam perencanaan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Prosentase Kesalahan} = \frac{Vo \text{ Perhitungan} - Vo \text{ Pengukuran}}{Vo \text{ Perhitungan}} \times 100\%$$

Berdasarkan data percobaan, diperoleh kesalahan rata-rata sebesar:

$$\text{Kesalahan rata-rata} = \frac{30,157\%}{37} = 0,82 \%$$

Berdasarkan grafik Gambar 12, terdapat hubungan yang hampir linier antara perubahan sudut dan tegangan keluaran rangkaian sensor dengan koefisien determinasi = 0,9998 (mendekati 1).

### B. Pengujian Rangkaian Pengkondisi Sinyal

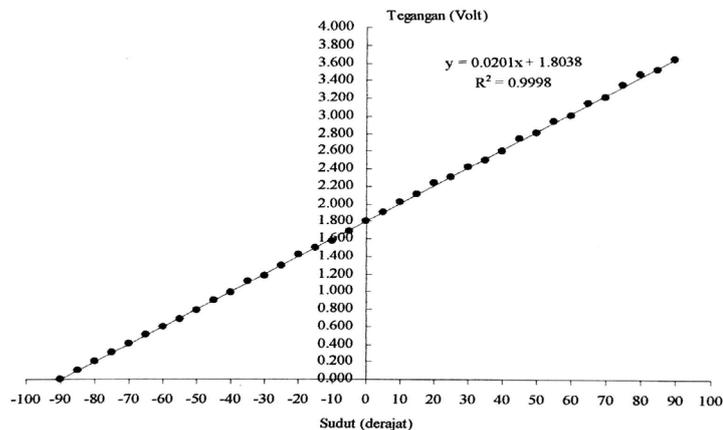
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui angkaian dalam mengkondisikan tegangan masukan serta mengetahui besarnya penguatan, apakah sesuai dengan perancangan atau karakteristik yang diinginkan. Langkah pengujian adalah dengan menghubungkan rangkaian ini dengan tegangan DC + 5Volt yang merupakan sumber tegangan masukan rangkaian pengkondisi sinyal dan diukur pada keluarannya. Pengujian ini diulangi mulai dari masukan yang kecil sampai yang maksimal. Hasil pengujian rangkaian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II.  
HASIL PENGUJIAN SENSOR POTENSIOMETER

NO	Sudut (Derajat)	Tegangan Masukan (mVolt)	Perhitungan (Volt)	Pengukuran (Volt)	Penyimpangan (%)
1	-90	20.000	0.000	0.005	-
2	-85	26.944	0.100	0.098	2.00
3	-80	33.889	0.200	0.197	1.50
4	-75	40.833	0.300	0.302	0.70
5	-70	47.778	0.400	0.405	1.30
6	-65	54.722	0.500	0.505	1.00
7	-60	61.667	0.600	0.595	0.80
8	-55	68.611	0.700	0.685	2.10
9	-50	75.556	0.800	0.790	1.30
10	-45	82.500	0.900	0.904	0.40
11	-40	89.444	1.000	0.990	1.00
12	-35	96.389	1.100	1.115	1.40
13	-30	103.333	1.200	1.195	0.40
14	-25	110.278	1.300	1.298	0.20
15	-20	117.222	1.400	1.418	1.30
16	-15	124.167	1.500	1.502	0.10
17	-10	131.111	1.600	1.580	1.30
18	-5	138.056	1.700	1.685	0.90
19	0	145.000	1.800	1.798	0.10
20	5	151.944	1.900	1.904	0.20
21	10	158.889	2.000	2.025	1.30
22	15	165.833	2.100	2.104	0.20
23	20	172.778	2.200	2.235	1.60
24	25	179.722	2.300	2.298	0.10
25	30	186.667	2.400	2.418	0.80
26	35	193.611	2.500	2.490	0.40
27	40	200.556	2.600	2.596	0.20
28	45	207.500	2.700	2.735	1.30

29	50	214.444	2.800	2.795	0.20
30	55	221.389	2.900	2.916	0.60
31	60	228.333	3.000	2.985	0.50
32	65	235.278	3.100	3.130	1.00
33	70	242.222	3.200	3.185	0.50
34	75	249.167	3.300	3.325	0.80
35	80	256.056	3.400	3.438	1.10
36	85	263.056	3.500	3.495	0.10
37	90	270.000	3.600	3.607	0.20
<b>Kesalahan Rata-rata</b>					<b>0.78%</b>

Dari Tabel II diatas dibuat grafik hubungan antara perubahan sudut dengan perubahan tegangan rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan antara perubahan sudut dan tegangan rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal yang diuji adalah rangkaian penguat diferensial yang mempunyai penguatan 14,409 Kali. Dari hasil pengujian dilihat bahwa rangkaian penguat tersebut mampu menguatkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang mendekati nilai yang direncanakan. Prosentasi kesalahan rata-rata yaitu sebesar:  $\frac{28,9\%}{37} = 0,78\%$ . Terdapat hubungan yang linier antara perubahan sudut dan perubahan tegangan keluaran dengan nilai koefisien determinan = 0.9998 (mendekati 1).

### C. Pengujian Rangkaian ADC (Analog to Digital Converter)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan ADC dalam mengkonversi tegangan analog menjadi digital. Langkah pengujiannya adalah merangkai ADC dan komponen pendukungnya dengan catu daya DC yang merupakan sumber tegangan masukan untuk diberikan ke ADC. Mengukur tegangan eferensi 2,5 Volt pada pin 9 dari ADC, menghubungkan 8 bit data digital keluaran ADC dengan rangkaian LED untuk mengamati taraf logika masing-masing bit keluaran ADC. Kemudian nilai tegangan masukan ADC secara bergantian dengan cakupan 0 – 5 Volt. Hasil pengujian dan analisa rangkaian ADC ditunjukkan dalam Tabel III.

TABEL III.  
HASIL PENGUJIAN SENSOR POTENSIOMETER

No.	Tegangan Masukan (Volt)	Keluaran Perhitungan		Keluaran Pengukuran		Kesalahan (%)
		(Biner)	(Desimal)	(Biner)	(Desimal)	
1	0	0000 000	0	0000 000	0	0
2	0,5	0001 1001	25	0001 1001	25	0
3	1	0011 0011	51	0011 0011	51	0
4	1,5	0100 1100	76	0100 1101	77	1,316
5	2	0110 0110	102	0110 0110	102	0
6	2,5	1000 0000	128	1000 0001	129	0,781
7	3	1001 1001	153	1001 1001	153	0
8	3,5	1011 0011	179	1011 0010	178	0,559
9	4	1100 1100	204	1100 1101	205	0,490
10	4,5	1110 0110	230	1110 0110	230	0
11	5	1111 1111	255	1111 1111	255	0
<b>Penyimpangan rata-rata</b>						<b>0,286%</b>

Analisa hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa ADC 0804 mampu menghasilkan data keluaran digital yang setara dengan tegangan masukan analog yang diterimanya. Besarnya kesalahan perubahan tiap bit yang terjadi dengan prosentase kesalahan rata-rata sebesar:  $\frac{3,146\%}{11} = 0,268\%$ . Adanya kesalahan hasil konversi ADC dapat disebabkan oleh tingkat akurasi komponen ADC 0804 sebesar 1 LSB dan kesalahan pengukuran [19].

#### D. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan.

Pengujian sistem secara keseluruhan adalah untuk mengetahui unjuk kerja alat setelah perangkat keras dan perangkat lunak diintegrasikan bersama – sama. Langkah pengujiannya adalah menyusun alat pengujian secara lengkap, meletakkan alat ukur pada posisi tertentu untuk mengetahui posisi kemiringan suatu bidang tertentu, menghubungkan catu daya ke alat ukur dan mencatat data yang ditampilkan LCD dan membandingkannya dengan data yang diukur secara manual. Mengulangi Langkah-langkah di atas untuk mengetahui kehandalan sistem.

Untuk melakukan pengujian sistem secara keseluruhan maka sebelumnya perlu diketahui kesalahan rata-rata yang akan menjadi acuan pada setiap hasil pengukuran yang dilakukan. Oleh sebab itu untuk mencari kesalahan relative tiap data yang diambil dengan menggunakan perhitungan sesuai dengan rumus berikut:

$$\text{Prosentase kesalahan relative} = \frac{\text{Nilai Acuan} - \text{Nilai Pengukuran}}{\text{Nilai Acuan}} \times 100\% \text{ [20].}$$

Sebagai contoh hasil pengujian saat pengukuran derajat kemiringan bidang dari penguku biasa sebesar  $10^\circ$ , dengan penunjukan derajat pada waterpass digital sebesar  $8^\circ$ , maka didapat :

$$\text{Prosentase kesalahan relatif} = \frac{10-8}{10} \times 100\% = 20\%$$

Sehingga dengan perhitungan tersebut diketahui kesalahan relative yang ada, sedangkan untuk prosentasi kebenaran dari nilai yang dijadikan acuan dapat dihitung dengan sistem pengurangan yaitu  $100\% - 20\% = 80\%$ . Dari cara tersebut, perhitungan yang sama akan diperoleh hasil sampai batas jangkauan pengukuran sudut, berikut data hasil kesalahan elatif dan prosentase ketelitian dapat dilihat dalam Tabel IV, berikut:

TABEL IV  
 PERHITUNGAN HASIL KESALAHAN RELATIF DAN PROSENTASI KETELITIAN

NO	Nilai Pengukuran (Derajat)	Nilai Acuan (Derajat)	N. Acuan – N Pengukuran (Derajat)	Ketelitian (%)	Kesalahan relative (%)
1	-90	-90	0	100	0
2	-86	-85	1	98.82	1.18
3	-81	-80	1	98.75	1.25
4	-75	-75	0	100	0
5	-69	-70	1	98.57	1.43
6	-64	-65	1	98.46	1.54
7	-62	-60	2	96.67	3.33
8	-55	-55	0	100	0
9	-50	-50	0	100	0
10	-45	-45	0	100	0
11	-41	-40	1	97.50	2.5
12	-34	-35	1	97.14	2.86
13	-31	-30	1	96.66	3.33
14	-25	-25	0	100	0
15	-19	-20	1	95	5
16	-15	-15	0	100	0
17	-11	-10	1	90	10
18	-6	-5	1	80	20
19	-4	-4	0	100	0
20	-3	-3	0	100	0
21	-2	-2	0	100	0
22	-1	-1	0	100	0
23	0	0	0	100	0
24	1	1	0	100	0
25	5	5	0	100	0
26	11	10	1	90.00	10
27	15	15	0	100	0
28	21	20	1	95.00	5
29	25	25	0	100	0
30	31	30	1	96.67	3.33
31	36	35	1	97.14	2.86
32	41	40	1	97.50	2.5
33	45	45	0	100	0
34	50	50	0	100	0
35	56	55	1	98.18	1.82
36	62	60	2	96.67	3.33
37	65	65	0	100	0
38	72	70	2	97.14	2.86
39	76	75	1	98.67	1.33
40	81	80	1	98.75	1.25
41	86	85	1	98.82	1.18
42	90	90	0	100	0
				$\Sigma$	84.7

Dari Tabel IV perhitungan hasil kesalahan relative dan prosentasi ketelitian dapat diperoleh untuk kesalahan rata-ratanya:  $\frac{JUmlah\ prosentase\ kesalahan\ relatif}{Banyaknya\ pengujian} = \frac{84,7\%}{42} = 2,016\%$

Untuk prosentase ketelitian rata-ratanya :  $100\% - 2,016\% = 97,983\%$  , Berdasarkan hasil pengujian keseluruhan sistem akan didapat kesalahan relative dan prosentasi ketelitian rata-rata ukur tersebut yang besarnya masing-masing 2,016% dan 97,98%. Nilai error tersebut masih mendekati toleransi error yang diungkapkan William D. Cooper yaitu 2% sehingga dapat dikategorikan layak pakai [21]. Nilai error tersebut kalau dibandingkan dengan alat ukur kemiringan bidang yang sudah ada memang sedikit lebih tinggi tetapi prototipe yang dirancang ini dibuat dengan biaya yang lebih murah dengan sensor potensiometer yang mudah didapatkan di pasaran. Untuk memperbaiki nilai kesalahan rata-rata perlu adanya peningkatan akurasi komponen, perlu pemilihan komponen yang lebih baik dan presisi pada sensor potensiometer, rangkaian pengkondisi sinyal, dan ADC. Alat ini memiliki jangkauan efektif pengukuran sudut  $0^\circ - 90^\circ$  arah ke kiri dan kanan. Casing box terbuat dari bahan pvc dimensi 30cm x 10cm x 15cm. Ukuran alat ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi ramping/kecil, penyangga dasar dibuat memanjang agar mudah untuk digunakan untuk mengukur kemiringan bidang. Untuk pengembangan lebih lanjut diperlukan penambahan gear box pada mekanik penyusun bandul pendulum agar mudah berputar. Fitur penyimpanan perlu ditambahkan agar data hasil pengukuran dapat disimpan lebih dahulu dan dibandingkan dengan hasil pengukuran di lokasi lainnya.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah menyelesaikan penelitian ini dan merealisasikan dalam bentuk prototipe, serta melakukan pengujian sistem maka penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan yang dapat dijadikan catatan dalam pengembangan sistem lebih lanjut. 1) Alat ukur ini dapat digunakan sebagai alat ukur kemiringan bidang menggantikan metode tradisional serta hasil pembacaan yang lebih akurat. 2) Alat ukur ini dapat digunakan dengan ring ukur sudut dari  $0^\circ$  samapai  $90^\circ$  dengan resolusi  $1^\circ$  dan berdasarkan pengujian didapatkan kesalahan relatif 2,016% dan 97,98%. 3) Alat ukur ini menggunakan sensor potensiometer, rangkaian pengkondisi sinyal, ADC dan mikrokontroler AT89C51 harga IC yang murah, mudah didapat dan menggunakan power supply dari baterai yang dianggap stabil dan praktis. 4) Kesalahan dalam pengukuran disebabkan karena penyusunan bandul pendulum yang kurang sempurna yang sebaiknya ditambah dengan *gear box* agar mudah berputar dan sensor potensiometer yang lebih sensitive.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Kalibrasi and N. Luh Tirtasari, "Indonesian Journal of Chemical Science", pp. 152, 2017 [Online]. Available; <http://journal.unnes.ac.id/su/index.php/ijcs>.
- [2] Tamsir, Nurlindasari. "Waterpass Otomatis Berbasis Mikrokontroler." *E-JURNAL JUSITI: Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Informasi* 7.2 (2018): 183-195. Available; <https://ejournal.undipa.ac.id/index.php/jusiti/article/view/253>.
- [3] Athallariqz, Muhammad Abiyu. *WATERPASS DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8535*. Diss. POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2019..
- [4] Zemansky, Mark W., and Francis W. Sears. "Fisika untuk universitas 1: mekanika, panas, dan bunyi." (1994).
- [5] Ananta Putra, R. (2024). *Pengaruh Penerapan Project Based Learning Berbasis Aplikasi Quizizz Pada Mata Kuliah sensor Transduser* (Doctoral dissertation, Universitas PGRI Madiun).
- [6] Theodore F. Bogar, Jr "Electric Circuit Second Edition" *Macmillan/MC Graw-Hill, The Univesity of Southern Mississippi*, 1992
- [7] Parung, J., Larissa, S., Santoso, A., & Prayogo, D. N. (2021). Penggunaan Teknologi Blockchain, Internet Of Things Dan Artificial Intelligence Untuk Mendukung Kota Cerdas. Studi Kasus: Supply Chain Industri Perikanan.
- [8] Ramli, M., Mamahit, D. J., & Wuwung, J. O. (2018). Rancang Bangun Sistem Pemantau Tamu Pada Smart Home Berbasis Raspberry PI 3. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(1), 1-8.
- [9] Giyantara, A., Mudeng, V., Ramadhani, R., & Wulandari, R. (2019). Analisis Rangkaian Full Wave Rectifier dengan Filter Kapasitor, Pembagi Tegangan, Buffer dan Penguat Differensial pada Sensor Arus. *SPECTA Journal of Technology*, 3(2), 1-9.
- [10] Budiharto, Widodo, M. Kom, and Sigit Firmansyah. *Elektronika Digital Dan Microprosesor*. Penerbit Andi, 2005.
- [11] Hidayat, Ian Maliq Sastra. *Rancang bangun aplikasi monitoring biopotensial listrik pada tanaman bunga chrysanthemum berbasis web*. Diss. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2014.
- [12] Santoso, H., & Suryapradana, I. (2018). Sensor Monitoring Suhu Komputer Berbasis Port Paralel Dengan Menggunakan Rangkaian IC LM35 dan ADC 0804. *Reaktom: Rekayasa Keteknikan dan Optimasi*, 3(2).
- [13] Yusup, A., Arkanuddin, M., & Sutikno, T. (2015). Perancangan Model Alat Pemotong Rumput Otomatis Berbasis Mikrokontroler AT89C51. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 1(1), 21-32.
- [14] Satria, E. (2013). Rancang bangun alat ukur kadar gula darah non-invasive berbasis mikrokontroler AT89S51 dengan mengukur tingkat kekeruhan spesimen urine menggunakan sensor fotodiode. *Jurnal Fisika Unand*, 2(1).
- [15] HUSNIADHY, Y. (2017). *PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT KERAS SISTEM PENCEGAHAN POTENSI KEBAKARAN BERDASARKAN DETEKSI KEBOCORAN GAS DAN SUHU RUANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL MELALUI ALARM* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA).
- [16] Budianto, W. (2018). Rancang Bangun Sistem Pengaman Loker Susun Berbasis Mikrokontroler. *Tugas Akhir Program Studi Komputer Kontrol, Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya*.
- [17] Ariadi, M. I. M. (2007). *TA: Digital Painting Menggunakan Air Brush Berbasis Mikrokontroler MCS-51* (Doctoral dissertation, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Teknik Komputer Surabaya).
- [18] Akbar, Hidayat. "Monitoring Suhu Dan Kelembaban Udara Serta Kecepatan Dan Arah Angin Berbasis Mikrokontroler AT89C51." (2011).

- [19] Nurraharjo, E. (2013). Analisis Model Akuisisi Data Terhadap Piranti Analog To Digital (ADC).
- [20] Dasriyani, Y., Hufri, H., & Yohandri, Y. (2016). Pembuatan set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan PC. *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1), 84-95.
- [21] Yasin, M. W. S. (2023). Rancang Bangun Viscometer Digital Dengan Pemanas Induksi Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535. *JuTEkS (Jurnal Teknik Elektro dan Sains)*, 10(1), 26-34.