

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN  
PERGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR  
ROTARY ENCODER, MIKROKONTROLER ESP32,  
MODUL RF 915MHZ DAN TAMPILAN BERBASIS  
PYTHON**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi sebagian syarat  
memperoleh derajat Sarjana S1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Hanif Fata Mustaqim

17106020033

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2022**



KEMENTERIAN AGAMA  
 UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
 FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
 Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

### PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-755/Un.02/DST/PP.00.9/04/2022

Tugas Akhir dengan judul : RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PERGESERAN TANAH  
 MENGGUNAKAN ROTARY ENCODER, MIKROKONTROLER ESP32, MODUL RF  
 915MHZ DAN TAMPILAN BERBASIS PYTHON

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HANIF FATA MUSTAQIIM  
 Nomor Induk Mahasiswa : 17106020033  
 Telah diujikan pada : Kamis, 31 Maret 2022  
 Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

#### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Kema Sidang  
 Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.  
 SIGNED

Valid ID: 624a5d85947f



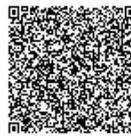
Penguji I  
 Drs. Nur Untoro, M.Si.  
 SIGNED

Valid ID: 624efca68271b



Penguji II  
 Dr. Tha'qibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.  
 SIGNED

Valid ID: 6254cc7a88362



Yogyakarta, 31 Maret 2022  
 UIN Sunan Kalijaga  
 Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
 Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
 SIGNED

Valid ID: 625655c1c7d6a



**SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan Skripsi  
Lam : -

Kepada  
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara :

Nama : Hanif Fata Mustaqiim  
NIM : 17106020033  
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PERGESERAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR ROTARU ENCODER, MIKROKONTROLER ESP32, MODUL RF 915MHZ, DAN TAMPILAN BERBASIS PYTHON

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut dia atas dapat segera dimunaqosahkan. Atas perhatian kami ucapka terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 21 Maret 2022  
Pembimbing

Erida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.  
NIP : 197805102005011003

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hanif Fata Mustaqiim  
NIM : 17106020033  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PERGESERAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR ROTARY ENCODER, MIKROKONTROLER ESP32, MODUL RF 915MHZ DAN TAMPILAN BERBASIS PYTHON” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 25 Januari 2022



Hanif Fata Mustaqiim  
NIM : 17106020033

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

“Kamu tidak perlu mengerti semua hal untuk sukses”

**- Warren Buffet –**

**Skripsi ini penulis persembahkan untuk :**

Allah SWT.

Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga.

Bapak, Ibu, dan Adik tercinta untuk setiap do“a dan kasih sayangnya.

Teman yang selalu mendukung dalam situasi apapun.

Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc.

*Study Club* Fisika Instrumentasi UIN Sunan Kalijaga.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur atas kehadiran Allah swt yang telah memberikan rahmat, nikmat, dan hidayah -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PEGERAKAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR ROTARY ENCODER, MIKROKONTROLER ESP32, MODUL RF 915MHZ DAN TAMPILAN BERBASIS PYTHON”** dengan baik dan lancar. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada beliau, Rasulullah Muhammad saw, semoga kita mendapatkan syafaatnya di yaumulqiyamah kelak. Amiin.

Penyusunan skripsi ini merupakan suatu bentuk kewajiban bagi penulis untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan serta untuk mendapatkan gelar sarjana. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang terkait demi perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan. Dalam penyusunan serta pelaksanaan tugas akhir ini penulis telah mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ummi dan Abi selaku orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan.
2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc selaku Dosen Pembimbing dalam penulisan skripsi ini, terimakasih banyak atas waktu dan kesabaran yang diberikan dalam memberikan bimbingan, nasehat, serta motivasi yang tiada henti-hentinya.
6. Seluruh Dosen Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan bimbingan beserta ilmunya.
7. Mas Angga selaku alumni Fisika yang telah membantu dalam segi materi, ide, dan ilmu dalam penelitian ini, terimakasih banyak atas ide-ide yang telah diberikan.
8. Teman-teman seperjuangan; Fatiah, Amar, Fathin, Cindy, Ayu, dan Dina yang selama ini selalu mendukung dan menghibur.
9. Teman-teman Prodi Fisika angkatan 2017 UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam serangkaian proses penulisan skripsi.

Selain ucapan terima kasih, penulis juga memohon maaf apabila dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan baik dari

sistematika penyusunan, isi, hingga proses yang telah dilaporkan ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, bagi penulis pribadi maupun bagi para pembaca.

Yogyakarta, 22 Februari 2022

Penulis

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN PERGERAKAN TANAH  
MENGUNAKAN SENSOR *ROTARY ENCODER*, MIKROKONTROLER ESP32,  
MODUL RF 915MHZ DAN TAMPILAN BERBASIS PYTHON**

**Hanif Fata Mustaqiim  
17106020033**

**INTISARI**

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya bencana tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat dan menguji sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz tampilan berbasis Python. Pada penelitian ini terdapat tiga tahapan, yaitu perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahap perancangan sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak Eagle dan Blender. Pembuatan sistem dilakukan mulai dari persiapan alat dan bahan, pembuatan perangkat keras, pembuatan perangkat lunak 1, pengambilan *dataset*, penentuan fungsi transfer, dan pembuatan perangkat lunak 2. Pengujian sistem meliputi akurasi, presisi, dan kelayakan dilakukan dengan mengambil data pergerakan tanah dengan memvariasikan jarak mulai dari 1 mm hingga 10 mm menggunakan interval 1 mm dan pengulangan sebanyak 10 kali tiap variasinya. Sistem telah berhasil dirancang, dibuat dan diuji dengan akurasi sebesar 98,842% untuk *rotary A* dan 99,990% untuk *rotary B*, presisi senilai 98,498% untuk *rotary A* dan 99,681% untuk *rotary B*, serta kelayakan *rotary A* sebesar 0,983 dan *rotary B* senilai 0,960.

**KATA KUNCI:** tanah longsor, pergerakan tanah, *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, dan modul RF 915MHz.

***DESIGN AND CONSTRUCTION OF GROUND MOVEMENTS SYSTEM USING ROTARY ENCODER SENSOR, ESP32 MICROCONTROLLER, 915MHZ RF MODULE AND PYTHON BASED DISPLAY***

**Hanif Fata Mustaqiim**  
**17106020033**

***ABSTRACT***

*This research was motivated by the number of landslide disaster. This study aimed to design, manufacture and test ground movements monitoring system using rotary encoder, ESP32 microcontroller, 915MHz RF module, and Python based display. In this research, there were three stages, namely designing, manufacturing, and testing of the ground movements monitoring system. The system design stage was carried out using Eagle and Blender software. System manufacturing started from preparation of tools and materials, hardware manufacture, software creation 1, dataset retrieval, determination of transfer function, and software creation 2. System testing included accuracy, precision, and feasibility was carried out by taking ground movements data by varying the distance ranging from 1 mm to 10 mm using 1 mm intervals and repetitions of 10 times for each variation. The system has been successfully designed, manufactured and tested with an accuracy of 98.842% for rotary A and 99.990% for rotary B, precision of 98.498% for rotary A and 99.681% for rotary B, as well as the feasibility of rotary A of 0.983 and rotary B of 0.960.*

**KEYWORDS:** *landslide, ground movements, rotary encoder, ESP32 microcontroller, and 915MHz RF module.*

## DAFTAR ISI

PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI .....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
INTISARI.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Tujuan Penelitian .....	6
D. Batasan Penelitian .....	6
E. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Studi Pustaka.....	8
B. Landasan Teori.....	14
1. Tanah Longsor.....	14
2. <i>Incremental Rotary Encoder</i> .....	15
3. <i>Rotary Encoder LPD 3806</i> .....	17
4. ESP LoLin32 Lite.....	18
5. LoRa SX1276 .....	20
6. Dioda Zener .....	22
7. Arduino IDE .....	24
8. Python.....	26
9. Fungsi Transfer.....	30

10. Karakteristik Alat Ukur .....	31
11. Wawasan Islam Tentang Bencana Tanah Longsor.....	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>38</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	38
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	38
C. Prosedur Penelitian.....	40
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>60</b>
A. Hasil Penelitian .....	60
1. Hasil Perancangan Sistem .....	60
2. Hasil Pembuatan Sistem .....	61
3. Hasil Pengujian Sistem .....	65
B. Pembahasan.....	66
1. Perancangan dan Pembuatan Sistem Pemantauan Pergerakan Tanah.....	66
2. Pengujian Sistem Pemantauan Pergerakan Tanah.....	73
3. Integrasi-Interkoneksi .....	77
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>79</b>
A. Kesimpulan .....	79
B. Saran.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>89</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1.</b> Komponen Incremental Rotary Encoder .....	15
<b>Gambar 2. 2.</b> Susunan piringan untuk incremental rotary encoder .....	16
<b>Gambar 2. 3.</b> Skema pinout dari Lolin32 Lite .....	18
<b>Gambar 2. 4.</b> Tampak LoRa SX1276 .....	20
<b>Gambar 2. 5.</b> Tampak Dioda Zener .....	22
<b>Gambar 2. 6.</b> Dioda zener dipasang secara terbalik pada rangkaian paralel (kiri) dan seri (kanan) .....	23
<b>Gambar 2. 7.</b> Logo Arduino IDE .....	24
<b>Gambar 2. 8.</b> Logo Python .....	26
<b>Gambar 3. 1.</b> Diagram blok sistem pemantauan pergerakan tanah .....	40
<b>Gambar 3. 2.</b> Diagram alir ESP32 subsistem akuisisi dan pemancar data .....	46
<b>Gambar 3. 3.</b> Diagram alir ESP32 penerima data .....	48
<b>Gambar 3. 4.</b> Diagram alir perangkat lunak tampilan berbasis Python .....	50
<b>Gambar 3. 5.</b> Hasil pengukuran sistem pergerakan tanah (pulsa) .....	52
<b>Gambar 3. 6.</b> Diagram alir perangkat lunak tampilan berbasis Python yang kedua .....	54
<b>Gambar 3. 7.</b> Hasil pengukuran sistem pergerakan tanah (panjang) .....	56
<b>Gambar 4. 1.</b> Hasil rancangan (a) subsistem akuisisi dan pemancar data, (b) subsistem penerima data, dan (c) subsistem pengolah data dan penampil hasil ....	59
<b>Gambar 4. 2.</b> Hasil skema rangkaian (a) subsistem akuisisi dan pemancar data dan (b) subsistem penerima data .....	60
<b>Gambar 4. 3.</b> Hasil pembuatan subsistem akuisisi dan pemancar data (a) dan rangkaiananya (b) .....	61
<b>Gambar 4. 4.</b> Hasil pembuatan subsistem penerima data (a) dan rangkaiananya (b) .....	62
<b>Gambar 4. 5.</b> Hasil pembuatan subsistem pengolah data dan penampil hasil ....	63
<b>Gambar 4. 6.</b> Hasil pembuatan perangkat lunak penampil .....	64
<b>Gambar 4. 1.</b> Hasil rancangan (a) subsistem akuisisi dan pemancar data, (b) subsistem penerima data, dan (c) subsistem pengolah data dan penampil hasil ....	59
<b>Gambar 4. 2.</b> Hasil skema rangkaian (a) subsistem akuisisi dan pemancar data dan (b) subsistem penerima data .....	60
<b>Gambar 4. 3.</b> Hasil pembuatan subsistem akuisisi dan pemancar data (a) dan rangkaiananya (b) .....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1.</b> Klasifikasi kerusakan yang timbul oleh pergerakan tanah.....	14
<b>Tabel 2. 2.</b> Spesifikasi <i>Rotary Encoder</i> LPD3806.....	17
<b>Tabel 2. 3.</b> Spesifikasi ESP32 LoLin32 Lite .....	19
<b>Tabel 2. 4.</b> Pin LoRa SX1276.....	20
<b>Tabel 2. 5.</b> Taraf signifikansi 5% (0,05) dan 1% (0,01).....	34
<b>Tabel 3. 1.</b> Alat perancangan sistem.....	37
<b>Tabel 3. 2.</b> Alat pembuatan sistem .....	38
<b>Tabel 3. 3.</b> Bahan pembuatan sistem .....	38
<b>Tabel 3. 4.</b> Alat pengujian sistem .....	39
<b>Tabel 3. 5.</b> Bahan pengujian sistem.....	39
<b>Tabel 3. 6.</b> Tabel Pengukuran Sistem Pergerakan Tanah (Pulsa).....	53
<b>Tabel 3. 7.</b> Tabel Pengukuran Sistem Pergerakan Tanah (Panjang) .....	57
<b>Tabel 4. 1.</b> Hasil pengujian akurasi sistem pemantauan pergerakan tanah .....	64
<b>Tabel 4. 2.</b> Hasil pengujian presisi sistem pemantauan pergerakan tanah .....	64
<b>Tabel 4. 3.</b> Hasil pengujian kelayakan alat sistem pemantauan pergerakan tanah.....	64

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Menurut info bencana oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana, setidaknya terjadi 1944 kejadian bencana di seluruh daerah Indonesia pada 1 Januari 2020 hingga 3 September 2020. Dari 1944 kejadian tersebut telah menelan jumlah korban sebanyak 272 jiwa meninggal. Pada periode tersebut telah terjadi bencana tanah longsor setidaknya 368 kali (BNPB, 2020).

Bencana tanah longsor memberikan bahaya dan ancaman bagi kehidupan manusia. Dampak dari bencana yang ditimbulkan ialah rusaknya infrastruktur, harta benda hingga dapat merenggut nyawa seseorang. Perlindungan terhadap bahaya dan ancaman bencana tanah longsor harus diprioritaskan demi keberlangsungan kehidupan masyarakat (Isnaini, 2019). Perlindungan terhadap bahaya dan ancaman bencana tanah longsor dapat dilakukan dengan cara mengamati kondisi tanah yang berpotensi terjadinya tanah longsor (Khoa dan Takayama, 2018).

Perintah untuk mengamati dan mempelajari alam semesta termasuk tanah longsor terdapat dalam beberapa ayat. Salah satu ayat yang memerintahkan hal itu adalah Q.S. Al-Ghasyiyah [88] ayat 17-20.

أَفَلَا يَنْظُرُونَ إِلَى الْإِبِلِ كَيْفَ خُلِقَتْ ۗ ۱۷ وَإِلَى السَّمَاءِ  
 كَيْفَ رُفِعَتْ ۗ ۱۸ وَإِلَى الْجِبَالِ كَيْفَ نُصِبَتْ ۗ ۱۹ وَإِلَى  
 الْأَرْضِ كَيْفَ سُطِحَتْ ۗ ۲۰

**Artinya :**“Maka tidaklah mereka memperhatikan unta, bagaimana diciptakan? dan langit, bagaimana ditinggikan? dan gunung-gunung bagaimana ditegakkan? Dan bumi bagaimana dihamparkan?” (Kementrian Agama, 2021)

Pada ayat tersebut, Allah SWT memerintahkan untuk memperhatikan ciptaan-Nya meliputi bagaimana terciptanya unta, bagaimana langit ditinggikan, gunung gunung ditegakkan, dan bagaimana bumi dihamparkan. Kata “memperhatikan” mengandung makna mempelajari dan meneliti dengan fakta dan metode tertentu sehingga mendapatkan kebenaran dan manfaatnya (Mardeli dkk, 2011). Oleh karena itu, sebagai seorang mukmin sebaiknya kita ikut mengamati ciptaan-Nya sebagai bentuk rasa nikmat dan syukur.

Pengamatan terhadap tanah yang berpotensi longsor dapat dilakukan dengan cara memantau faktor-faktor penting pada kondisi tanah (Khoa dan Takayama, 2018). Tanah longsor adalah gerakan batu ataupun tanah yang terjadi karena adanya gravitasi (Blasio, 2011). Karena tanah longsor merupakan gerakan tanah (*mass movement*), maka pemantauan gerakan tanah merupakan hal yang perlu untuk dilakukan (Zakaria, 2009). Pemantau pergerakan tanah dapat dilakukan dengan cara

mengamati secara langsung dengan mata telanjang atau menggunakan bantuan teknologi sistem pemantauan pergerakan tanah.

Sistem pemantauan pergerakan tanah telah dibuat oleh peneliti-peneliti sebelumnya menggunakan sensor LVDT; potensiometer (Priyanto dkk, 2015); *draw wire position* (Innasanti, 2018); *accelerometer*; *soil moisture* (Artha dkk, 2018) yang mana sensor-sensor tersebut masih dapat dioptimasi dengan sensor yang lebih baik. Pada tahun 2021 Cholidina menggunakan *rotary encoder* untuk membuat sistem peringatan dini. Selain itu, Cholidina menggunakan *Internet of Things* sebagai sarana telemetri. Namun sistem tersebut memiliki kelemahan yaitu memerlukan koneksi internet yang stabil, sedangkan tidak semua daerah mempunyai internet yang stabil.

Berdasarkan kelemahan sistem di atas, perlu dikembangkan sistem pemantauan menggunakan sensor yang lebih optimal. Selain itu, sistem yang dikembangkan harus tidak bergantung pada koneksi internet, mengingat tidak semua daerah memiliki koneksi internet yang stabil.

Penelitian kali ini, sistem akan dibuat menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32 dan telemetri dengan radio frekuensi. Selain itu sistem juga akan disimpan dan ditampilkan oleh komputer melalui *software* yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python.

*Rotary encoder* adalah sensor yang dapat mengukur perubahan posisi sudut. Sensor ini bekerja dengan cara mengubah perubahan posisi sudut menjadi sinyal digital berupa pulsa (Ermansyah, 2016). Sensor ini hampir digunakan diseluruh bidang robotika karena akurasi dan resolusinya yang tinggi (Dolsak, 2008).

ESP32 adalah mikrokontroler penerus ESP8266 oleh *Espressif System*. Keunggulan dari mikrokontroler ini adalah jumlah pin yang banyak, *memory* yang besar, terdapat WiFi dan Bluetooth. Selain itu keunggulan yang menjadi pokok dipilihnya mikrokontroler ini ialah arsitekturnya yang menggunakan 32bit dan CPU dengan kecepatan 160MHz. Hal ini memungkinkan mikrokontroler melakukan tugasnya dengan cepat dan merangkap berbagai tugas yang diberikan (Muliadi dkk, 2020).

Modul RF915MHz adalah perangkat yang digunakan untuk mengirim atau menerima sinyal radio. Modul RF sering digunakan untuk aplikasi pembuka garasi, sistem alarm nirkabel, dan lainlain.(Setyawan dkk, 2017). Modul ini dipilih sebagai perangkat telemetri karena harga yang cukup terjangkau dan dapat diaplikasikan pada jarak yang jauh (Firmansyah dkk, 2018).

Python adalah bahasa pemrograman yang populer digunakan untuk berbagai keperluan pembuatan perangkat lunak seperti aplikasi web dan

*videogames*. Keunggulan dari bahasa pemrograman ini ialah mudah digunakan, mudah dimengerti, *library* yang banyak, dan pendukung perangkat keras yang baik seperti IoT (Kadarina dan Hajar, 2019).

Sebelum dilakukan pembuatan sistem pemantauan pergerakan tanah, perlu dilakukan perancangan sistem terlebih dahulu. Perancangan diperlukan agar pembuatan sistem menjadi lebih baik dan mudah. Setelah perancangan selesai, maka sistem dapat dibuat berpedoman pada desain yang telah dirancang.

Setelah sistem pemantauan pergerakan tanah berhasil dibuat, diperlukan proses pengujian skala laboratorium. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa layak sistem pemantauan pergerakan tanah. Jika sistem pemantauan pergerakan tanah berhasil diuji pada skala laboratorium dengan hasil yang layak, maka sistem pemantauan pergerakan tanah dapat ditindak lanjuti dengan uji skala lapangan.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun sistem pemantauan tanah menggunakan sensor *Rotary Encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz, dan tampilan berbasis python?

2. Bagaimana karakteristik sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *Rotary Encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915 MHz, dan tampilan berbasis python yang akan dibuat?

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, Modul RF 915MHz dan tampilan berbasis *Python*.
2. Membuat sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32 Modul RF 915MHz dan tampilan berbasis *Python*.
3. Menguji sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, Modul RF 915MHz dan tampilan berbasis *Python*.

### D. Batasan Penelitian

Penelitian hanya dilakukan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Sensor yang digunakan adalah *rotary encoder* dengan jenis *incremental* dan seri LPD3806;
2. Modul RF 915MHz yang digunakan adalah SX1276;
3. Mikrokontroler ESP32 yang digunakan adalah ESP32 Lolin32 Lite
4. Pengujian dilakukan berskala laboratorium.

5. Parameter uji meliputi akurasi, presisi dan kelayakan alat;

#### **E. Manfaat Penelitian**

Penelitian hanya dilakukan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Sensor yang digunakan adalah *rotary encoder* dengan jenis *incremental* dan seri LPD3806;
2. Karakterisasi yang dilakukan untuk mencari nilai akurasi, presisi dan kelayakan alat;
3. Modul RF 915MHz yang digunakan adalah SX1276;
4. Mikrokontroler ESP32 yang digunakan adalah ESP32 Lolin32 Lite
5. Pengujian dilakukan berskala laboratorium.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Studi Pustaka**

Beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian Intrieri dkk. (2018) dengan judul *Application of An Ultra-Wide Band Sensor-Free Wireless Network for Groundmonitoring* membuat sistem pemantauan tanah menggunakan metode *wireless sensor network* (WSN) dimana beberapa titik terhubung menggunakan modul RF *ultra-wideband* (UWB) dan menghitung waktu hubung untuk menentukan jarak tiap titik. Hasil yang diperoleh adalah sistem pemantauan tanah yang telah diaplikasikan di Roncoverto, Emilia Romagna, Italia.

Relevansi penelitian ini dengan penelitian Intrieri dkk (2018) terletak pada telemetrinya dimana penelitian tersebut menggunakan modul RF. Adapun perbedaanya terletak pada metode perolehan panjang, dimana Intrieri dkk (2018) menggunakan waktu pengiriman antar titik untuk menentukan panjang.

Kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian Intrieri dkk (2018) terletak pada metode perolehan panjang. Waktu pengiriman melalui radio terkadang memiliki masalah jika terdapat halangan seperti

pohon, semak dll. Hal ini membuat waktu pengiriman menjadi tidak akurat sehingga panjang yang diperoleh juga tidak akurat. Pada penelitian ini radio hanya digunakan sebagai sarana pengiriman data, sehingga tidak akan mengganggu proses perolehan data.

2. Penelitian Innasanti (2018) dengan judul Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Pergerakan Tanah Menggunakan Arduino dengan Komunikasi Radio sebagai Peringatan Dini Bencana Tanah Longsor. Penelitian yang dilakukan yaitu membuat dan menguji sistem *monitoring* pergerakan tanah menggunakan sensor *Draw Wire Position*, Arduino Nano, RTC (*Real Time Clock*), MicroSD dan komunikasi radio VHF sebagai peringatan dini bencana tanah longsor. Hasil yang diperoleh adalah sistem *monitoring* pergerakan tanah dengan fungsi transfer sebesar  $V = 0,01967 + 0,01993d$ , akurasi sebesar 99,9998% & dan presisi sebesar 99,6009%.

Relevansi penelitian ini dengan penelitian Innasanti (2018) yaitu pada telemetri yang digunakan adalah radio. Adapun perbedaannya terdapat pada sensor, mikrokontroler, penghitung waktu, dan penyimpanan data. Sensor yang digunakan oleh Innasanti adalah *Draw Wire* sedangkan pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah *Rotary Encoder*. Mikrokontroler yang digunakan oleh Innasanti adalah Arduino Nano, sedangkan pada penelitian ini mikrokontroler yang

digunakan adalah ESP32 Wemos LoLin32 Lite. Penghitung waktu dan penyimpanan data yang digunakan oleh Innasanti adalah RTC dan MicroSD, sedangkan pada penelitian ini penghitung waktu dan penyimpanan data yang digunakan langsung terhubung dengan laptop.

Kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian Innasanti (2018) terletak pada *hardware* dan *software* yang digunakan. Hardware yang digunakan pada Innasanti menggunakan MicroSD dan RTC sebagai penyimpanan data dan penghitung waktu. Pada penelitian ini kedua hardware tersebut tidak diperlukan, dikarenakan laptop sudah dapat menggantikan dua fungsi *hardware* tersebut. Kelebihan lain dari penelitian ini adalah penggunaan bahasa pemrograman Python yang memungkinkan pemrosesan data tidak dilakukan pada mikrokontroler sehingga meringankan pekerjaan mikrokontroler dan tampilan data yang lebih bervariasi.

3. Penelitian Artha dkk. (2018) dengan judul Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor *Accelerometer* dan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Android. Pada penelitian ini NodeMcu digunakan sebagai mikrokontroler yang mampu melakukan pengiriman data secara IoT karena dapat tersambung langsung dengan internet. Sensor yang digunakan adalah MPU6050 untuk membaca pergerakan tanah dan *Soil Moisture* untuk mengetahui kelembaban

tanah. *Display* yang digunakan pada penelitian ini adalah *smartphone*. Hasil yang diperoleh adalah sistem peringatan dini bencana tanah longsor dengan nilai keberhasilan notifikasi yang berisi kondisi tebing bernilai 100%, presentase error pada sensor MPU6050 sebesar 0,42% dan sensor *Soil Moisture* sebesar 1,49%.

Relevansi penelitian ini dengan penelitian Artha dkk (2018) terletak pada objek penelitiannya yaitu pergerakan tanah. Adapun perbedaannya terdapat pada sensor, mikrokontroler dan *display* yang digunakan. Pada penelitian Artha dkk sensor yang digunakan adalah MPU6050 dan *Soil Moisture* dengan mikrokontroler NodeMCU serta tampilan *handphone*, sedangkan pada penelitian ini sensor yang digunakan adalah *Rotary Encoder* dengan mikrokontroller ESP32 serta tampilan pada laptop. Selain itu perbedaan yang lain terletak pada metode telemetrinya, dimana penelitian Artha dkk (2018) menggunakan metode IoT, sedangkan pada penelitian ini metode telemetri yang digunakan adalah modul RF 915MHz.

Kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian Artha dkk (2018) terdapat pada mikrokontroler yang digunakan. Pada penelitian Artha dkk mikrokontroler yang digunakan adalah NodeMCU yang mana NodeMCU sendiri adalah salah satu mikrokontroler jenis ESP8266. Penelitian kali ini mikrokontroler yang digunakan adalah generasi penerus ESP8266 yaitu ESP32 dengan performa yang lebih baik.

4. Penelitian Arum (2021) dengan judul Rancang Bangun dan Karakterisasi Alat Ukur Pergeseran Tanah Berbasis Sensor Rotary Encoder dan Mikrokontroler ESP32 untuk Mendukung Pendeteksian Tanah Longsor dibuat menggunakan sensor *rotary encoder* dan ESP32 yang terhubung dengan LCD sebagai penampil hasil. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah alat ukur pergeseran tanah dengan akurasi pada *rotary A* sebesar 99,97% dan *rotary B* sebesar 99,92% serta nilai presisi pada *rotary A* sebesar 97,12% dan *rotary B* sebesar 97,96%.

Relevansi penelitian ini dengan penelitian Arum (2021) terletak pada sensor yang digunakan yaitu *rotary encoder*. Selain itu relevansi lainnya terletak pada mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32. Adapun perbedaannya terletak pada penampil hasil. Arum (2021) menggunakan LED sebagai penampil hasil, sedangkan pada penelitian ini tugas penampil hasil dilakukan oleh laptop.

Kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian Arum (2021) adalah data pada penelitian ini dapat tersimpan pada laptop sedangkan penelitian Arum (2021) tidak dapat menyimpan data. Selain itu, tampilan pada penelitian ini lebih baik karena menggunakan grafik yang selalu terbaharui.

5. Penelitian Cholidina (2021) dengan judul Rancang Bangun *Early Warning System* Bencana Tanah Longsor Berbasis Sensor *Incremental*

*Rotary Encoder, Internet of Things, dan SMS Gateway* dibuat menggunakan sensor *rotary encoder*, ESP32 yang terhubung dengan ponsel melalui internet dan SMS. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah EWS bencana tanah longsor dengan tingkat keberhasilan 100%.

Relevansi penelitian ini dengan penelitian Cholidina (2021) terletak pada sensor yang digunakan yaitu *rotary encoder*. Selain itu relevansi lainya terletak pada mikrokontroler yang digunakan yaitu ESP32. Adapun perbedaanya terletak pada metode telemetri yang digunakan. Cholidina (2021) menggunakan IoT dan SMS *gateway* sebagai saran telemetri, sedangkan penelitian ini menggunakan gelombang radio.

Kelebihan penelitian ini dibandingkan penelitian Cholidina (2021) adalah saran telemetri yang digunakan. Pada daerah tertentu belum pasti terdapat internet yang memadai, oleh karena itu sistem IoT yang digunakan belum tentu berfungsi. Sedangkan gelombang radio yang digunakan pada penelitian ini bisa digunakan dimana saja.

## **B. Landasan Teori**

### **1. Tanah Longsor**

Tanah longsor didefinisikan sebagai gerakan tanah, ataupun batu karena adanya gravitasi. Supaya tanah longsor dapat dibedakan dengan gerakan massa lain yang disebabkan oleh gravitasi juga, material yang bergerak pada tanah longsor haruslah memiliki massa jenis setidaknya 10% lebih besar dari massa jenis air (Blasio, 2011).

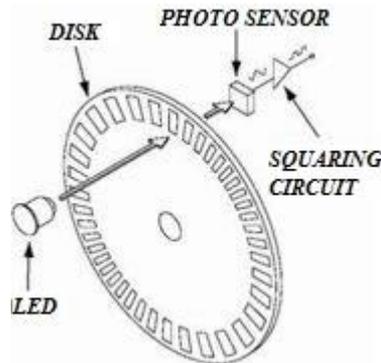
Pada tahun 2019, pergerakan tanah telah dipantau oleh Bui, dkk untuk mengklasifikasi resiko terjadinya tanah longsor. Pemantauan yang telah dilakukan pada wilayah Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta ini berhasil mengklasifikasikan pergerakan tanah dengan resiko tinggi memiliki kecepatan sebesar 0,95 mm/hari, sedangkan kecepatan tanah dengan resiko rendah memiliki kecepatan sebesar 0,095 mm/hari. Sedangkan Rotaru dkk (2007), berhasil mengklasifikasikan kerusakan yang ditimbulkan dari pergerakan tanah yang ditampilkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Klasifikasi kerusakan yang timbul oleh pergerakan tanah (Rotaru dkk, 2007)

Kecepatan Pergerakan Tanah	Dampak signifikan yang timbul
<1,6 mm/tahun	Tidak ada dampak yang nampak
1,6 mm/tahun - 1,6 m/tahun	Dampak yang terjadi tidak menimbulkan kerusakan
1,6 m/tahun - 13 m/bulan	Terjadi kerusakan pada bangunan namun dapat diperbaiki
13 m/bulan – 1,8 m/jam	Sebagian kerusakan yang terjadi pada bangunan dapat diperbaiki dan sebagian yang lain tidak dapat diperbaiki
1,8 m/jam – 3 m/menit	Kerusakan yang terjadi menyebabkan bangunan hancur namun warga dapat dievakuasi
3 m/menit – 5 m/s	Kerusakan yang terjadi menyebabkan sebagian warga kehilangan nyawa
>5 m/s	Kerusakan yang terjadi sangat tinggi sehingga banyak terjadi kehilangan nyawa

## 2. *Incremental Rotary Encoder*

*Rotary encoder* adalah salah satu sensor posisi yang digunakan untuk menentukan posisi sudut dari *shaft* yang berputar (Nedelkovski, 2016). *Incremental rotary encoder* memiliki pola standard dengan dua sensor yang diletakkan dengan perbedaan fase sebesar 90°. *Incremental rotary encoder* adalah tipe yang sering digunakan karena relatif lebih mudah digunakan, tahan pada kecepatan tinggi, dan resolusi yang lebih tinggi (Cosijns dan Jansen, 2014). Aplikasi dari *rotary encoder* meliputi produk konsumen seperti *mouse* computer hingga produk industri maju seperti mesin dan robot.

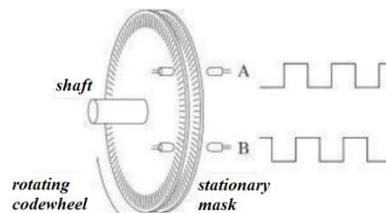


**Gambar 2.1.** Komponen *Incremental Rotary Encoder* (Ottoragam, 2015)

*Rotary encoder* memiliki beberapa komponen utama seperti gambar 2.1. yaitu LED, piringan (*disk*), sensor cahaya (*photo sensor*), *squaring circuit*, dan batangan (*shaft*). LED berfungsi untuk menghasilkan suatu cahaya, sedangkan piringan berfungsi untuk membuat cahaya yang lewat berpola melalui celah-celahnya. Sensor cahaya berfungsi untuk menangkap cahaya lalu mengubahnya menjadi sinyal listrik, sedangkan *squaring circuit* akan mengelola sinyal listrik yang dihasilkan sensor cahaya menjadi sinyal digital. Batangan digunakan sebagai pemutar piringan (Cosijns dan Jansen, 2014).

Cahaya yang dihasilkan oleh LED nantinya akan melalui celah piringan. Bila cahaya mampu melewati celah piringan, maka sensor cahaya akan mendeteksinya sebagai sinyal yang tinggi. Bila batangan diputar maka piringan ikut berputar, hal ini memungkinkan cahaya yang lewat bergantian antara melewati celah piringan atau tidak melewati celah piringan. Bila cahaya tidak mampu melalui piringan,

maka sensor cahaya tidak dapat mendeteksi adanya cahaya sehingga akan mengeluarkan sinyal yang rendah. Lalu keluaran sinyal dari sensor cahaya nantinya akan diproses lebih lanjut oleh *squaring circuit* untuk menjadi sinyal digital yang stabil seperti pada Gambar 2.2. Pola inilah yang nanti diproses untuk menentukan besar perubahan posisi sudut.



**Gambar 2.2.** Susunan piringan untuk *incremental rotary encoder*

(Virgono dkk, 2016)

### 3. *Rotary Encoder* LPD 3806

*Rotary Encoder* LPD 3806 600BM adalah sebuah *rotary encoder* yang bertipe *incremental*. *Rotary encoder* incremental memiliki sistem deteksi cahaya yang menggunakan dua sensor cahaya yang berjarak  $90^\circ$ . Piringan yang digunakan pada rotary ini memiliki celah-celah yang sederhana (Cosijns dan Jansen, 2014).

*Rotary ini* dapat mengeluarkan sinyal dengan maksimum pulsa pada satu kali putarannya sebanyak 600 pulsa. Sensor ini mampu membaca putaran hingga 5000 rpm dan menggunakan 5-24V tegangan DC. *Rotary encoder* ini memiliki empat kabel keluaran yaitu VCC,

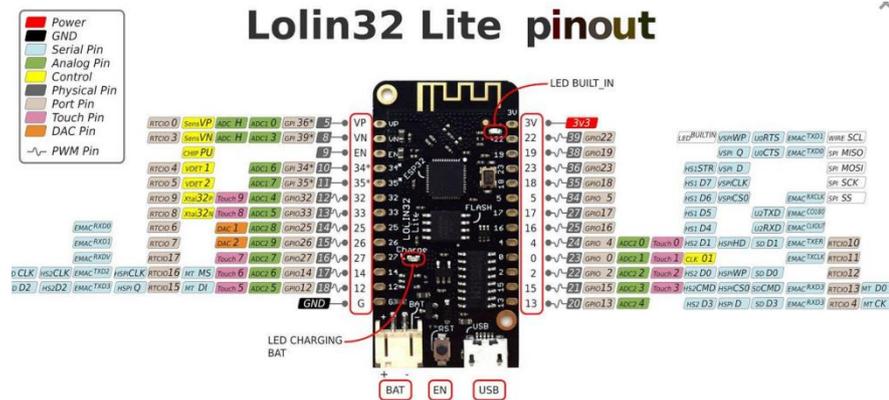
ground, data A, dan data B. Informasi lengkap tentang *rotary encoder* ini terdapat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Spesifikasi Rotary Encoder LPD3806

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Pulsa tiap putaran	600 PPM
2	<i>Output</i>	A/B sinyal kotak
3	Tegangan operasi	5-12 Volt
4	Rotasi maksimum	5000 RPM
5	Ukuran batang	6 x 13 mm
6	Ukuran keseluruhan	39 x 35,5 mm
7	Panjang kabel	1,5 meter

#### 4. ESP LoLin32 Lite

Mikrokontroler pada dasarnya adalah komputer yang terdapat mikroprosesor, memori, dan perangkat lainnya. Fungsi dari mikrokontroler adalah menerima, mengolah dan mengirim sinyal (Wahyuni, 2015). ESP32 adalah mikrokontroler yang menjadi suksesor dari mikrokontroler keluaran Espressif sebelumnya yaitu ESP8266. Mikrokontroler ESP32 juga memiliki beberapa macam versi seperti ESP32 DEV KIT DOIT, ESP32 Lolin32, Adafruit HUZZAH32, ESP32 Thing. ESP32 LoLin32 Lite sendiri adalah versi mini dari ESP32 Lolin32 dimana ia kehilangan beberapa pin supaya lebih ringkas (Santos, 2021). Tampak mikrokontroler ESP32 Lolin32 Lite dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Skema *pinout* dari LoLin32 Lite (Anwar, 2019).

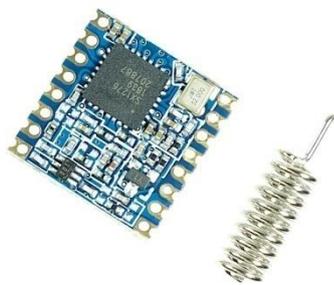
ESP32 adalah mikrokontroler yang sangat mendukung sistem berbasis IoT dengan *bluetooth* dan WiFi yang sudah terdapat di dalamnya (Muliadi dkk, 2020). ESP32 LoLin32 Lite memiliki *processors* dengan *cores* yang berjumlah 2 yang memungkinkan mikrokontroler bekerja dengan cepat. Mikrokontroler ini menggunakan tegangan 3.3V di setiap pinnya dan 5V pada konektor USB. Informasi detail mengenai spesifikasi ESP32 LoLin32 Lite dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.3.** Spesifikasi ESP32 LoLin32 Lite

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Prosesor	Tensilica Xtensa LX6 Dual Core Processor
2	WiFi	WiFi 802.11 b/g/n
3	<i>Bluetooth</i>	Bluetooth LE
4	Baterai	LiPo 500mA
5	Pin	2 x 13
6	Ukuran keseluruhan	40 x 25 mm

## 5. LoRa SX1276

Teknologi LoRa dikembangkan oleh perusahaan Prancis bernama Cycleo yang selanjutnya diambil alih oleh Semtech (Ferre, 2018). LoRa adalah kepanjangan *long range* yang berarti jarak jauh dikarenakan alat ini dapat mengirim data tanpa kabel pada jarak yang jauh mencapai lebih dari 15 km (Yunus, 2018). LoRa SX1276 adalah teknologi komunikasi *wireless* yang digunakan sebagai media komunikasi untuk menyampaikan data melalui gelombang radio. Alat ini mudah digunakan, berukuran kecil dan berdaya rendah untuk transmisi data (Dewi dkk, 2020). Alat ini merupakan sebuah *transceiver* yang berarti alat ini dapat digunakan sebagai pemancar (*transmitter*) atau sebagai penerima (*receiver*). Tampak LoRa SX1276 bersama antenanya dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Tampak LoRa SX1276.

Frekuensi yang digunakan LoRa berkisar antara 169, 915, dan 868 MHz (Ferre, 2018). Alat ini dapat mengirim data hingga 2Mb/s dengan

hanya mengkonsumsi sekitar 12 mA. LoRa SX1276 membutuhkan tegangan sebesar 3,3V untuk melakukan tugasnya dan dilengkapi sebuah antena untuk memaksimalkan kinerjanya. LoRa SX1276 memiliki 16 pin yang dipaparkan pada tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Pin LoRa SX1276 (Semtech, 2016)

No.	Nama	Keterangan	No.	Nama	Keterangan
1	DIO2	<i>I/O Digital</i>	9	GND	<i>Ground</i>
2	DIO1	<i>I/O Digital</i>	10	MISO	<i>O Data SPI</i>
3	DIO0	<i>I/O Digital</i>	11	MOSI	<i>I Data SPI</i>
4	3.3V	<i>VCC</i>	12	SCK	<i>I Clock SPI</i>
5	DIO4	<i>I/O Digital</i>	13	NSS	<i>I Chip SPI</i>
6	DIO3	<i>I/O Digital</i>	14	RESET	<i>Reset</i>
7	GND	<i>Ground</i>	15	DIO5	<i>I/O Digital</i>
8	ANA	<i>Antena</i>	16	GND	<i>Ground</i>

Input maupun output data digital dapat dihubungkan dengan pin-pin *I/O digital*. Pin MOSI (*Master Output/Slave Input*) digunakan untuk mengirim data dari *master* ke *slave*, sedangkan MISO (*Master Input/Slave Output*) digunakan untuk mengirim data dari *slave* ke *master*. Pin SCK (*Clock*) digunakan untuk pengiriman sinyal waktu, sedangkan NSS digunakan *master* untuk memilih *slave* yang akan dikirimkan datanya (Champbell, 2016). Selain itu, untuk menambah performa pengiriman, antena dihubungkan pada pin ANA.

Modul LoRa yang merupakan salah satu modul hemat energi ini menggunakan antarmuka SPI dalam jalur komunikasinya (Aroeboesman, 2019). *Serial Peripheral Interface* (SPI) menjadikan pengiriman data yang dilakukan juga mengikutkan waktu pengiriman

agar data yang sampai dapat tersinkronisasi dengan baik. SPI dilakukan dengan acuan *master-slave* dimana *master* dan *slave* dapat saling mengirim data namun hanya *master* yang mengikutkan waktu pada pengiriman datanya (Dhaker, 2018). Selain itu, teknik pengiriman yang digunakan LoRa mengikuti metode *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Hal ini memungkinkan LoRa tahan terhadap *noise* karena semua *bandwidth* yang dialokasikan digunakan untuk pengiriman data (Zourmand dkk, 2019). Pada metode *Spread Spectrum*, data yang ingin dikirim dikalikan dengan *spreading code* atau dikenal juga dengan *chip sequence* sebagai nilai *bandwidth*, sedangkan menurut teorema Shanon-Hartley apabila *bandwidth* yang digunakan dinaikkan maka *noise-to-signal ratio* akan lebih baik (Matondang, 2018).

## 6. Dioda Zener

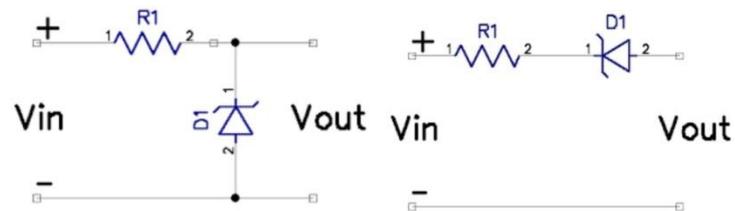
Dioda Zener adalah komponen elektronika yang dirancang khusus untuk beroperasi di rangkaian bias balik (*reverse bias*). Alat ini terbuat dari bahan semikonduktor (Purnomo, 2015). Fungsi dari alat ini ialah sebagai penstabil arus listrik, karena arus listrik akan lebih baik dalam keadaan yang stabil (Rangga, 2020). Dioda zener berbentuk seperti dioda pada umumnya, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Tampak Dioda Zener (Purnomo, 2015).

Bila dipakai pada rangkaian maju (*forward*) maka diode zener akan berfungsi seperti dioda biasa yaitu sebagai penyearah arus, sedangkan jika dipakai pada rangkaian balik (*reverse*) maka dioda zener akan dapat menahan tegangan listrik yang lewat. Rangkaian balik dioda zener dapat diterapkan pada rangkaian seri dan paralel.

Pada rangkaian seri dioda zener berlaku sebagai pengurang tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (kanan). Misalkan input suatu rangkaian sebesar 10V dan dioda zener yang dipakai 5,6 V dipasang secara terbalik, maka tegangan output akan menjadi 4,6 V. Namun pada rangkaian paralel diode zener akan berlaku sebagai pembatas tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 (kiri). Misalkan input suatu rangkaian sebesar 10V dan diode zener yang dipakai 5,6 V dipasang secara terbalik, maka tegangan output akan menjadi 5,6 V (Rangga, 2020).



**Gambar 2.6.** Dioda zener dipasang secara terbalik pada rangkaian paralel (kiri) dan seri (kanan) (Rangga, 2020).

## 7. Arduino IDE

Arduino IDE (*Intergrated Development Enviroenment*) adalah sebuah perangkat lunak yang difungsikan untuk melakukan pengembangan. Fungsi utama dari perangkat lunak ini adalah sebagai tempat untuk mengedit, menyusun dan mengunggah kode untuk mikrokontroler Arduino. Hampir seluruh Arduino cocok dengan software yang menggunakan bahasa pemrograman C dan C++ ini (Fezari dan Dahoud, 2018). Logo Arduino IDE ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Logo Arduino IDE

Ada beberapa fitur-fitur penting yang berguna pada Arduino IDE seperti *sketch*, *library*, dan lain-lain. Rincian fitur-fitur tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. *Sketch*

Penulisan program pada Arduino IDE terletak pada sebuah *sketch*. *Sketch* yang berisi kode program tersimpan dalam bentuk *file .ino*.

b. *Library*

*Library* adalah suatu fitur yang sangat berguna untuk menambahkan fungsi ekstra pada *sketch* seperti mengontrol LED ataupun membaca beberapa alat yang spesifik. Beberapa *library* sudah tergabung dalam Arduino IDE, namun untuk beberapa *library* yang belum tergabung dapat diimpor secara manual ke Arduino IDE.

c. *Upload*

Agar mikrokontroler dapat melakukan proses yang diinginkan, kode yang sudah tertulis pada *sketch* perlu diupload ke mikrokontroler.

d. *Compile*

Sebelum *sketch* program diupload ke mikrokontroler, *sketch* tersebut dicek terlebih dahulu dengan proses *compile*. Jika proses *compile* menyatakan ada suatu masalah pada penulisan *sketch* maka akan muncul sebuah dialog pada *message box* yang

menjelaskan kesalahan pada penulisan tersebut, jika tidak ada masalah maka *sketch* tersebut dapat langsung *diupload* ke mikrokontroler.

e. Serial Monitor

Untuk menampilkan data yang diinginkan, Arduino IDE sudah menyiapkan fitur yang dapat menampung tugas tersebut. Serial monitor adalah tempat dimana kita dapat menampilkan data berupa tulisan.

f. Serial Plotter

Selain menampilkan data berupa tulisan, Arduino IDE juga menyuguhkan fitur tambahan agar kita dapat menampilkan data kita yang berupa grafik. Fitur yang dapat menampilkan grafik tersebut adalah serial plotter (Nurdian, 2019).

## 8. Python

Python menjadi bahasa pemrograman yang paling populer di berbagai sektor bisnis seperti *programming*, *web development*, *machine learning* dan *data science* (Simplilearn, 2021). Hal yang menjadikan bahasa pemrograman ini populer karena mudah digunakan dan dapat digunakan pada banyak bidang seperti video game, IoT dan *website* (Kadarina, 2019). Logo Python tergambar layaknya seekor ular, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8.** Logo Python

Python dibangun pada tahun 1991 oleh Guido van Rossum yang sekarang dikembangkan oleh Python Software Foundation. Pengembangan bahasa pemrograman ini berfokus pada bahasa yang mudah dipahami dan singkat (Pramanick, 2019).

*Library* pada Python adalah sebuah kumpulan *syntax* yang terkemas sehingga memudahkan penulisan program Python untuk kebutuhan tertentu. Fitur *library* sudah tergabung pada instalasi Python, namun beberapa *library* memerlukan instalasi tambahan untuk digunakan. Beberapa *library* Python yang penting untuk *data science* dijelaskan sebagai berikut (Rezkie, 2020).

a. Matplotlib

Matplotlib adalah suatu *library* yang berfokus pada penampilan data yang berupa grafik 2D. Untuk mempresentasikan suatu data biasanya diperlukan grafik sebagai tampilan data tersebut. *Library* ini dapat membuat

suatu grafik dalam bentuk gambar yang mengacu pada data yang sedang dianalisa.

b. Pandas

Pandas adalah *library* yang banyak digunakan pada *data science* karena ia berfokus pada pengolahan data. *Library* ini dipilih karena fungsinya yang fleksibel, mudah digunakan, cepat, dan ekspresif.

c. CSV

*Comma Separated Values (CSV)* adalah format *database* yang sering digunakan untuk mengimpor dan mengekspor data. *Library CSV* memungkinkan kita untuk membaca maupun menulis data pada format CSV. Selain melalui Python, format CSV juga dapat langsung diakses melalui Excel yang juga membuat format ini populer.

d. Time

Sesuai namanya *time* yang berarti waktu, *library* ini menyuguhkan fitur-fitur yang berkaitan dengan waktu. Beberapa fitur seperti penulisan waktu sekarang untuk menentukan waktu data yang sedang diambil menjadikan *library* ini sangat berguna untuk kepentingan eksperimen.

e. Serial

Salah satu kunci pembacaan mikrokontroler Arduino oleh python adalah *library* serial. *Library* ini memungkinkan kita untuk membaca serial monitor pada *port* komputer yang biasanya dibaca oleh Arduino IDE untuk menampilkan data dari mikrokontroler.

f. Tkinter

Tkinter adalah *library* standar pada Python yang dapat membuat *Graphical User Interface* (GUI). Manusia hanya dapat melihat tampilan pada sebuah layar tanpa dapat melihat proses komputer yang sesungguhnya. GUI adalah suatu program komputer yang menghubungkan antara komputer dengan manusia menggunakan sebuah tampilan.

Python IDLE adalah sebuah aplikasi keluaran Python yang digunakan untuk menulis kode dengan efisien. IDLE adalah kepanjangan dari *Integrated Development and Learning Environmnet* yang berarti lingkungan pengembangan dan pembelajaran terpadu. Aplikasi ini sudah tergabung pada instalasi Python secara otomatis sehingga tidak perlu ada tambahan aplikasi lain untuk menulis kode Python (Neary, 2021).

## 9. Fungsi Transfer

Fungsi transfer adalah sebuah fungsi yang menghubungkan antara input dan output. Nilai keluaran yang dihasilkan hanyalah sebuah angka (tegangan, arus, kode digital, dan lain-lain) yang merepresentasikan nilai masukan.

Dalam realitanya, berbagai alat ukur memiliki karakteristik yang berbeda-beda, oleh karena itu fungsi transfernya pun juga beragam. Ada berbagai macam fungsi seperti fungsi linear, logaritma dan eksponensial. Fungsi linear adalah salah satu fungsi yang paling simpel, persamaan fungsi tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$E = A + Bs \quad (2.1)$$

E adalah variabel yang mewakili keluaran, s adalah besaran yang mewakili masukan, A adalah nilai awal atau nilai yang sama dengan E ketika nilai  $s = 0$  dan B adalah gradien atau kemiringan. Fungsi ini nantinya juga dapat digunakan sebagai panduan komputasi.

$$A = \frac{\sum S \sum s^2 - \sum s \sum sS}{k \sum s^2 - (\sum s)^2} \quad B = \frac{k \sum sS - \sum s \sum S}{k \sum s^2 - (\sum s)^2} \quad (2.2)$$

Pengukuran berulang sebanyak k dengan keluaran S pada input s dapat dijadikan suatu fungsi transfer. Persamaan 2.2 dapat digunakan untuk mencari nilai titik potong A dan kemiringan B (Fraden, 2016).

## 10. Karakteristik Alat Ukur

Alat ukur adalah alat yang digunakan untuk mengetahui harga suatu besaran atau suatu variabel (Sulistiadji dan Pitoyo, 2009). Setiap alat ukur memiliki sifat ataupun karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik tersebut salah satunya ialah akurasi, presisi, dan kelayakan alat.

### a. Akurasi

Salah satu karakteristik alat ukur yang sangat penting ialah akurasi. Akurasi adalah nilai dari seberapa dekat keluaran alat ukur dengan nilai sesungguhnya (Fraden, 2016). Pada kenyataannya, ketidakuratan lebih sering dipakai pada instrumen daripada akurasi. Ketidakuratan menunjukkan seberapa besar kesalahan yang mungkin dalam proses pembacaan (Morris, 2001).

Syarat yang dibutuhkan suatu alat ukur untuk dapat digunakan yaitu memenuhi nilai ketidakuratan atau *recovery* tidak boleh lebih dari 2%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai akurasi yang diterima atau baik harus  $\geq 98\%$  (Faridah dkk, 2018).

Untuk mendapatkan nilai akurasi suatu alat, diperlukan alat ataupun bahan acuan yang sesuai untuk dilakukan pengambilan data bersama alat ukur yang ingin diuji. Setelah data didapatkan, data tersebut perlu dilakukan pengolahan data sehingga dapat menghasilkan nilai akurasi (Riyanto, 2014).

Sebelum mencari nilai akurasi, diperlukan nilai ketidakuratan terlebih dahulu. Untuk mencari nilai ketidakuratan dapat menggunakan persamaan 2.3 dengan data alat yang akan diuji ( $X_{alat}$ ) dan alat acuan ( $X_{standar}$ ). Setelah itu, nilai ketidakuratan dapat digunakan untuk mencari nilai akurasi menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Ketidakuratan (\%)} = \left| \frac{X_{alat} - X_{standar}}{X_{standar}} \right| \times 100\% \quad (2.3)$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan (\%)} \quad (2.4)$$

b. Presisi

Presisi adalah nilai kemampuan alat untuk dapat menghasilkan keluaran yang sama dalam kondisi yang identik (Fraden, 2016). Presisi mempunyai dua jenis yaitu pengulangan (Repeatibility) dan reproduksibilitas (Reproducibility). Pengulangan (*Repeatability*) mengacu pada kedekatan keluaran pada input yang diambil pada waktu yang singkat, keadaan pengukuran yang tetap, instrumen yang sama dan pengamat yang sama. Reproduksibilitas (*Reproducibility*) menunjukkan kedekatan keluaran dengan input yang sama ketika ada perbedaan ada perubahan pada pengukuran, tempat, waktu dan pengamat yang berbeda. Jika suatu instrumen memiliki presisi yang tinggi

melakukan pembacaan yang berulang, maka hasil keluaranya akan sedikit yang menyimpang (Morris, 2001).

Suatu alat yang akan digunakan harus memiliki nilai presisi yang baik. Agar nilai presisi dapat dikatakan baik maka nilai presisi harus  $\geq 98,66\%$  (Faridah dkk, 2018).

Untuk mendapatkan nilai presisi alat harus diukur secara berulang dengan sampel yang sama. Percobaan ini dilakukan minimal 6 kali pengulangan (Riyanto, 2014).

Untuk menentukan nilai presisi dapat diwakilkan oleh nilai RSD. Nilai RSD memerlukan nilai rata-rata pengukuran  $\bar{x}$  dan standar deviasi SD. Persamaan nilai rata-rata pengukuran dapat dilihat pada persamaan 2.5. Untuk mencari nilai standar deviasi didapatkan dengan persamaan 2.6. Kedua nilai tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai %RSD dengan persamaan 2.7 dan nilai %RSD digunakan untuk mendapatkan nilai presisi menggunakan persamaan 2.8 (Riyanto, 2014).

$$\bar{x} = \frac{\sum Xn}{n} \quad (2.5)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}} \quad (2.6)$$

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2.7)$$

$$\text{Presisi} = 100\% - \%RSD \quad (2.8)$$

c. Kelayakan Alat

Menurut Waluyanti dalam Prabowo (2010), kelayakan merupakan keadaan suatu hal yang dapat dan patut digunakan. Artinya suatu alat yang dapat digunakan belum tentu layak untuk digunakan, perlu suatu standar yang digunakan untuk menyatakan kelayakan alat tersebut.

Untuk mengetahui kelayakan suatu alat dapat dilakukan uji validitas. Uji validitas dilakukan dengan cara mengkorelasikan antara nilai faktor dengan nilai total. Nilai faktor yang dimaksud adalah penjumlahan seluruh nilai pada satu faktor, sedangkan nilai total adalah penjumlahan dari seluruh nilai yang ada. Dari uji tersebut didapatkan suatu koefisien korelasi yang digunakan untuk mengukur tingkat validitas dan kelayakan alat (Wahyuni, 2014).

Dalam penentuan layak atau tidaknya suatu alat hal yang dilakukan adalah membandingkan koefisien korelasi dengan taraf signifikansi. Taraf signifikansi 0,05 (5%) digunakan sebagai batas penentuan kelayakan alat. Jika koefisien korelasi ( $r_{hitung}$ ) lebih besar dari taraf signifikansi ( $r_{tabel}$ ), maka alat tersebut dapat dinyatakan layak digunakan.

N	Taraf Signifikansi		N	Taraf Signifikansi	
	5 %	1 %		5 %	1 %
3	0,997	0,999	38	0,320	0,413
4	0,950	0,990	39	0,316	0,408
5	0,878	0,959	40	0,312	0,403
6	0,811	0,917	41	0,308	0,398
7	0,754	0,874	42	0,304	0,393
8	0,707	0,834	43	0,301	0,389
9	0,666	0,798	44	0,297	0,384
10	0,632	0,765	45	0,294	0,380
11	0,602	0,735	46	0,291	0,376
12	0,576	0,708	47	0,288	0,372
13	0,553	0,684	48	0,284	0,368
14	0,532	0,661	49	0,281	0,364
15	0,514	0,641	50	0,279	0,361
16	0,497	0,623	55	0,266	0,345
17	0,482	0,606	60	0,254	0,330
18	0,468	0,590	65	0,244	0,317
19	0,456	0,575	70	0,235	0,306
20	0,444	0,561	75	0,227	0,296
21	0,433	0,549	80	0,220	0,286
22	0,423	0,537	85	0,213	0,278
23	0,413	0,526	90	0,207	0,270
24	0,404	0,515	95	0,202	0,263
25	0,396	0,505	100	0,195	0,256
26	0,388	0,496	125	0,176	0,230
27	0,381	0,487	150	0,159	0,210
28	0,374	0,478	175	0,148	0,194
29	0,367	0,470	200	0,138	0,181
30	0,361	0,463	300	0,113	0,148
31	0,355	0,456	400	0,098	0,128
32	0,349	0,449	500	0,088	0,115
33	0,344	0,442	600	0,080	0,105
34	0,339	0,436	700	0,074	0,097
35	0,334	0,430	800	0,070	0,091
36	0,329	0,424	900	0,065	0,086
37	0,325	0,418	1000	0,062	0,081

**Tabel 2.5.** Taraf signifikansi 5% (0,05) dan 1% (0,01).

Untuk menentukan nilai  $r_{\text{tabel}}$ , kita memerlukan jumlah pengulangan pengukuran ( $n$ ) dan taraf signifikansi yang dikehendaki, lalu mencari nilai tersebut pada tabel 2.5. Setelah  $r_{\text{tabel}}$  didapatkan, kita memerlukan nilai  $r_{\text{hitung}}$  yang didapatkan menggunakan rumus korelasi *product moment* pada persamaan 2.8. Nilai keluaran alat dinyatakan sebagai  $x$ , sedangkan keluaran alat standar sebagai  $y$ . Jika nilai  $r_{\text{tabel}}$  dan  $r_{\text{hitung}}$  didapatkan, maka dilakukan perbandingan antara keduanya. Alat dinyatakan layak bila perbandingan tersebut memenuhi  $r_{\text{hitung}} > r_{\text{tabel}}$ , sedangkan jika

tidak terpenuhi maka alat dinyatakan tidak layak (Wahyuni, 2014).

$$r_{\text{hitung}} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2.9)$$

## 11. Wawasan Islam Tentang Bencana Tanah Longsor

Bencana dalam wawasan Islam memiliki berbagai makna antara lain yaitu musibah (QS. asy-Syura: 30), bala' atau ujian (QS. al-Mulk: 2) dan fitnah (QS. al-Anbiya: 35). Kata musibah sendiri diulang dalam Al-Qur'an sebanyak 60 kali (Hakim, 2013). Kata musibah yang dalam bahasa arab dinyatakan sebagai segala hal yang tidak disukai yang menimpa seseorang mempunyai dua makna dalam bahasa Indonesia yaitu kejadian menyedihkan yang menimpa dan mala petaka. Dari pengertian tersebut bencana tanah longsor termasuk sebuah musibah karena merupakan sesuatu yang tidak disukai dan menimpa seseorang (Hidayatullah, 2009).

Bencana adalah sebuah sunnatullah yang berlangsung karena konsekuensi dari kombinasi aktivitas alami dan aktivitas manusia (Hakim, 2013). Sunnatullah dapat diartikan sebagai cara Allah memperlakukan manusia, yang dalam arti luasnya bermakna ketetapan-ketetapan atau hukum-hukum Allah SWT yang berlaku untuk alam semesta dan bersifat tetap atau tidak pernah mengalami

perubahan seperti pada QS. al-Fath: 23 (Hidayati, 2015).

سُنَّةَ اللَّهِ الَّتِي قَدْ خَلَتْ مِنْ قَبْلُ وَلَنْ تَجِدَ لِسُنَّةِ اللَّهِ تَبْدِيلًا – ٢٣

**Artinya:**”(Demikianlah) hukum Allah, yang telah berlaku sejak dahulu, kamu sekali-kali tidak akan menemukan perubahan pada hukum Allah itu.” (Kementrian Agama, 2021).

Penyebab utama tanah longsor ialah gravitasi bumi yang menyebabkan tanah bergerak ke tempat yang lebih rendah. Gravitasi sendiri adalah suatu ketetapan alam yang sudah ada sejak dahulu, hal ini menandakan bahwa gravitasi juga suatu ketetapan Allah SWT.

Menurut QS. ar-Rum: 41 bencana yang terjadi di daratan dan lautan merupakan ulah manusia (Hakim, 2013). Firman Allah di ayat tersebut sebagai berikut.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ

الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ – ٤١

**Artinya:**” Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” (Kementrian Agama, 2021).

Jadi selain penyebab alami, tanah longsor juga disebabkan oleh perilaku manusia seperti penggunaan lahan yang tidak sesuai (Muda dkk, 2018). Hal ini dikehendaki oleh Allah SWT supaya kita senantiasa kembali memperhatikan lingkungan kita.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Waktu : Agustus s.d. September 2021

Tempat : 1. Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi  
Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.  
2. Kontrakan peneliti dengan alamat Tamanan,  
Banguntapan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

#### **B. Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian yaitu perancangan, pembuatan dan pengujian sistem. Alat perancangan tertera pada tabel 3.1, alat pembuatan tertera pada tabel 3.2, sedangkan bahan pembuatannya tertera pada tabel 3.3. Adapun alat pengujian tertera pada tabel 3.4, sedangkan bahannya tertera pada tabel 3.5.

**Tabel 3.1.** Alat perancangan sistem

No	Nama Alat	Jumlah
1.	Laptop HP Pavilion g series AMD A4-3305 APU	1 buah
2.	Perangkat lunak Blender	1 set
3.	Perangkat lunak Eagle	1 set

**Tabel 3.2.** Alat pembuatan sistem

No	Nama Alat	Jumlah
1.	Solder	1 buah
2.	Tang	1 buah
3.	<i>Cutter</i>	1 buah
4.	Gergaji Besi	1 buah
5.	Multimeter	1 buah
6.	Bor Meja	1 buah
7.	Gunting	1 buah
8.	Obeng	1 buah
9.	Perangkat lunak IDLE	1 set
10.	Python 3.8	1 set
11.	Perangkat lunak Arduino	1 set
12.	IDE	1 buah
13.	Las	1 buah
14.	Mistar	1 buah
15.	Laptop HP Pavilion g series AMD A4-3305 APU	1 buah

**Tabel 3.3.** Bahan pembuatan sistem

No	Nama Bahan	Jumlah
1.	Incremental <i>Rotary</i> <i>Encoder</i> LPD3806	2 buah
2.	ESP32 Lolin32 Lite	2 buah
3.	Modul LoRa SX1276	2 buah
4.	Dioda Zener	4 buah
5.	Adaptor	1 buah
6.	Kabel USB	3 buah
7.	Papan PCB	1 buah
8.	Benang	1 buah
9.	Kabel	secukupnya
10.	Tenol	1 buah
11.	Kotak Hitam	2 buah
12.	Lem Tembak	1 buah
13.	Besi	2 meter
14.	USB <i>male</i>	2 buah
15.	USB <i>female</i>	2 buah
16.	Pemberat	2 buah
17.	As besi	2 buah
18.	<i>Pulley</i>	2 buah
19.	<i>Shaft coupling</i>	2 buah
20.	<i>Bearing</i>	4 buah
21.	Mur	8 buah

22.	Baut	8 buah
23.	Skrup	4 buah

**Tabel 3.4.** Alat pengujian sistem

No	Nama Alat	Jumlah
1.	Seperangkat sistem pemantauan pergerakan tanah yang telah dibuat	1 set
2.	Mistar	1 buah
3.	Palu	1 buah
4.	Multimeter	1 buah

**Tabel 3.5.** Bahan pengujian sistem

No	Nama Bahan	Jumlah
1.	Paku	1 buah
2.	Kayu Balok	1 buah

### C. Prosedur Penelitian

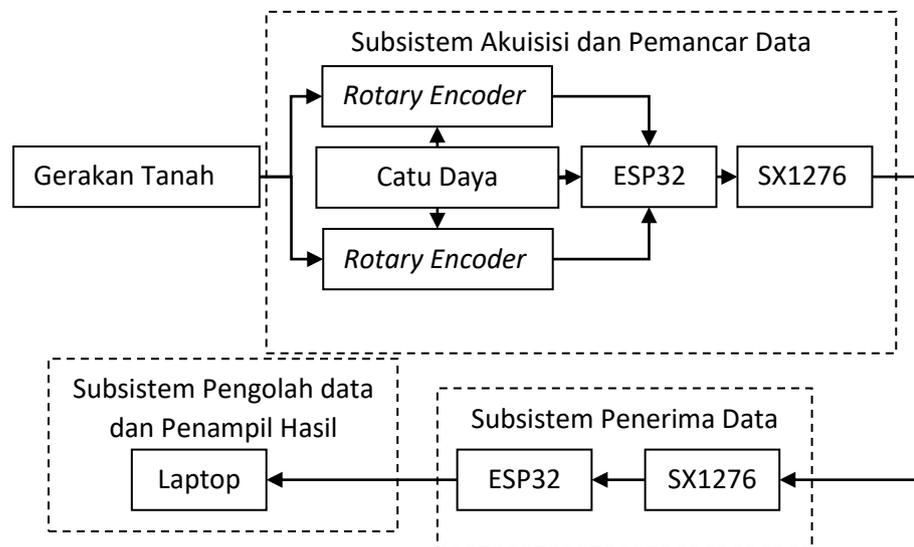
Prosedur penelitian yang telah dilakukan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem. Ketiga tahapan tersebut diuraikan secara rinci sebagai berikut.

#### 1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem yang telah dilakukan berfungsi untuk mendapatkan suatu rancangan sistem. Tahapan ini telah menghasilkan empat rancangan dalam bentuk gambar yaitu desain subsistem sumber sinyal dan skema rangkaianya serta desain subsistem pengolah sinyal dan skema rangkaianya. Desain dan

skema rangkaian tersebut digunakan pada proses pembuatan sistem untuk memudahkan dan meminimalisir kesalahan.

Perancangan sistem yang telah dilakukan menggunakan laptop dengan perangkat lunak Blender dan Eagle. Blender digunakan untuk merancang desain dua subsistem, sedangkan Eagle digunakan untuk membuat skema rangkaiannya. Rancangan sistem yang telah dibuat didasarkan diagram blok yang tertuang pada Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1.** Diagram blok sistem pemantauan pergerakan tanah

Subsistem akuisisi daya dan pemancar berfungsi untuk mengubah suatu gerakan menjadi pulsa dan mengirimkan pulsa itu melalui gelombang radio. Agar *rotary encoder* dan ESP32 dapat berkerja, catu daya memberikan tegangan listrik kepada kedua komponen tersebut selama proses pembacaan. *Rotary encoder*

mengubah pergerakan menjadi pulsa. Lalu pulsa yang dihasilkan masuk ke ESP32 yang mana pulsa itu diteruskan oleh ESP32 untuk dikirimkan melalui SX1276 menjadi gelombang radio.

Pada subsistem penerima data, SX1276 diperintahkan oleh ESP32 agar dapat menangkap data yang dikirimkan melalui gelombang radio. Lalu data tersebut diterima ESP32 dan dikirimkan ke laptop pada subsistem pengolah data dan penampil hasil untuk diproses lebih lanjut. Pada laptop data diolah, disimpan, dan ditampilkan menggunakan perangkat lunak Python.

## 2. Pembuatan Sistem

Tujuan tahapan ini adalah membuat sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahapan ini telah menghasilkan seperangkat sistem pemantauan pergerakan tanah.

Pada tahap ini, pembuatan sistem yang telah dibuat mengacu pada desain dan skema rangkaian yang telah dibuat sebelumnya. Tahapan ini terbagi menjadi enam proses yaitu persiapan alat dan bahan, pembuatan perangkat keras, pembuatan perangkat lunak, pengambilan *dataset*, penentuan fungsi transfer, dan pembuatan perangkat lunak 2. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

a) Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan ini bertujuan untuk menyiapkan seluruh alat dan bahan yang digunakan untuk membuat sistem. Tahapan ini telah dilakukan sehingga tersedianya alat dan bahan yang diperlukan.

Alat pembuatan sistem telah disiapkan sesuai Tabel 3.2. Sementara itu, bahan yang digunakan telah disiapkan sesuai Tabel 3.3.

b) Pembuatan Perangkat Keras

Tahapan ini bertujuan untuk membuat perangkat keras sistem pemantauan pergerakan tanah. Hasil dari tahapan ini ialah seperangkat sistem pemantauan pergerakan tanah.

Perangkat keras telah dibuat berdasarkan desain dan skema rangkaian yang telah dibuat. Proses pada tahapan ini melalui dua langkah yaitu pembuatan subsistem sumber sinyal dan pengolah sinyal. Kedua langkah tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1) Pembuatan subsistem akuisisi dan pemancar data

Tahapan ini bertujuan untuk membuat subsistem akuisisi dan pemancar data. Tahapan ini telah menghasilkan seperangkat subsistem akuisisi dan pemancar data.

Besi digergaji menggunakan gergaji besi dan dihubungkan menggunakan las sesuai desain subsistem sumber sinyal yang telah dirancang. Setelah besi tersusun, *Rotary encoder* disusun pada susunan besi tersebut. ESP32 dan SX1276 disusun pada PCB menggunakan solder dan tenol sesuai dengan skema rangkaian. Pada ujung kabel *rotary encoder* dipasang USB *male*, sedangkan ESP32 dipasang USB *female* dengan menggunakan kabel. Kedua USB ini nantinya dihubungkan jika sistem akan dipakai. Pada *rotary encoder* nantinya akan dihubungkan dengan benang yang sudah terhubung dengan pemberat. Pemberat digunakan agar benang tetap tegang. *Rotary encoder* ditutup menggunakan kotak hitam yang disesuaikan dengan membuat lubang agar benang dapat melaluinya, sedangkan ESP32 dan SX1276 yang tersusun juga ditutup menggunakan kotak hitam yang disesuaikan sehingga USB *female* dapat terpasang pada kotak hitam.

## 2) Pembuatan subsistem penerima data

Tahapan ini bertujuan untuk membuat subsistem penerima data. Tahapan ini telah menghasilkan seperangkat subsistem penerima data yang dapat menerima sinyal radio.

ESP32 dan SX1276 dipasang pada PCB menggunakan solder dan tenol sesuai dengan skema rangkaian. Lalu ESP32 dan SX1276 yang sudah tersusun ditutup menggunakan kotak hitam. Kabel USB dipasang pada ESP32 sebagai sarana pengiriman data ke subsistem pengolah data dan penampil hasil.

### 3) Pembuatan subsistem pengolah data dan penampil hasil

Tahapan ini bertujuan untuk membuat subsistem pengolah data dan penampil hasil. Tahapan ini telah menghasilkan seperangkat subsistem pengolah data dan penampil hasil.

Kabel USB dari subsistem penerima data dihubungkan ke laptop. Data yang diterima laptop selanjutnya diolah, disimpan, dan ditampilkan hasilnya.

### c) Pembuatan Perangkat Lunak 1

Tahapan ini bertujuan untuk membuat perangkat lunak sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahapan ini telah menghasilkan tiga perangkat lunak yaitu perangkat lunak ESP32 akuisisi dan pemancar data, ESP32 penerima data, dan

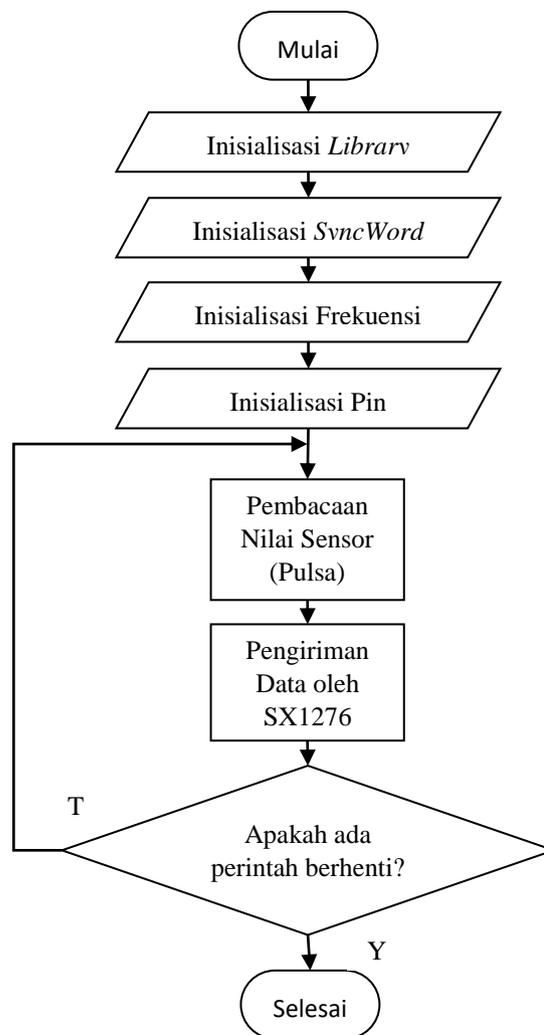
penampil berbasis Python. Manfaat dari tahapan ini ialah melengkapi kerja perangkat keras agar dapat berkerja dengan benar.

Pembuatan perangkat lunak ini terbagi menjadi tiga tahapan yaitu pembuatan perangkat lunak ESP32 akuisisi dan pemancar data, ESP32 penerima data, dan penampil berbasis Python. Secara rinci pembuatan perangkat lunak tersebut dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Pembuatan perangkat lunak ESP32 akuisisi dan pemancar data

Tahapan ini bertujuan untuk membuat perangkat lunak dasar algoritma ESP32 pada subsistem akuisisi dan pemancar data. Tahapan ini telah menghasilkan perangkat lunak yang digunakan pada ESP32 subsistem akuisisi dan pemancar data.

Penulisan perangkat lunak ini menggunakan laptop dengan perangkat lunak Arduino IDE. Penulisan ini mengikuti diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Diagram alir ESP32 subsistem akuisisi dan pemancar data

Inisialisasi *library* dilakukan dengan memasukkan berbagai *library* yang dibutuhkan untuk menulis *sketch*. Agar pengiriman data oleh SX1276 aman, maka pengiriman tersebut diamankan dengan memasukkan

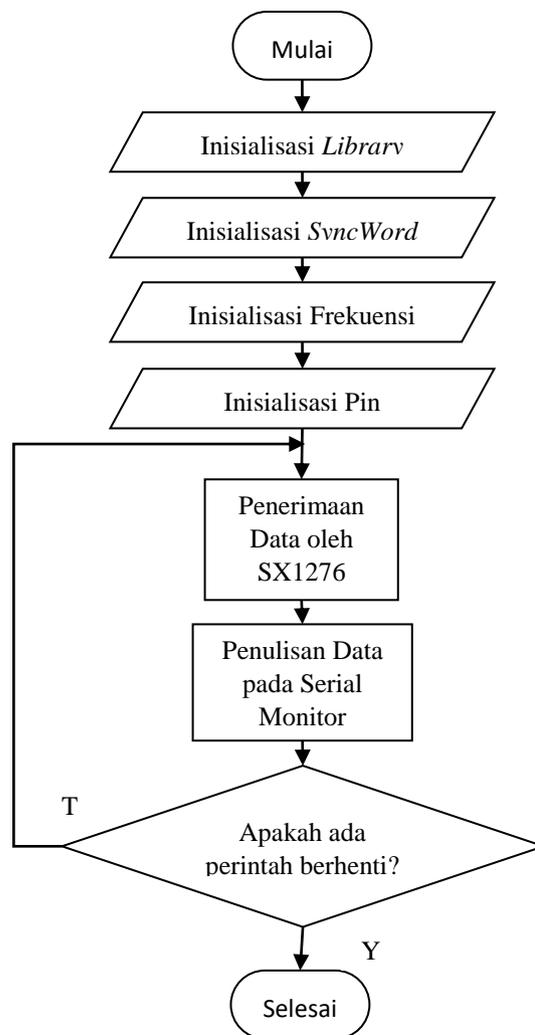
*SyncWord* yang berfungsi layaknya kata sandi. Pengiriman data melalui radio, frekuensinya diserasikan antara pengirim dan penerima. Oleh karena itu, insialisasi frekuensi dilakukan untuk menentukan frekuensi yang digunakan. Berbagai pin yang digunakan pada ESP32 dipersiapkan melalui inisialisasi pin.

Setelah semua persiapan program dilakukan, barulah proses utama dijalankan. Pada program ini ESP32 membaca sinyal yang diberikan oleh *rotary encoder* yang berupa jumlah pulsa. Lalu jumlah pulsa yang terbaca dikirimkan melalui radio oleh SX1276. Proses ini dilakukan berulang secara terus menerus hingga ada perintah untuk berhenti.

## 2) Pembuatan perangkat lunak ESP32 penerima data

Tahapan ini bertujuan membuat perangkat lunak ESP32 penerima data. Tahapan ini telah menghasilkan suatu perangkat lunak ESP32 penerima data yang siap diunggah.

Penulisan perangkat lunak ini menggunakan laptop dengan perangkat lunak Arduino IDE. Penulisan perangkat lunak ini mengikuti diagram alir Gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Diagram alir ESP32 penerima data

Inisialisasi *library* dilakukan dengan memasukkan berbagai *library* yang dibutuhkan dalam penulisan *sketch*. Penerimaan data melalui SX1276 menggunakan *SyncWord* yang sama dengan *SyncWord* pengirim. Frekuensi yang diterima diserasikan dengan frekuensi pengirim. Berbagai

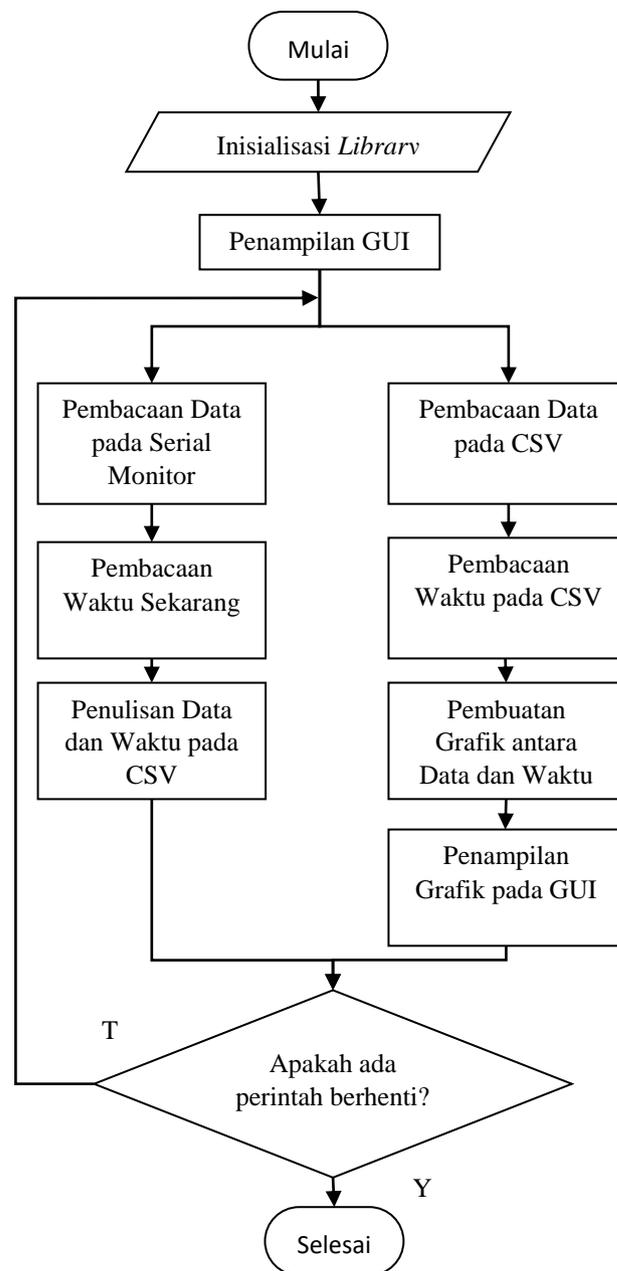
pin yang digunakan pada ESP32 dipersiapkan melalui inisialisasi pin.

Pada proses utama, data yang dikirimkan dideteksi oleh SX1276. Selanjutnya data tersebut dikirimkan ke serial monitor yang ada pada laptop, sehingga data tersebut diproses lebih lanjut oleh laptop. Proses utama ini dilakukan terus menerus hingga ada perintah berhenti.

### 3) Pembuatan perangkat lunak penampil data

Tahapan ini bertujuan untuk membuat perangkat lunak penampil data pada laptop. Tahapan ini telah menghasilkan sebuah perangkat lunak yang dapat menerima, memproses, dan menampilkan data jumlah pulsa. Manfaat dari tahapan ini ialah memudahkan pengguna dalam melihat data.

Pembuatan perangkat lunak ini dilakukan menggunakan laptop dengan perangkat lunak Python IDLE. Penulisan perangkat lunak ini mengikuti diagram alir Gambar 3.4.



**Gambar 3.4.** Diagram alir perangkat lunak penampil data berbasis Python.

Inisialisasi *library* dilakukan untuk mengimpor berbagai *library* yang digunakan. Lalu *Graphical User Interface* (GUI) ditampilkan sebagai wadah data. Proses

utama dibagi menjadi dua proses yang berjalan beriringan. Data yang tertulis pada serial monitor, dilakukan pembacaan oleh laptop. Waktu pengambilan dan pengolahan data diakuisisi dan dicatat bersamaan dengan data tersebut pada CSV. Di sisi lain, data dan waktu yang tercatat pada CSV dibaca dan dilakukan pembuatan grafik hubungan antara data dan waktu tersebut. Pada tahap akhir, grafik ini disuguhkan pada tampilan GUI yang sudah dibuat sebelumnya. Proses ini dilakukan secara berulang hingga ada perintah untuk berhenti.

d) Pengambilan *Dataset*

Tahapan ini bertujuan untuk mengambil data pergerakan tanah dan pulsa dari sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahapan ini telah menghasilkan data panjang pergerakan tanah dan pulsa. Kedua data tersebut digunakan sebagai dasar penentuan fungsi transfer.

Kedua *rotary encoder* disusun berjejeran menghadap arah yang sama. Lalu benang digeser perlahan dengan interval 1 mm, dimulai dari 1 mm hingga 10 mm seperti pada Tabel 3.6. Pada setiap variasi pergerakan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Nilai pulsa yang keluar pada setiap pergerakan diamati dan dicatat pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6.** Hasil pengukuran sistem sergeseran tanah (pulsa)

No	Rotary Encoder	Pergerakan Tanah ( $\times 10^{-3}$ m)	Jumlah Pulsa				
			1	2	3	4	5
1.	A	1					
....	.....	.....					
10.	A	10					
11.	B	1					
....	....	....					
20.	B	10					

## e) Penentuan Fungsi Transfer

Tahapan ini bertujuan untuk mengolah *dataset* menjadi fungsi transfer. Tahapan ini telah menghasilkan fungsi transfer hubungan antara pergerakan tanah dan pulsa. Fungsi transfer digunakan sebagai dasar pengolahan data pada perangkat lunak penampil data.

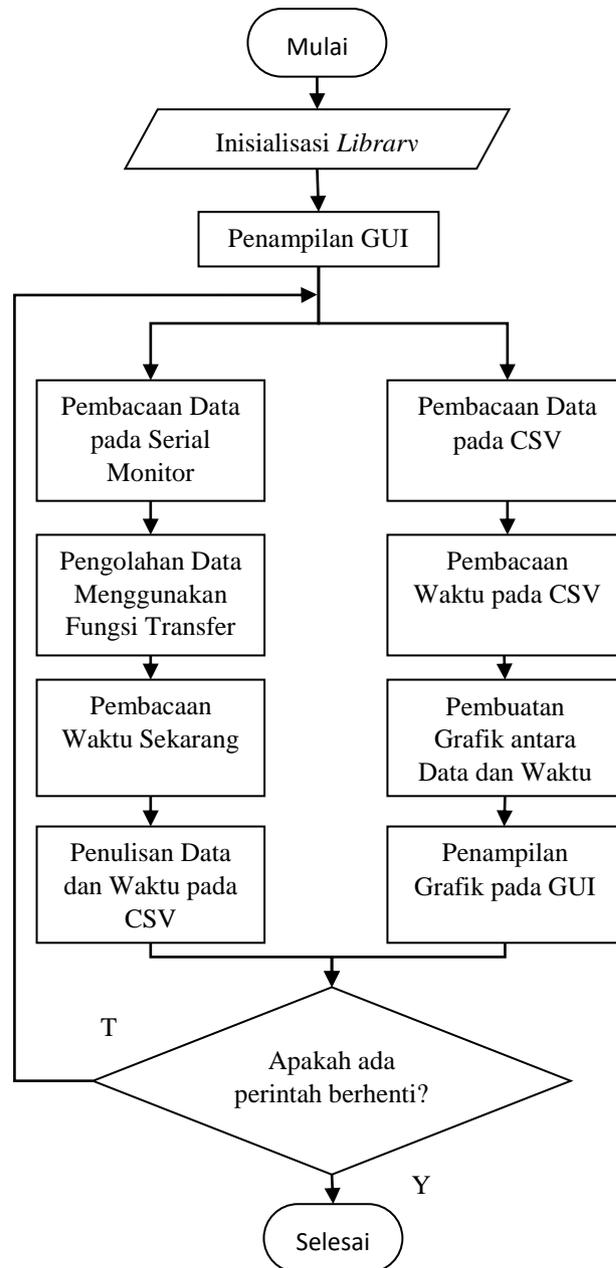
Untuk menentukan fungsi transfer, *dataset* yang didapatkan diolah lebih lanjut. *Dataset* yang telah tertuang pada Tabel 3.6 diolah menggunakan persamaan 2.2.

## f) Pembuatan perangkat lunak 2

Tahapan ini bertujuan untuk membuat kembali perangkat lunak penampil data. Tahapan ini telah menghasilkan perangkat lunak penampil data yang dapat menampilkan nilai pergerakan tanah. Tampilan pergerakan tanah ini mempermudah pengguna.

Pada tahapan ini, langkah yang dilakukan hampir sama dengan langkah pembuatan perangkat lunak penampil data. Perbedaannya hanya terletak pada diagram alirnya, penulisan

perangkat lunak ini mengikuti diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.5. Pada Gambar 3.4 terlihat bahwa setelah melakukan pembacaan data yang berupa pulsa pada *serial monitor*, data langsung ditulis pada CSV tanpa dilakukan pengolahan data menggunakan fungsi transfer seperti pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** Diagram alir perangkat lunak tampilan berbasis Python yang kedua.

### 3. Pengujian Sistem

Tahapan ini bertujuan untuk menguji sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahapan ini telah menghasilkan nilai akurasi, presisi, dan kelayakan sistem.

Pengujian skala laboratorium ini dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengambilan data dan pengolahannya. Dua tahapan itu diperinci sebagai berikut.

#### a) Pengambilan Data

Tujuan tahapan ini ialah mengambil data dari sistem pemantauan pergerakan tanah. Tahapan ini telah menghasilkan data pergerakan tanah. Manfaat dari tahapan ini ialah data yang didapatkan diolah untuk menentukan nilai akurasi, presisi, dan kelayakan alat.

Paku ditancapkan pada kayu menggunakan palu. Kedua *rotary encoder* disusun berjejeran menghadap arah yang sama. Lalu benang dihubungkan kepada paku yang telah tertancap pada kayu dan digeser perlahan sesuai dengan variasi jarak pada Tabel 3.7. Pergerakan tanah diukur menggunakan mistar besi. Besar pergerakan divariasikan dengan interval 1 mm, dimulai dari 1 mm hingga 10 mm seperti pada Tabel 3.7. Pada setiap variasi pergerakan dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Pengujian ini dilakukan pada *rotary A* dan *rotary B*. Nilai

panjang yang keluar pada setiap pergerakan diambil dan dicatat pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7.** Hasil pengukuran sistem pergerakan Tanah (Panjang)

No	Rotary	Pergerakan Tanah ( $\times 10^{-3}$ m)	Nilai Keluaran Pergerakan Tanah ( $\times 10^{-2}$ m)																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
1.	A	1																		
....	.....	.....																		
10.	A	10																		
11.	B	1																		
....	.....	.....																		
20.	B	10																		

#### b) Pengolahan Data

Tujuan dari tahapan ini ialah mengolah data Tabel 3.7. Tahapan ini telah menghasilkan nilai akurasi, presisi, dan kelayakan sistem. Ketiga nilai tersebut menjadi acuan pengguna dalam menentukan tingkat kepercayaan sistem ini.

Pada tahapan ini pengolahan data dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pengolahan data akurasi, presisi, dan kelayakan sistem. Ketiga tahapan di atas dirinci sebagai berikut.

##### 1) Pengolahan Data Akurasi

Tahapan ini telah mengolah data sehingga diperoleh nilai akurasi. Nilai akurasi tersebut digunakan untuk menentukan validitas sistem.

Untuk mendapatkan nilai akurasi, data pada tabel 3.7 diolah lebih lanjut. Setiap satu variasi, keluaran sistem

pergerakan tanah dicari nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata tersebut kemudian digunakan untuk mencari nilai ketidakakuratan menggunakan persamaan 2.3. Selanjutnya nilai ketidakakuratan digunakan untuk mencari nilai akurasi dengan persamaan 2.4. Pengolahan nilai akurasi ini dilakukan pada tiap variasi. Nilai akurasi tiap variasi dijumlahkan lalu dibagi dengan jumlah variasinya untuk mendapatkan nilai akurasi rata-rata. Nilai inilah yang mewakili nilai akurasi sistem.

Jika nilai akurasi sistem  $\geq 98\%$ , maka nilai akurasi sistem dianggap baik. Namun jika nilai akurasi sistem  $< 98\%$ , maka nilai akurasi sistem dianggap kurang baik.

## 2) Pengolahan Data Presisi

Tahapan ini telah mengolah data sehingga diperoleh nilai presisi sistem. Nilai presisi tersebut digunakan untuk menentukan validitas sistem.

Untuk mendapatkan nilai presisi, data Tabel 3.7 diolah menggunakan persamaan 2.5 untuk mendapatkan nilai rata-rata keluaran sistem. Selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai SD dengan persamaan 2.6. Nilai rata-rata keluaran sistem dan nilai SD yang didapatkan dimasukkan pada persamaan 2.7 untuk mendapatkan nilai

RSD. Selanjutnya nilai RSD dimasukkan pada persamaan 2.8 untuk mendapatkan nilai presisi. Hal ini dilakukan pada tiap variasi. Selanjutnya jumlah presisi yang didapat dibagi jumlah pengulangan untuk mendapatkan nilai rata-rata presisi yang dijadikan sebagai perwakilan nilai presisi sistem.

Jika nilai presisi  $\leq 98,65\%$  maka nilai presisi alat dianggap baik. Jika nilai presisi  $> 98,65\%$  maka nilai presisi alat dianggap kurang baik.

### 3) Pengolahan Data Kelayakan Sistem

Tahapan ini telah mengolah data sehingga diperoleh nilai kelayakan sistem. Nilai kelayakan sistem tersebut digunakan untuk menentukan validitas sistem.

Data Tabel 3.7 diolah menggunakan persamaan 2.8 untuk mendapatkan nilai  $r_{hitung}$ . Selanjutnya nilai  $r_{hitung}$  dibandingkan dengan nilai  $r_{tabel}$  yang bernilai 0,195. Nilai ini didapatkan dari Tabel 2.3 dengan taraf signifikansi 5% dan jumlah pengukuran sebanyak 100 kali. Jika nilai  $r_{hitung} > 0,195$  maka sistem dinyatakan layak untuk digunakan.

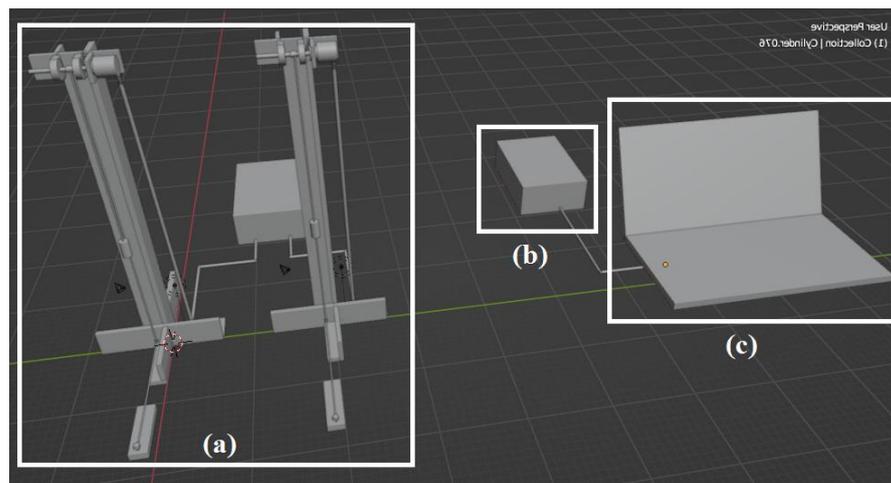
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

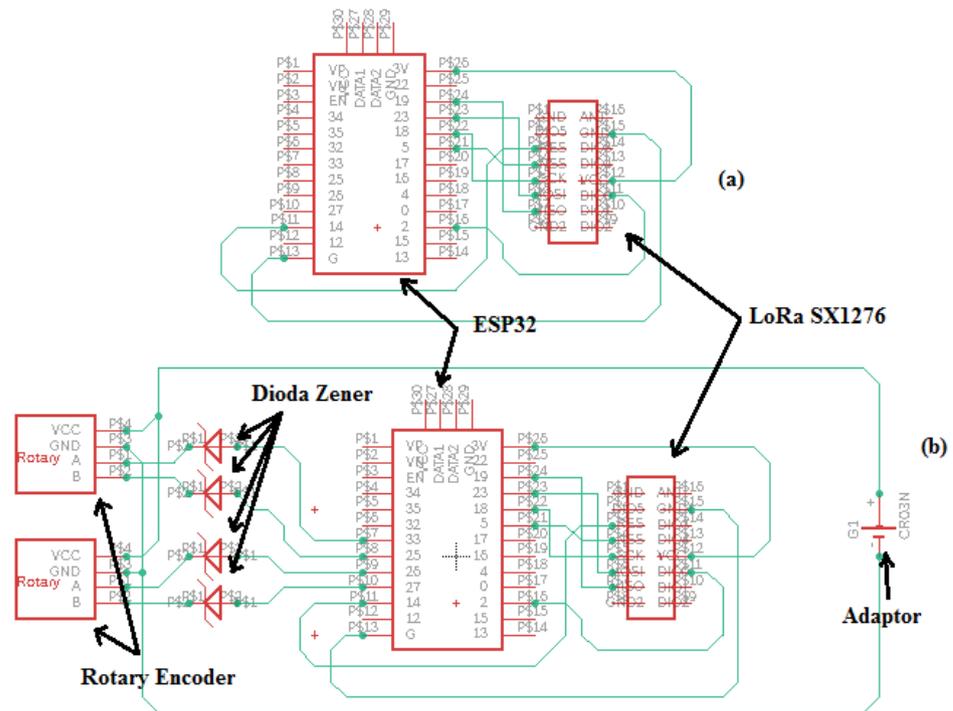
#### A. Hasil Penelitian

##### 1. Hasil Perancangan Sistem

Desain sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz dan tampilan berbasis Python telah berhasil dirancang sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.1 dan 4.2. Rancangan sistem ini terdiri dari rancangan perangkat keras dan skema rangkaian.



**Gambar 4.1.** Hasil rancangan (a) subsistem akuisisi dan pemancar data, (b) subsistem penerima data, dan (c) subsistem pengolahan data dan penampil hasil



Gambar 4.2. Hasil skema rangkaian (a) subsistem akuisisi dan pemancar data dan (b) subsistem penerima data

## 2. Hasil Pembuatan Sistem

Sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz dan tampilan berbasis Python berhasil dibuat. Hasil sistem tersebut terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Hasil-hasil tersebut akan diperinci sebagai berikut.

### a. Hasil Pembuatan Perangkat Keras

Perangkat keras yang telah dibuat terdiri atas tiga subsistem yaitu subsistem akuisisi dan pemancar data, subsistem penerima data, serta subsistem pengolah data dan penampil

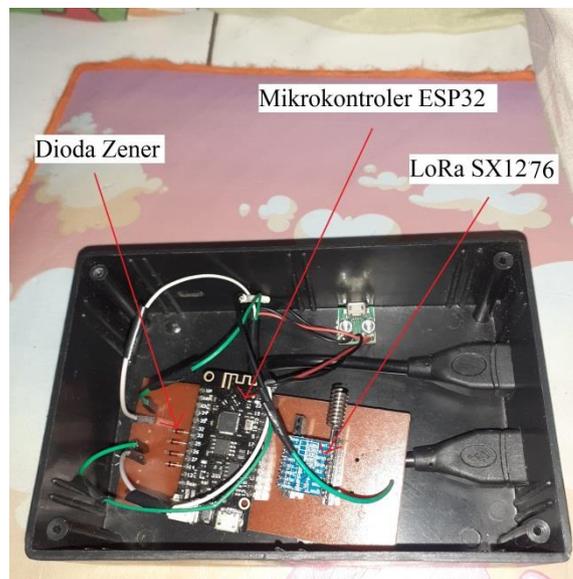
hasil. Ketiga hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5.



Keterangan gambar 4.3 a :

1. As besi
2. Pulley
3. Bearing
4. Shaft coupling
5. Rotary encoder
6. Besi
7. Kotak hitam
8. USB male

(a)



(b)

**Gambar 4.3.** Hasil pembuatan subsistem akuisisi dan pemancar data (a) dan rangkaiananya (b)

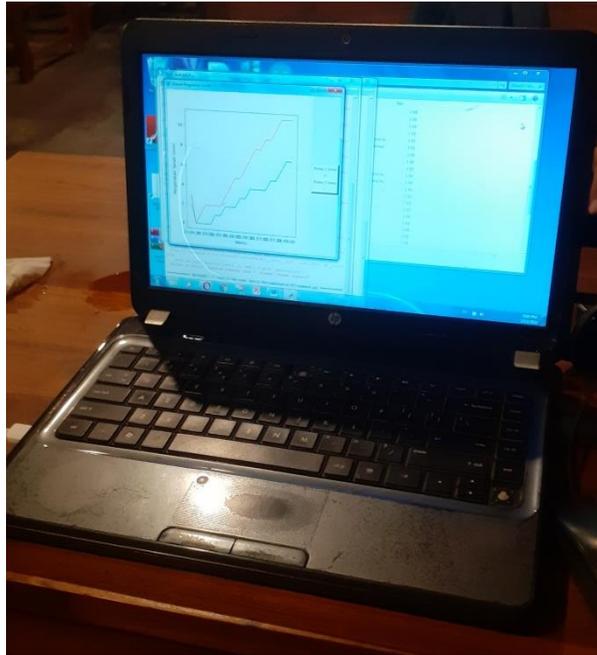


(a)



(b)

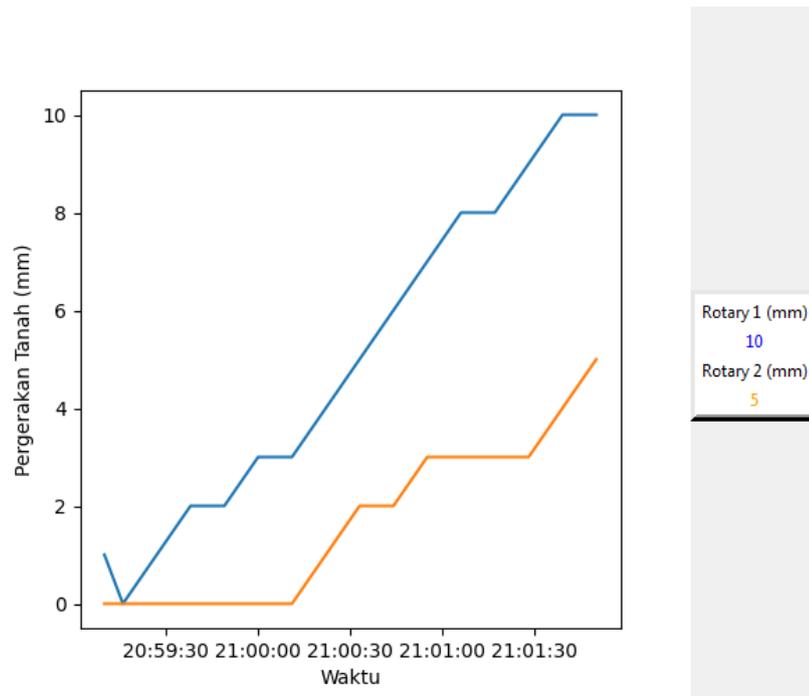
**Gambar 4.4.** Hasil pembuatan subsistem penerima data (a) dan rangkaianya (b)



**Gambar 4.5.** Hasil pembuatan subsistem pengolah data dan penampil hasil

b. Hasil Pembuatan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini tiga perangkat lunak telah berhasil dibuat. Ketiga perangkat lunak tersebut adalah perangkat lunak ESP32 subsistem akuisisi dan pemancar data, perangkat lunak ESP32 subsistem penerima data dan perangkat lunak penampil. Perangkat lunak ESP32 subsistem akuisisi dan pemancar data dan subsistem penerima data berupa tak kasat mata yang terpasang pada masing-masing ESP32. Sedangkan perangkat lunak penampil dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6.** Hasil pembuatan perangkat lunak penampil

### 3. Hasil Pengujian Sistem

Sistem pemantauan pergerakan tanah telah diuji akurasi, presisi, dan kelayakannya. Nilai akurasi dapat dilihat pada tabel 4.1, nilai presisi dapat dilihat pada tabel 4.2, dan nilai kelayakan alat dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.1.** Hasil pengujian akurasi sistem pemantauan pergerakan tanah

Akurasi Rotary A (%)	Akurasi Rotary B (%)
98,842	99,990

**Tabel 4.2.** Hasil pengujian presisi sistem pemantauan pergerakan tanah

Presisi Rotary A (%)	Presisi Rotary B (%)
98,498	99,681

**Tabel 4.3.** Hasil pengujian kelayakan alat sistem pemantauan pergerakan tanah

Kelayakan Alat Rotary A	Kelayakan Alat Rotary B
0,983	0,960

## B. Pembahasan

### 1. Perancangan dan Pembuatan Sistem Pemantauan Pergerakan

#### Tanah

Sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz dan tampilan python telah dirancang dan dibuat. Desain sistem pemantauan pergerakan tanah terdiri dari tiga subsistem, yakni subsistem akuisisi dan pemancar data, subsistem penerima data, serta subsistem pengolah data dan penampil hasil.

Pada subsistem akuisisi dan pemancar data yang telah dibuat terdiri dari dua perangkat sensor dan satu kotak hitam. Pada setiap perangkat sensor tersusun dari sensor *rotary encoder*, *bearing*, *shaft coupling*, *pulley*, besi, beban, benang, paku, sepotong kayu, USB *male* dan as besi. Sedangkan kotak hitam tersusun dari mikrokontroler ESP32, LoRa SX1276, diode zener, kabel, adaptor, dan USB *female*. Subsistem ini bertugas untuk mendeteksi adanya gerakan tanah dan mengirimkan data tersebut melalui gelombang radio.

Seperti yang nampak pada gambar 4.3 (a), kaki pada perangkat sensor dibuat bercabang empat supaya perangkat dapat berdiri dengan kokoh. Pada bagian ujung atas besi disusun kesamping untuk menjadi tempat terpasangnya *rotary encoder*. *Rotary encoder* terpasang pada besi dengan bantuan skrup. Karena *shaft* pada *rotary* sangat kecil maka

*shaft coupling* diperlukan untuk menghubungkan *shaft* dengan as besi yang lebih besar dan panjang. As besi tidak dapat berdiri kokoh tanpa adanya bantuan dua *bearing* yang terkunci pada besi dengan mur dan baut. Agar benang dapat memutar as besi, diperlukan *pulley* yang terpasang pada tengah-tengah dengan lapisan karet padanya benang diharapkan memiliki gaya gesek yang besar untuk memutar as besi. Paku yang tertancap pada balok kayu diikat dengan benang yang melalui *pulley* terhubung dengan pemberat pada ujung satunya. Pemberat ini memiliki peran sebagai penyeimbang benang karena adanya gaya tegangan tali kearah paku. Selain itu pemberat juga membantu meningkatkan gaya normal yang timbul oleh permukaan *pulley* terhadap benang sehingga gaya gesek yang terjadi semakin tinggi. Gaya gesek antara permukaan *pulley* dan benang diharapkan tinggi supaya tidak terjadi selip yang mengakibatkan tidak berputarnya as besi pada saat benang bergerak karena adanya gerakan tanah. Pada skala laboratorium paku dan balok digunakan untuk memudahkan proses pengujian, sedangkan pada skala lapangan kedua bahan tersebut dapat digantikan dengan patokan yang menancap tanah.

Prinsip kerja subsistem ini ialah tanah yang bergeser akan menggeser paku yang terhubung dengan benang. Kerana adanya pergerakan benang yang menempel pada *pulley*, maka *pulley* akan berputar karena reaksi gaya gesek yang ditimbulkan benang. *Pulley*

yang berputar secara langsung memutar as besi yang terhubung dengan kecepatan sudut yang sama. Dengan begitu *shaft* pada *rotary encoder* akan berputar karena ia terhubung dengan as besi yang berputar menggunakan *shaft coupling*. *Shaft* pada *rotary encoder* yang berputar akan memutar piringan didalam *rotary encoder* (Cosijns dan Jansen, 2014).

Sumber tegangan dari subsistem ini berupa adaptor 5V yang dihubungkan pada *rotary encoder* dan ESP32. Tegangan yang masuk pada *rotary encoder* menyebabkan LED menghasilkan cahaya seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Cahaya ini akan merambat melalui lubang piringan dan diterima oleh sensor cahaya. Sensor cahaya akan mengkonversi cahaya tersebut menjadi tegangan listrik yang tinggi. Namun bila cahaya yang bergerak tidak bertepatan dengan lubang piringan, maka cahaya tersebut akan memantul dan tidak mencapai sensor cahaya. Jika sensor cahaya tidak menerima cahaya, maka tegangan yang dihasilkan akan berupa tegangan rendah. Tegangan yang dihasilkan sensor cahaya berpola tinggi-rendah karena adanya gerakan melingkar pada piringan. Tegangan berpola tinggi-rendah ini diproses lebih lanjut oleh *squaring circuit* yang menghasilkan tegangan berpola kotak yang disebut pulsa. Seperti pada gambar 4.3 (b) pulsa yang bertegangan 5V ini dikecilkan tegangannya dengan cara mengurangi nilai tegangan tersebut menggunakan diode zener. Diode

zener 2,7V yang dipasang dengan bias terbalik secara seri akan mengurangi nilai masukan sebesar 5V menjadi 2,3V (Rangga, 2020). Hal ini dilakukan karena input pin pada mikrokontroler ESP32 memiliki tegangan maksimum sebesar 3,3V. Selanjutnya pulsa ini diteruskan ke mikrokontroler ESP32 dan jumlahnya dihitung dengan perangkat lunak yang telah terinstal dengan *sketch* yang terlampir pada Lampiran 2 no. 3(b). Secara berulang data jumlah pulsa ini dilanjutkan ke LoRa SX1276 untuk diubah menjadi gelombang radio yang memancar melalui antenanya (Dewi dkk, 2020).

Seperti pada gambar 4.4 (a) subsistem penerima merupakan sebuah kotak hitam. Kotak hitam tersebut berisi mikrokontroler ESP32, PCB, dan LoRa SX1276 seperti gambar 4.4 (b). Tugas subsistem penerima data ini ialah menerima gelombang radio yang membawa informasi pergerakan tanah serta melanjutkan informasi tersebut ke subsistem pengolahan data dan penampil hasil.

Prinsip kerja subsistem penerima data ialah gelombang radio yang membawa informasi ditangkap oleh LoRa SX1276 melalui antenanya. Gelombang yang diterima LoRa SX1276 diubah menjadi tegangan digital (Dewi dkk, 2020). Selanjutnya tegangan tersebut diteruskan ke mikrokontroler ESP32. Tegangan yang terbaca mikrokontroler diproses menggunakan perangkat lunak yang terinstal dengan *sketch*

sebagaimana terlampir pada Lampiran 2 no.3 (d) untuk diteruskan ke subsistem pengolah data dan penampil hasil.

Seperti pada Gambar 4.5, subsistem pengolah data dan penampil hasil terdiri dari laptop dan kabel USB. Kabel USB yang terpasang dengan subsistem penerima data ini dipasang pada laptop. Fungsi subsistem ini ialah mengolah dan menyimpan data serta menampilkan hasil olahan data.

Data yang diterima laptop dari subsistem penerima data tertulis pada serial monitor. Data tersebut berupa jumlah pulsa yang dihasilkan *rotary encoder*. Selanjutnya data tersebut diproses menggunakan perangkat lunak penampil dengan *sketch* yang tertulis pada Lampiran 2 no.3 (f) sehingga dapat diolah dan disimpan dalam format CSV bersamaan dengan waktu pengolahan data. Setelah itu, hasil olahan data tersebut ditampilkan bersamaan waktu pengolahannya.

Seperti pada gambar 4.6 perangkat lunak penampil berupa grafik hubungan antara waktu dan nilai pergerakan tanah. Grafik ini ditampilkan secara langsung, artinya grafik ini akan selalu diperbaharui setiap saat. Garis berwarna biru yang terbentuk adalah representasi hubungan pergerakan tanah dan waktu dari *rotary 1*, sedangkan garis berwarna oranye adalah representasi dari *rotary 2*. Warna pada grafik dan nilai pada sisi kanan disamakan untuk memudahkan pembaca dalam membedakan kedua *rotary*.

Prinsip kerja perangkat lunak penampil ini yaitu data yang berupa jumlah pulsa yang tertulis pada serial monitor di laptop diambil dan dicatat pada *file* .csv bersamaan dengan waktu pengambilan. Hal ini dilakukan terus-menerus selama aplikasi masih berjalan. Seiringan dengan itu aplikasi juga membaca nilai dan waktu pada *file* .csv. Karena nilai yang terbaca merupakan jumlah pulsa, maka nilai tersebut diolah menggunakan fungsi transfer linear yang telah diolah pada Lampiran 2 no. 5. Nilai dan waktu yang terbaca selanjutnya dimasukkan secara berturut-turut pada variabel Y dan X. Selanjutnya dari dua variabel tersebut dibuatlah grafik hubungan X dan Y. Selain itu nilai pergerakan tanah *rotary* A dan *rotary* B yang terbaru ditampilkan pada kotak di sisi kanan pada gambar 4.5.

Penelitian ini telah menghasilkan sistem pemantauan pergerakan tanah dengan sensor *rotary encoder* dan LoRa SX1276 sebagai sarana telemetrinya. Sebelumnya, Priyanto dkk (2015) telah membuat sistem monitoring pergerakan tanah dengan sensor LDTV dan potensiometer serta menggunakan modul GSM sebagai komponen telemetrinya. Kedua sensor yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki batas pergerakan tertentu sesuai dengan sensor yang digunakan, sedangkan pada penelitian ini sensor *rotary encoder* yang digunakan tidak memiliki batas putaran sehingga batas pergerakan dapat dimodifikasi. Prinsip kerja pengiriman data pada sistem yang dibuat oleh Priyanto

dkk (2015) menggunakan GSM yaitu data yang dikirimkan menggunakan SMS. Pengiriman data menggunakan GSM ini perlu saldo pulsa untuk melakukan tugasnya, sedangkan pada penelitian ini lebih unggul karena pengiriman data menggunakan LoRa SX1276 di mana ia hanya memerlukan daya yang rendah tanpa saldo pulsa.

Penelitian ini telah berhasil membuat sistem pemantauan pergerakan tanah dengan sensor *rotary encoder* dan laptop sebagai pengolahan data. Karya serupa telah dibuat oleh Innasanti (2018) di mana ia telah membuat sistem monitoring pergerakan tanah dengan sensor *draw wire*, RTC (*Real Time Clock*), *MicroSD*, modem FSK (*Frequency Shift Keying*). Sensor yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki memiliki batas pergerakan tertentu, sedangkan pada penelitian ini sensor *rotary encoder* yang digunakan tidak memiliki batas putaran sehingga batas pergerakan dapat dimodifikasi. Pada penelitian Innasanti (2018) RTC digunakan sebagai penyedia waktu, sedangkan *MicroSD* digunakan sebagai penyimpanan data. Sistem yang telah dibuat pada penelitian ini lebih unggul karena tugas penyedia waktu, penyimpan data, dan tugas lainnya sudah dilakukan oleh laptop.

Penelitian ini telah membuahkan suatu sistem pemantauan pergerakan tanah dengan sensor *rotary encoder* dan LoRa SX1276 sebagai sarana telemetrinya. Sebelumnya, Artha dkk (2018) telah

membuat sistem peringatan dini bencana tanah longsor menggunakan sensor *Accelerometer*, sensor kelembaban tanah, serta NodeMcu. Pengiriman data menggunakan NodeMcu berbasis IoT (*Internet of Things*) yang artinya pengiriman data tersebut memerlukan koneksi internet. Penelitian ini lebih unggul karena hanya menggunakan gelombang radio untuk mengirimkan data, sehingga tidak memerlukan koneksi internet.

Penelitian ini telah menciptakan sistem pemantauan pergerakan tanah dengan sensor *rotary encoder* dan LoRa SX1276 sebagai sarana telemetrinya. Sebelumnya, Weya dkk (2019) telah membuat sistem peringatan dini bencana tanah longsor menggunakan sensor *rotary encoder*, sensor MPU6050 dan ESP32. Pengiriman data yang digunakan ESP32 juga berbasis IoT sehingga pengiriman data pada penelitian ini lebih unggul karena hanya menggunakan gelombang radio mengingat tidak di semua tempat memiliki akses internet.

## **2. Pengujian Sistem Pemantauan Pergerakan Tanah**

Sistem pemantauan pergerakan tanah telah diuji yang menghasilkan nilai akurasi, presisi dan kelayakan alat yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3. Nilai akurasi *rotary A* adalah 98,842% dan *rotary B* adalah 99,990%. Nilai presisi

*rotary* A adalah 98,498% dan *rotary* B adalah 99,681. Nilai kelayakan alat *rotary* A adalah 0,983 dan *rotary* B adalah 0,960.

Akurasi adalah nilai dari seberapa dekat keluaran alat ukur dengan nilai sesungguhnya (Fraden, 2016). Nilai akurasi pada *rotary* A sebesar 98,842% dan pada *rotary* B adalah 99,990%. Hal ini menyatakan bahwa nilai keluaran *rotary* A memiliki kedekatan dengan nilai sesungguhnya sebesar 98,842%, sedangkan nilai keluaran *rotary* B memiliki kedekatan dengan nilai sesungguhnya sebenarnya sebesar 99,990%.

Sistem yang telah dibuat pada penelitian ini memiliki nilai akurasi yang melampaui penelitian Weya (2019) dengan nilai akurasi sebesar 98,54%. Pada *rotary* B nilai akurasi yang didapat lebih tinggi daripada penelitian yang dilakukan oleh Artha dkk (2018) yang memiliki akurasi sebesar 99,58%, namun akurasi *rotary* A memiliki nilai yang lebih rendah. *Rotary* A memiliki nilai akurasi yang lebih rendah daripada nilai akurasi yang didapatkan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan penelitian Innasanti (2018) dengan nilai akurasi sebesar 99,9998%.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) nilai akurasi yang dapat diterima dan dianggap baik untuk mengukur haruslah  $\geq 98\%$  (Faridah dkk, 2018). Kedua nilai akurasi yang didapat telah melebihi standar

yang ditetapkan. Oleh karena itu, sistem pemantauan pergerakan tanah telah dianggap baik dan diterima untuk mengukur pergerakan tanah.

Presisi adalah nilai kemampuan alat untuk dapat menghasilkan keluaran yang sama dalam kondisi yang identik (Fraden, 2016). Nilai presisi *rotary* A sebesar 98,498% dan *rotary* B adalah 99,681%. Hal ini menyatakan bahwa nilai keluaran *rotary* A memiliki kemiripan keluaran pada input yang sama sebesar 98,498%, sedangkan nilai keluaran *rotary* B memiliki kemiripan keluaran pada input yang sama sebesar 99,681%.

Sistem yang dibuat oleh Innasanti (2018) memiliki nilai presisi sebesar 99,6009%. Nilai presisi tersebut lebih rendah dibandingkan nilai presisi sistem yang dibuat pada penelitian ini.

Suatu alat yang dianggap baik untuk digunakan menurut Standar Nasional Indonesia harus memiliki nilai presisi  $\geq 98,66\%$  (Faridah dkk, 2018). Nilai presisi *rotary* A lebih rendah dari standar yang telah ditentukan, hal ini menyatakan bahwa *rotary* A belum baik untuk digunakan. Karena *rotary* A belum baik untuk digunakan, dapat dilakukan dengan memodifikasi fungsi transfer yang cocok dengan sensor pada subsistem pengolah data (Fraden, 2010). Nilai presisi *rotary* B melibahi standar yang ditentukan, hal ini menyatakan bahwa *rotary* B sudah baik untuk mengukur pergerakan tanah.

Menurut Waluyanti dalam Prabowo (2010), kelayakan alat merupakan keadaan alat yang dapat dan patut untuk digunakan. Nilai koefisien korelasi pada *rotary* A sebesar 0,983 dan pada *rotary* B adalah 0,960. Hal ini berarti kepatutan *rotary* A untuk digunakan sebesar 0,983 dan *rotary* B sebesar 0,960.

Suatu alat dikatakan layak untuk digunakan jika nilai kelayakan alat melebihi taraf signifikansi ( $r_{tabel}$ ). Nilai taraf signifikansinya untuk pengulangan sebanyak 200 kali sebesar 0,195. Karena kedua nilai kelayakan alat *rotary* melebihi taraf signifikansi, maka sistem sudah layak untuk mengukur pergerakan tanah.

Sistem pemantauan pergerakan tanah yang dibuat telah diuji dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Menurut hasil akurasi, sistem telah dapat diterima dengan baik mengukur pergerakan tanah. Hasil nilai presisi menunjukkan bahwa *rotary* A dianggap belum baik untuk mengukur pergerakan tanah, sedangkan *rotary* B sudah dianggap baik untuk mengukur pergerakan tanah. Pada pengujian kelayakan alat menunjukkan bahwa sistem telah layak digunakan untuk mengukur pergerakan tanah.

### 3. Integrasi-Interkoneksi

Sistem pemantauan pergerakan tanah telah berhasil dirancang dan dibuat menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz dan tampilan berbasis Python. Selain itu, sistem ini juga sudah berhasil diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berpredikat baik, dapat diterima, dan layak untuk mengukur pergerakan tanah.

Penelitian yang dilakukan adalah langkah nyata dalam meraih visi Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yaitu unggul dan terkemuka dalam pengembangan keilmuan fisika yang terpadu dengan wawasan dan nilai-nilai dasar islam. Model keterpaduan penelitian ini memiliki sifat konfirmatif. Konfirmatif sendiri bermakna bahwa penelitian ini memberikan penguatan ataupun penegasan terhadap pemahaman tertentu. Penelitian ini adalah upaya penegasan terhadap wawasan islam tentang bencana tanah longsor dan juga penyebabnya.

Seperti pada Q.S. Al-Fath: 23, bencana merupakan sunnatullah yang bermakna bahwa bencana merupakan ketetapan Allah SWT serta berlaku hukum-hukumnya (Hakim, 2013). Penelitian ini dilakukan untuk menegaskan wawasan islam tentang berlakunya hukum-hukum yang telah ditetapkan oleh Allah SWT sejak dahulu.

Sementara itu, Q.S. Ar-Rum: 41, menyatakan bahwa kerusakan disebabkan oleh perbuatan tangan manusia. Kerusakan tanah longsor dapat disebabkan oleh manusia seperti penggunaan lahan yang tidak baik, maka dari itu kita dilarang merusak lingkungan kita (Muda dkk, 2018). Penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan pergerakan tanah yang menegaskan pelarangan untuk merusak lingkungan.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan membuahkan hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler ESP32, modul RF 915MHz dan tampilan berbasis Python telah berhasil dirancang.
2. Sistem pemantauan pergerakan tanah telah berhasil dibuat dari besi yang disusun bersamaan dengan *rotary encoder*, as besi, *bearing*, *shaft coupling*, dan *pulley*, serta mikrokontroler ESP32 dirakit pada PCB bersama LoRa SX1276, diode zener, USB *female*, dan ditutup menggunakan kotak hitam.
3. Sistem pemantauan pergerakan tanah berhasil diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah diterima dan dianggap baik untuk mengukur pergerakan tanah dengan nilai akurasi sebesar 98,842% pada *rotary A* dan 99,990% pada *rotary B*. Selain itu, *rotary A* dianggap sudah baik sedangkan *rotary B* belum baik dengan nilai presisi yang didapatkan pada *rotary A* sebesar 98,498% dan *rotary B* sebesar 99,681%. Nilai kelayakan alat menyatakan sistem sudah layak digunakan dengan *rotary A* sebesar 0,983 dan *rotary B* sebesar 0,960.

## **B. Saran**

Pada penelitian ini terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki maupun dikembangkan. Adapun beberapa catatan peneliti disarankan untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Sistem pemantauan pergerakan tanah telah dapat mengukur pergerakan yang terjadi, namun sangat mungkin sistem dikembangkan untuk mengukur kecepatan dan percepatan pergerakan untuk memantau aktifitas tanah. Aktifitas tanah yang terpantau dapat menjadi acuan sistem peringatan dini.
2. Penelitian ini menggunakan sumber tegangan melalui adaptor, dengan begitu sistem memerlukan sumber tegangan dari PLN. Karena sistem akan dipasang pada lokasi yang jauh dari sumber PLN, maka diperlukan sumber tegangan yang dapat disimpan seperti baterai.
3. Pergerakan yang dilakukan pada tahap pengujian ini bersumber dari pergerakan kayu oleh tangan manusia. Pengujian ini masih perlu diuji pada objek yang lebih nyata seperti prototipe menggunakan tanah atau langsung pada lapangan.
4. Karena sistem menggunakan sistem telemetri, waktu pemrosesan data dan jarak antar subsistem dianggap penting untuk diketahui supaya menjadi pedoman pengembangan sistem peringatan dini. Oleh karena itu, sistem perlu dilakukan pendataan waktu proses pemrosesan data dan memvariasikan jarak antar subsistem.

5. Penelitian ini menggunakan benang yang berpotensi terjadinya penyusutan ataupun pelonggaran. Serta pengujian sistem yang dilakukan hanya mencakup akurasi, presisi dan kelayakan alat saja. Oleh sebab itu, pengujian pada parameter kinerja lain perlu dilakukan untuk mempersiapkan sistem agar dapat digunakan dengan lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A. C. 2019. *Perbandingan Prosesor Atmega328p, Stm32, Esp32, Lpc1769*. Diakses 10 Juni 2021 dari <https://embedded.stei.itb.ac.id/2019/01/03/perbandingan-prosesor-atmega328p-stm32-esp32-lpc1769/>.
- Arduino. 2021. *Arduino Libraries*. Diakses 7 Juni 2021 dari <https://www.arduino.cc/en/main/libraries>.
- Anonim. *Tabel Nilai-nilai r Product Moment*. Diakses 7 Juni 2021 dari <http://library.walisongo.ac.id/digilib/files/disk1/10/jtptiain-gdl-s1-2005-ekhwanudin-473-LAMPIRAN-7.pdf>
- Aroeboesman, F. N. 2019. Analisis Kinerja LoRa SX128 Menggunakan Topologi Star Berdasarkan Jarak dan Besar Data pada WSN. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. **Vol. 3 No. 4 April 2019**: 3860-3865.
- Arsyad, U., Barkey, R., Wahyuni, dan Matandung, K. 2018. Karakteristik Tanah Longsor di Daerah Aliran Sungai Tangka. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. **Vol. 10 no.1 Juli 2018**: 203-214.
- Artha, O. Rahmadya, dan B. Putri, R. 2018. Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor *Accelerometer* dan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Android. *Journal of Information Technology and Computer Engineering*. **Vol. 2 no.2 September 2018**: 14-20.
- Arum, A. S. 2021. *Rancang Bangun dan Karakterisasi Alat Ukur Pergeseran Tanah Berbasis Sensor Rotary Encoder dan Mikrokontroler ESP32 untuk Mendukung Pendeteksian Tanah Longsor*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Blasio, F. V. D. 2011. *Introduction of The Physics of Landslide*. Springer: New York.
- Bridgewater, L. L. Braid, R. B. Eaton, A. D. dan Rice E. W.. 2017. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association: Washington

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. *Update Bencana di Indonesia 3 September 2020*. Diakses 27 Maret 2022 dari <https://www.bnpb.go.id/index.php/infografis/update-bencana-di-indonesia-3-september-2020>
- Bui, T. A. Fathani, T. F. dan Wilopo, W. 2019. Landslide Risk Assessment for Designing Monitoring and Early Warning System. *Journal of Applied Geology*. **Vol. 4 no. 1 2019**: 1-8.
- Champbell, S. 2016. *Basics of The SPI Communication Protocol*. Diakses 11 Juni 2021 dari <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-spi-communication-protocol/>.
- Cholidina, D. I. 2021. *Rancang Bangun Early Warning System Bencana Tanah Longsor Berbasis Sensor Incremental Rotary Encoder, Internet of Things, dan SMS Gateway dibuat menggunakan sensor rotary encoder, ESP32 yang terhubung dengan ponsel melalui internet dan SMS*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Cosijns, S. J. A. G. dan Jansen.M. K. *Advanced Optical Incremental Sensors: Encoders and Interferometer*. Woodhead Publishing.
- Data Flair. 2018. *Python Libraries – Python Standard Library & List of Important Library*. Diakses 7 Juni 2021 dari <https://data-flair.training/blogs/python-libraries/#:~:text=A%20Python%20library%20is%20a,a%20collection%20of%20core%20modules>.
- Dewi, D. Ningsih, F. Armoko, D. dan Shobari, I. Desain Mapping dan Komunikasi LoRa SX1276 pada Sistem Deteksi Radiasi Menggunakan Drone. *PRIMA*. **Vol. 17 no. 2 November 2020**.
- Dhaker, P. 2018. *Introduction to SPI Interface*. Diakses 11 Juni 2021 dari <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/introduction-to-spi-interface.html#>.
- Dolsak, A. 2008. The Design and Application of Rotary Encoders. *Sensor Review*. **Vol. 28 2008**: 150-158.
- Ermansyah, S. 2016. *Implementasi System Voice Recognition dan Rotary Encoder pada Mobile Robot Sebagai Sistem Navigasi dan Perhitungan Posisi Robot*.

- (Skripsi), Program Studi Strata 1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Faridah, D. N., Erawan, D. Sutriah, K. Hadi, A. dan Budiantari, F. 2018. *Implementasi SNI ISO/IEC 17025:2017*. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta.
- Ferre, G. Giremus, A. 2018. LoRa Physical Layer Principle and Performance Analysis. *ICECS 2018 5<sup>th</sup> IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems*.
- Fezari, M. Dahoud, A. 2018. *Integrated Development Environment "IDE" For Arduino*. Al Zaytoona University.
- Firmansyah, R. Bagaskara, S. Kurdyanto, R. dan Muizz, M. 2018. Penerapan Modul RF 915 dalam Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino. *Indonesian Journal of Electrical and Electronic Engineering*. **Vol. 1 no. 1 2018**: 0-37.
- Fraden, J. 2016. *Handbook of Modern Sensors: Fifth Edition*. Springer: San Diego.
- Hakim, A. 2013. Makna Bencana Menurut Al-Qur'an. *Hermeunetik*. **Vol. 7 no. 2 Desember 2013**.
- Hidayati, T. N. 2015. *Sunnatullah dalam Surat Al-Fath Ayat 23 Menurut M. Quraish Shihab dan Ahmad Musthofa Al-Maraghi*. (Thesis), Prodi Ilmu Alquran dan Tafsir, Fakultas Ushuluddin dan Filsafat, UIN Sunan Ampel, Surabaya.
- Hidayatullah, M. S. 2009. Tinjauan Islam Soal Bencana Alam. *Jurnal Studi Al-Qur'an*. **Vol. 5 no. 1. 2009**: 2239-2614.
- Highland, L. M. dan Bobrowsky, P. 2008. *The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geology Survey: Virginia.
- Isnaini, R. 2019. Analisis Bencana Tanah Longsor di Wilayah Jawa Tengah. *Islamic Management and Empowerment Journal*. **Vol. 1 2018**: 143-160.
- Innasanti, L. 2018. *Rancang Bangun Sistem Monitoring Pergerakan Tanah Menggunakan Arduino dengan Komunikasi Radio Sebagai Peringatan Dini Bencana Tanah Longsor*. (Skripsi), Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.

- Intrieri, E. Gigli, G. Gracchi, T. Nocentini, M. Lombardi, L. Mugnai, F. Frodella, W. Bertolini, G. Carnevale, E. Favalli, M. Fornaciai, A. Alavedra, J. Mucchi, L. Nannipieri, L. Lloveras, X. Pizziolo, M. Schina, R. Trippi, F. dan Casagli, N. 2018. Application of an ultra-wide band sensor-free wireless network for ground monitoring. *Engineering Geology*. **Vol. 238 2018**: 1-14.
- Kadarina, T. dan Hajar M. 2019. Pengenalan Bahasa Pemrograman Python Menggunakan Aplikasi Games Untuk Siswa/I Di Wilayah Kembangan Utara. *Jurnal Abdi Masyarakat*. **Vol. 5 no. 1 September 2019**: 11-16.
- Kementrian Agama. 2021. *Qur'an Kemenag*. Diakses pada 10 Juni 2021 dari <https://quran.kemenag.go.id>.
- Khoa, V. dan Takayama, S. 2018. Wireless Sensor Network in Landslide Monitoring System with Remote Data Management. *Measurement*. **Vol. 118 Maret 2018**: 214-229.
- Kumalasari, A. Panggabean, A. dan Akkas, E. 2017. Pengembangan Metode Rapid Test dalam Penentuan Ash Content dan Calorific Value Batubara di Laboratorium PT Jasa Mutu Mineral Indonesia. *Jurnal Atomik*. **Vol. 2 No. 12 2017**: 121-127.
- Latif, Z. Wahjudi, A. dan Sudarmanta B. 2014. Rancang Bangun Sistem Pengukuran Pada Alat Kalibrasi Sensor Gas Oksigen (O<sub>2</sub>). *Jurnal Teknik Pomits*. **Vol. 1 No. 2 2014**: 2301-9271.
- Mardeli. 2011. Konsep Al-Qur'an tentang Metode Pendidikan Islam. *Ta'dib*. **Vol. 16 No. 1. 2011**.
- Matondang, J. 2018. *LoRa Modulation Basics*. Diakses 10 Mei 2021 dari <https://josefntd.com/2018/08/02/lora-modulation-basics/>.
- Muliadi, M. Imran, A. dan Rasul, M. 2020. Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*. **Vol. 17 No. 2 April 2020**.
- Morris, A. 2001. *Measurement and Instrumentation Principles*. Butterworth-Heinemann. Woburn.
- Neary, M. 2021. *Getting Started With Python IDLE*. Diakses 16 Mei 2021 dari <https://realpython.com/python-idle/>.
- Nedelkovski, dan Dejan. 2016. *How Rotary Encoder Works and How To Use It with Arduino*. Diakses 26 maret 2021 dari <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>.

- Nurdian, W. 2019. *Arduino IDE, Pengertian dan Istilah yang Sering Digunakan*. Diakses 11 Juni 2021 dari <https://www.idebebas.com/arduino-ide/>.
- Ottoragam. 2015. *Magnetic Incremental Rotary Encoder*. Diakses 31 maret 2021 dari <https://hackaday.io/project/8418-magnetic-incremental-rotary-encoder>.
- Paradisetrionic. 2021. *868MHz SX1276 LoRa Breakout Board with Antenna*. Diakses 12 Mei 2021 dari <https://paradisetrionic.com/en/add-on-boards/868mhz-sx1276-lora-breakout-board-antenna>.
- PNPB. 2019. *Info Bencana edisi Januari 2019*. PusatdatinKK.
- Prabowo, E. 2010. *Identifikasi Kelayakan Alat Praktek Instalasi Listrik Sub Alat Ukur Avometer Untuk Mendukung Tujuan Kurikulum Di SMK N 5 Semarang*. (Skripsi), Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNS, Semarang.
- Priyanto, J. Subagiyo, H. dan Madona, P. 2015. Rancang Bangun Peringatan Bahaya Longsor dan Monitoring Pergerakan Tanah Menggunakan Komunikasi Berbasis GSM. *Jurnal ELEMENTER*. **Vol. 1 no. 2 November 2015**.
- Projects DIY. 2017. *Wemos LoLin32 Lite, More Compact Revision of The LoLin32 to \$4.90*. Diakses 8 Mei 2021 dari <https://diyprojects.io/wemos-lolin32-lite-compact-revision-lolin32-4-90/#.YJWcpsQxXIU>.
- Purnomo, E. 2015. *Dioda Zener: Pengertian dan Cara Kerja*. Diakses 13 Mei 2021 dari <https://www.nulis-ilmu.com/dioda-zener/>.
- Rezkia, S. M. 2020. *Python: Kompetensi Python untuk Pemula*. Diakses 11 Juni 2021 dari <https://www.dqlab.id/belajar-pyton-dengan-pahami-3-librarynya#:~:text=Apa%20yang%20dimaksud%20dengan%20library,pemula%2C%20bisa%20belajar%20dengan%20gratis!>.
- Riyanto. 2014. *Validasi & Verifikasi Metodi Uji*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rotaru, A. Oajdea, D. dan Raileanu, P. 2007. Analysis of The Landslide Movements. *International Journal of Geology*. **Vol. 1 2007**.
- Santos, B. 2021. *ESP32 vs ESP 8266 – Pros and Cons*. Diakses pada 10 Juni 2021 dari <https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/#:~:text=The%20ESP32%20is%20the%20ESP8266,4.2%20and%20Bluetooth%20low%20energy>.

- Semtech. 2016. *SX1276/77/78/79 – 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver*. Diakses 11 Juni 2021 pada <https://www.mouser.com/datasheet/2/761/sx1276-1278113.pdf>.
- Setyawan, F. Fikri, A. Fuad, A. Rohim, R. dan Firmansyah, R. 2017. Telemetri Flowmeter Menggunakan Rf Modul 915mhz Berbasis Arduino. *Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA*. **Vol. 1 no. 1 2017**.
- Simplilearn. *Introduction To Python*. Diakses 15 Mei 2021 dari <https://www.simplilearn.com/learn-the-basics-of-python-article>.
- Sinuarduino. *Apa itu Arduino IDE dan Arduino Sketch ?*. Diakses 14 Mei 2021 dari <http://allgoblog.com/apa-itu-arduino-ide-dan-arduino-sketch/>.
- Sulistiadji, K. dan Pitoyo, J. 2009. *Alat Ukur dan Instrumen Ukur*. BBP Mektan: Serpong
- Tirtasari, N. 2017. Uji Kalibrasi (Ketidakpastian Pengukuran) Neraca Analitik di Laboratorium Biologi FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*.
- Virgono, A. Sunarya, U. dan Jauhariah, S. W. 2016. Perancangan Sistem Pengendali dan Monitoring Kecelakaan Mobil Berbasis *Vehicular AD HOC Network* (VANET) Menggunakan Sensor *Limit Switch* dan *Rotary Encoder*. *E-Proceeding of Engineering*. **Vol. 3 no. 1 April 2016**: 778.
- Wahyuni, N. 2014. *Uji Validitas dan Reliabilitas*. Diakses 7 Juni 2021 dari <https://qmc.binus.ac.id/2014/11/01/u-j-i-v-a-l-i-d-i-t-a-s-d-a-n-u-j-i-r-e-l-i-a-b-i-l-i-t-a-s/>
- Wahyuni, S. 2015. *Rancang Bangun Perangkat Lunak pada Semi Otomatis Alat Tenun Selendang Songket Palembang Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 128*. (Tesis), Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan.
- Weya, S. Hasanuddin, B. dan Arda, A. 2019. Sistem Peringatan Dini Bencana Tanah Longsor Berbasis Wireless Sensor Network di Kecamatan Sentani Jayapura. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*. **Vol. 9 no. 2 Desember 2019**: 113-122.
- Wijaya SN, O. 2015. Kendali Motor DC Menggunakan Sensor SRF (Sonar Range Finder) Pada Robot Webcam Berbasis Android.

- Yunus, M. *Sistem Komunikasi Wireless Jarak Jauh dan Berdaya Rendah*. Diakses 12 Mei 2021 dari <https://yunusmuhammad007.medium.com/1-lora-sistem-komunikasi-wireless-jarak-jauh-dan-berdaya-rendah-70dfc4d3c97d>.
- Zakaria, Z. 2009. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Laboratorium Geologi Teknik, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Geologi, Universitas Padjadjaran.
- Zourmand, A. Hung, C. Hing, A. dan Rehman, M. 2019. Internet of Things (IoT) using LoRa Technology. *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems*. **Juni 2019**.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Proses perancangan sistem pemantauan pergerakan tanah

- 1.1. Desain sistem pemantauan pergerakan tanah menggunakan sensor *rotary encoder*, mikrokontroler Esp32, modul RF 915mhz dan tampilan berbasis python.



**Gambar 1.** Proses perancangan sistem pemantauan pergerakan tanah

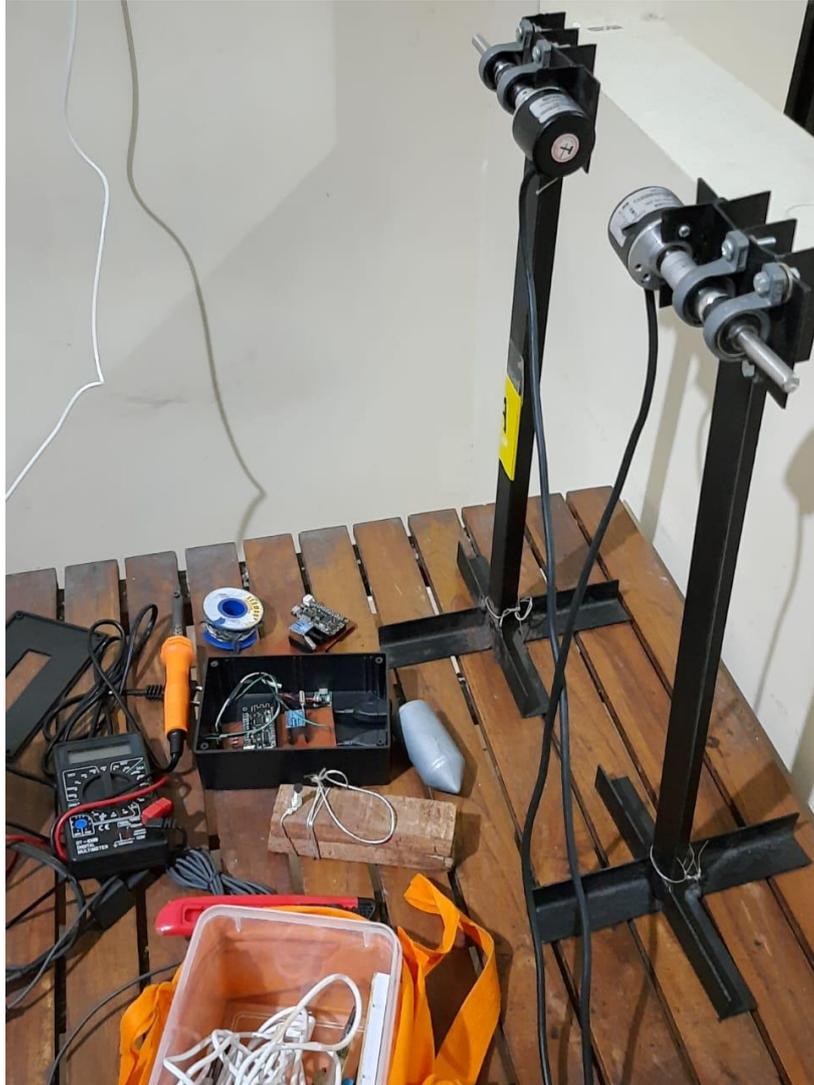
## 1.2. Perancangan skema rangkaian sistem pemantauan pergerakan tanah



**Gambar 2.** Proses perancangan skema rangkaian sistem pemantauan pergerakan tanah

## Lampiran 2. Proses Pembuatan Sistem Pemantauan Pergerakan Tanah

### 2.1. Persiapan Alat dan Bahan



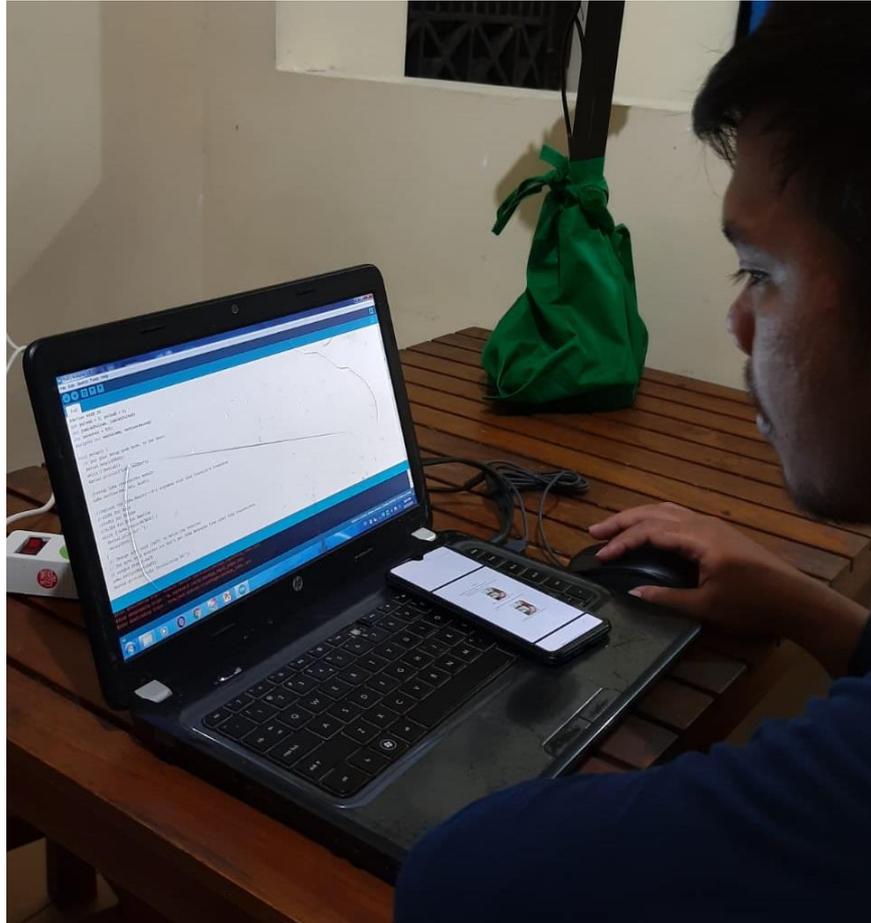
**Gambar 3.** Alat dan Bahan

## 2.2. Pembuatan Perangkat Keras



**Gambar 4.** Proses pembuatan perangkat keras

- 2.3. Pembuatan Perangkat Lunak 1
- a. Penulisan *sketch* program ESP32 pada subsistem akuisisi dan pemancar data



**Gambar 5.** Penulisan *sketch* program ESP32 subsistem sumber sinyal

- a. *Sketch* program ESP32 pada subsistem akuisisi dan pemancar data

```
#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

#define ss 5
#define rst 14
#define dio0 2
#define en1A 25
#define en1B 33
```

```

#define en2A 27
#define en2B 26
int pulsaA = 0, pulsaB = 0;
int jumlahPulsaA, jumlahPulsaB;
int interval = 500;
unsigned int waktulama, waktusekarang;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Sender");

  //setup LoRa transceiver module
  LoRa.setPins(ss, rst, dio0);

  //replace the LoRa.begin(---E-) argument with your location's
  frequency
  //433E6 for Asia
  //866E6 for Europe
  //915E6 for North America
  while (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println(".");
    delay(500);
  }
  // Change sync word (0xF3) to match the receiver
  // The sync word assures you don't get LoRa messages from other
  LoRa transceivers
  // ranges from 0-0xFF
  LoRa.setSyncWord(0xF2);
  Serial.println("LoRa Initializing OK!");

  pinMode(en1A, INPUT_PULLUP);
  pinMode(en1B, INPUT_PULLUP);
  pinMode(en2A, INPUT_PULLUP);
  pinMode(en2B, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(en1A, HIGH);

```

```

digitalWrite(en1B, HIGH);
digitalWrite(en2A, HIGH);
digitalWrite(en2B, HIGH);
attachInterrupt(en1A, encoderA, CHANGE);
attachInterrupt(en2A, encoderB, CHANGE);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  waktusekarang = millis();
  float centimeterA = jumlahPulsaA / 63.83;
  float millimeterA = jumlahPulsaA / 1;
  float centimeterB = jumlahPulsaB / 63.83;
  float millimeterB = jumlahPulsaB / 1;
  if (waktusekarang - waktulama >= interval) {
    waktulama = waktusekarang;
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.println(millimeterA);
    LoRa.print(millimeterB);
    LoRa.endPacket();

    Serial.print("Sending packet: ");
    Serial.println(millimeterA);
    Serial.println(millimeterB);

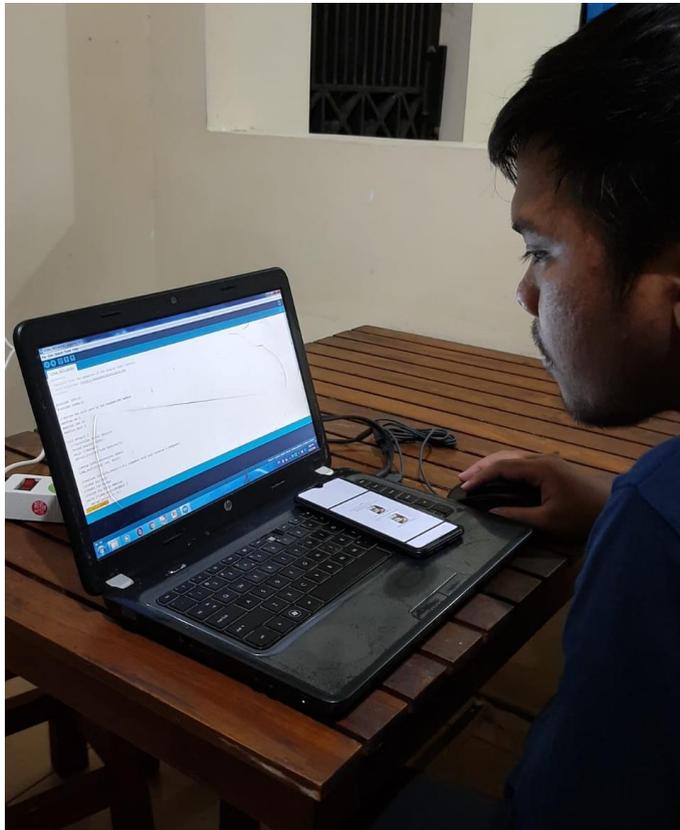
  }
}

void encoderA()
{
  if (digitalRead(en1A) == digitalRead(en1B))
  {
    pulsaA++;
  }
  else
  {
    pulsaA--;
  }
}

```

```
jumlahPulsaA = pulsaA / 1;  
}  
void encoderB()  
{  
  if (digitalRead(en2A) == digitalRead(en2B))  
  {  
    pulsaB++;  
  }  
  else  
  {  
    pulsaB--;  
  }  
  jumlahPulsaB = pulsaB / 1;  
}
```

- b. Penulisan *sketch* program ESP32 pada subsistem penerima data



**Gambar 6.** Pembuatan perangkat lunak ESP32 subsistem pengolahan sinyal

- c. *Sketch* program ESP32 pada subsistem penerima data

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//define the pins used by the transceiver module
#define ss 5
#define rst 14
#define dio0 2

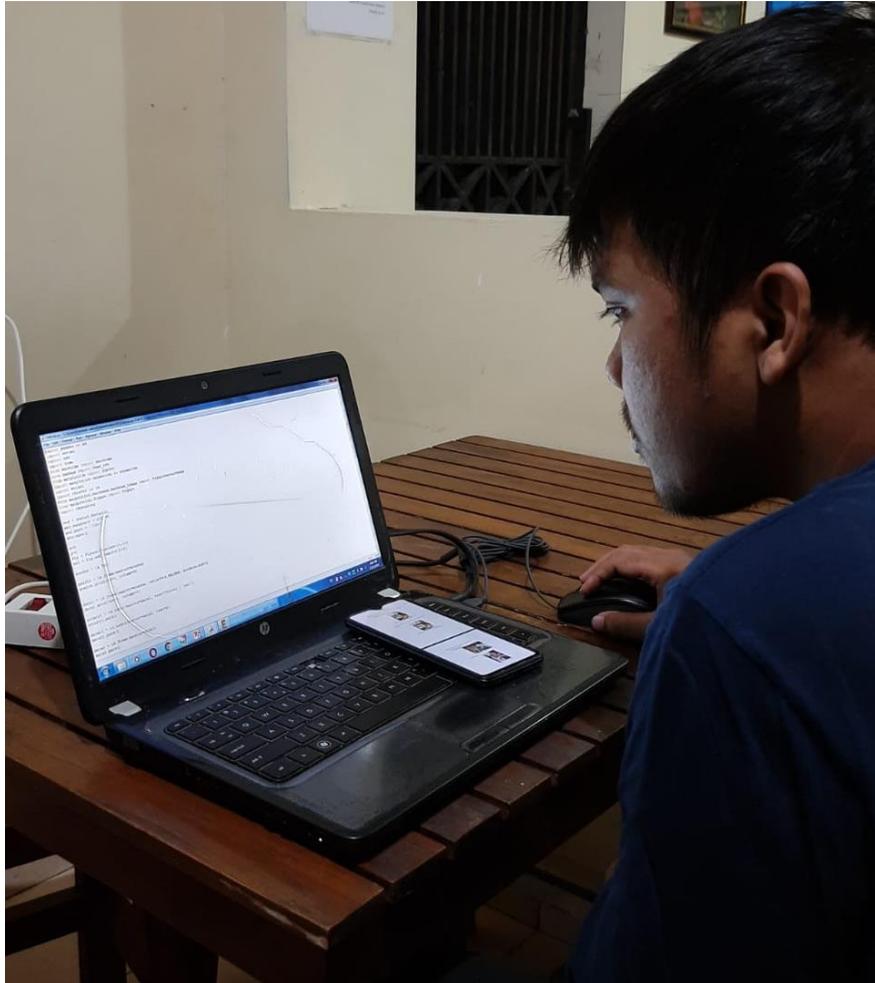
void setup() {
  //initialize Serial Monitor
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Receiver");

  //setup LoRa transceiver module
  LoRa.setPins(ss, rst, dio0);

  //replace the LoRa.begin(--E-) argument with your location's
  frequency
  //433E6 for Asia
  //866E6 for Europe
  //915E6 for North America
  while (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println(".");
    delay(500);
  }
}
```

```
    }  
    // Change sync word (0xF3) to match the receiver  
    // The sync word assures you don't get LoRa messages from other  
    LoRa transceivers  
    // ranges from 0-0xFF  
    LoRa.setSyncWord(0xF2);  
    Serial.println("LoRa Initializing OK!");  
  }  
  
void loop() {  
  // try to parse packet  
  int packetSize = LoRa.parsePacket();  
  if (packetSize) {  
  
    // read packet  
    while (LoRa.available()) {  
      String LoRaData = LoRa.readString();  
      Serial.println(LoRaData);  
    }  
  
  }  
}
```

- d. Penulisan *sketch* program tampilan pada subsistem pengolah data dan penampil hasil



**Gambar 7.** Pembuatan perangkat lunak pengolah data dan penampil hasil

- e. *Sketch* program tampilan
- ```
import pandas as pd
import serial
import csv
import time
from datetime import datetime
from pandas import read_csv
from matplotlib import pyplot
import matplotlib.animation as animation
import serial
```

```
import tkinter as tk
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
import threading

ser = serial.Serial()
ser.baudrate = 115200
ser.port = 'COM4'
ser.open()

z=0
y=0
fig = Figure(figsize=(5,5))
ax1 = fig.add_subplot(111)

window = tk.Tk()

grafik = tk.Frame(master=window)
grafik.grid(row=0, column=0)

data1 = tk.Frame(master=window, relief=tk.RAISED, borderwidth=5)
data1.grid(row=0, column=1)

rotary1 = tk.Label(master=data1, text="Rotary 1 (mm)")
rotary1.pack()

data11 = tk.Label(master=data1, text=y)
data11.pack()

data2 = tk.Frame(master=data1)
data2.pack()

rotary2 = tk.Label(master=data2, text="Rotary 2 (mm)")
rotary2.pack()
```

```

data22 = tk.Label(master=data2, text=z)
data22.pack()
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=grafik)
canvas.get_tk_widget().pack()

def baca():

    while True:

        data = ser.readline()
        data1 = ser.readline()
        hasil = float(data[0:len(data)-2].decode("utf-8"))

        hasil1 = float(data1[0:len(data)-2].decode("utf-8"))

        with open("data.csv","a") as f:
            writer = csv.writer(f,delimiter=",")
            time = datetime.now()
            now = time.strftime("%H:%M:%S")

            writer.writerow([now,hasil,hasil1])
def animate():
    while True:
        graph_data = open('data.csv','r').read()
        lines = graph_data.split("\n")
        xs = []
        ys = []
        zs = []
        for line in lines:
            if len(line)>1:
                x, y, z = line.split(',')
                dt = datetime.strptime(x,"%H:%M:%S")
                xs.append(dt)
                ys.append(float(y))
                zs.append(float(z))
        ax1.clear()
        ax1.plot(xs,ys)

```

```
ax1.plot(xs,zs)
data1["text"] = y
data2["text"] = z
canvas.draw_idle()
time.sleep(0.5)
```

```
thread1 = threading.Thread(target=baca)
thread1.start()
```

```
thread2 = threading.Thread(target=animate)
thread2.start()
```

```
window.mainloop()
ser.close()
```

3. Pengambilan *Dataset***Tabel 1.** *Dataset* hasil pengambilan pulsa

| <i>Rotary Encoder</i> | Pergerakan Tanah<br>( $\times 10^{-3}$ m) | Jumlah Pulsa |     |     |     |     |
|-----------------------|-------------------------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|
|                       |                                           | 1            | 2   | 3   | 4   | 5   |
| A                     | 1                                         | 23           | 24  | 20  | 28  | 30  |
| A                     | 2                                         | 48           | 59  | 46  | 53  | 45  |
| A                     | 3                                         | 73           | 91  | 81  | 85  | 76  |
| A                     | 4                                         | 117          | 120 | 114 | 108 | 108 |
| A                     | 5                                         | 130          | 137 | 131 | 134 | 135 |
| A                     | 6                                         | 150          | 178 | 158 | 171 | 160 |
| A                     | 7                                         | 193          | 195 | 188 | 187 | 184 |
| A                     | 8                                         | 214          | 213 | 215 | 206 | 218 |
| A                     | 9                                         | 237          | 227 | 225 | 232 | 240 |
| A                     | 10                                        | 257          | 254 | 261 | 265 | 267 |
| B                     | 1                                         | 29           | 28  | 28  | 22  | 22  |
| B                     | 2                                         | 53           | 48  | 52  | 51  | 49  |
| B                     | 3                                         | 89           | 92  | 85  | 88  | 105 |
| B                     | 4                                         | 119          | 126 | 128 | 129 | 128 |
| B                     | 5                                         | 138          | 143 | 139 | 152 | 149 |
| B                     | 6                                         | 168          | 165 | 170 | 173 | 174 |
| B                     | 7                                         | 202          | 201 | 205 | 209 | 205 |
| B                     | 8                                         | 228          | 223 | 232 | 229 | 220 |
| B                     | 9                                         | 257          | 240 | 260 | 259 | 258 |
| B                     | 10                                        | 294          | 297 | 305 | 307 | 307 |

## 4. Penentuan Fungsi Transfer

**Tabel 2.** Data pengolahan jumlah pulsa *rotary encoder A*

| <b>S (Output)</b> |    |    |    |    | <b>s (input)</b> |     |     |     |     | <b>s.s</b> |       |       |       |       | <b>s.S</b> |      |      |      |      |
|-------------------|----|----|----|----|------------------|-----|-----|-----|-----|------------|-------|-------|-------|-------|------------|------|------|------|------|
| 1                 | 1  | 1  | 1  | 1  | 23               | 24  | 20  | 28  | 30  | 529        | 576   | 400   | 784   | 900   | 23         | 24   | 20   | 28   | 30   |
| 2                 | 2  | 2  | 2  | 2  | 48               | 59  | 46  | 53  | 45  | 2304       | 3481  | 2116  | 2809  | 2025  | 96         | 118  | 92   | 106  | 90   |
| 3                 | 3  | 3  | 3  | 3  | 73               | 91  | 81  | 85  | 76  | 5329       | 8281  | 6561  | 7225  | 5776  | 219        | 273  | 243  | 255  | 228  |
| 4                 | 4  | 4  | 4  | 4  | 117              | 120 | 114 | 108 | 108 | 13689      | 14400 | 12996 | 11664 | 11664 | 468        | 480  | 456  | 432  | 432  |
| 5                 | 5  | 5  | 5  | 5  | 130              | 137 | 131 | 134 | 135 | 16900      | 18769 | 17161 | 17956 | 18225 | 650        | 685  | 655  | 670  | 675  |
| 6                 | 6  | 6  | 6  | 6  | 150              | 178 | 158 | 171 | 160 | 22500      | 31684 | 24964 | 29241 | 25600 | 900        | 1068 | 948  | 1026 | 960  |
| 7                 | 7  | 7  | 7  | 7  | 193              | 195 | 188 | 187 | 184 | 37249      | 38025 | 35344 | 34969 | 33856 | 1351       | 1365 | 1316 | 1309 | 1288 |
| 8                 | 8  | 8  | 8  | 8  | 214              | 213 | 215 | 206 | 218 | 45796      | 45369 | 46225 | 42436 | 47524 | 1712       | 1704 | 1720 | 1648 | 1744 |
| 9                 | 9  | 9  | 9  | 9  | 237              | 227 | 225 | 232 | 240 | 56169      | 51529 | 50625 | 53824 | 57600 | 2133       | 2043 | 2025 | 2088 | 2160 |
| 10                | 10 | 10 | 10 | 10 | 257              | 254 | 261 | 265 | 267 | 66049      | 64516 | 68121 | 70225 | 71289 | 2570       | 2540 | 2610 | 2650 | 2670 |

**Tabel 3.** Data pengolahan jumlah pulsa *rotary encoder B*

|    | S (Output) |    |    |    |    | s (input) |     |     |     |     | s.s   |       |       |       |       | s.S  |      |      |      |      |
|----|------------|----|----|----|----|-----------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 1  | 1          | 1  | 1  | 1  | 1  | 29        | 28  | 28  | 22  | 22  | 841   | 784   | 784   | 484   | 484   | 29   | 28   | 28   | 22   | 22   |
| 2  | 2          | 2  | 2  | 2  | 2  | 53        | 48  | 52  | 51  | 49  | 2809  | 2304  | 2704  | 2601  | 2401  | 106  | 96   | 104  | 102  | 98   |
| 3  | 3          | 3  | 3  | 3  | 3  | 89        | 92  | 85  | 88  | 105 | 7921  | 8464  | 7225  | 7744  | 11025 | 267  | 276  | 255  | 264  | 315  |
| 4  | 4          | 4  | 4  | 4  | 4  | 119       | 126 | 128 | 129 | 128 | 14161 | 15876 | 16384 | 16641 | 16384 | 476  | 504  | 512  | 516  | 512  |
| 5  | 5          | 5  | 5  | 5  | 5  | 138       | 143 | 139 | 152 | 149 | 19044 | 20449 | 19321 | 23104 | 22201 | 690  | 715  | 695  | 760  | 745  |
| 6  | 6          | 6  | 6  | 6  | 6  | 168       | 165 | 170 | 173 | 174 | 28224 | 27225 | 28900 | 29929 | 30276 | 1008 | 990  | 1020 | 1038 | 1044 |
| 7  | 7          | 7  | 7  | 7  | 7  | 202       | 201 | 205 | 209 | 205 | 40804 | 40401 | 42025 | 43681 | 42025 | 1414 | 1407 | 1435 | 1463 | 1435 |
| 8  | 8          | 8  | 8  | 8  | 8  | 228       | 223 | 232 | 229 | 220 | 51984 | 49729 | 53824 | 52441 | 48400 | 1824 | 1784 | 1856 | 1832 | 1760 |
| 9  | 9          | 9  | 9  | 9  | 9  | 257       | 240 | 260 | 259 | 258 | 66049 | 57600 | 67600 | 67081 | 66564 | 2313 | 2160 | 2340 | 2331 | 2322 |
| 10 | 10         | 10 | 10 | 10 | 10 | 294       | 297 | 305 | 307 | 307 | 86436 | 88209 | 93025 | 94249 | 94249 | 2940 | 2970 | 3050 | 3070 | 3070 |

|              |         |
|--------------|---------|
| $\Sigma s$   | 15291   |
| $\Sigma S$   | 550     |
| $\Sigma s^2$ | 2986319 |
| $\Sigma sS$  | 107009  |
| k            | 100     |

$$a. A = \frac{\Sigma S \Sigma s^2 - \Sigma s \Sigma sS}{k \Sigma s^2 - (\Sigma s)^2}$$

$$A = \frac{15291 \times 2986319 - 15291 \times 107009}{100 \times 2986319 - (15291)^2}$$

$$A = \frac{1642475450 - 1636274619}{298631900 - 233814681}$$

$$A = 0.09566642$$

$$\begin{aligned} \text{b. } B &= \frac{k \sum sS - \sum s \sum S}{k \sum s^2 - (\sum s)^2} \\ B &= \frac{100 \times 107009 - 15291 \times 15291}{100 \times 2986319 - (15291)^2} \\ B &= \frac{10700900 - 8410050}{298631900 - 233814681} \\ B &= 0.0353432 \end{aligned}$$

## 5. Pembuatan Perangkat lunak penampil 2

*Sketch* program penampil data setelah diperbarui

```

import pandas as pd
import serial
import csv
import time
from datetime import datetime
from pandas import read_csv
from matplotlib import pyplot
import matplotlib.animation as animation
import serial
import tkinter as tk
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
from matplotlib.figure import Figure
import threading

ser = serial.Serial()
ser.baudrate = 115200
ser.port = 'COM4'
ser.open()

z=0
y=0
fig = Figure(figsize=(5,5))
ax1 = fig.add_subplot(111)

window = tk.Tk()

grafik = tk.Frame(master=window)
grafik.grid(row=0, column=0)

data1 = tk.Frame(master=window, relief=tk.RAISED, borderwidth=5)
data1.grid(row=0, column=1)

```

```
rotary1 = tk.Label(master=data1, text="Rotary 1 (mm)")
rotary1.pack()
```

```
data11 = tk.Label(master=data1, text=y)
data11.pack()
```

```
data2 = tk.Frame(master=data1)
data2.pack()
```

```
rotary2 = tk.Label(master=data2, text="Rotary 2 (mm)")
rotary2.pack()
```

```
data22 = tk.Label(master=data2, text=z)
data22.pack()
canvas = FigureCanvasTkAgg(fig, master=grafik)
canvas.get_tk_widget().pack()
```

```
def baca():
```

```
    while True:
```

```
        data = ser.readline()
        data1 = ser.readline()
        hasil = float(data[0:len(data)-2].decode("utf-8"))
        hasil = float(hasil*0.0353432+0.09566642)
        hasil = round(hasil)
```

```
        hasil1 = float(data1[0:len(data)-2].decode("utf-8"))
        hasil1 = float(hasil1*0.0353432+0.09566642)
        hasil1 = round(hasil1)
```

```
        with open("data.csv","a") as f:
            writer = csv.writer(f,delimiter=",")
            time = datetime.now()
            now = time.strftime("%H:%M:%S")
```

```

        writer.writerow([now,hasil,hasil1])
def animate():
    while True:
        graph_data = open('data.csv','r').read()
        lines = graph_data.split('\n')
        xs = []
        ys = []
        zs = []
        for line in lines:
            if len(line)>1:
                x, y, z = line.split(',')
                dt = datetime.strptime(x, "%H:%M:%S")
                xs.append(dt)
                ys.append(float(y))
                zs.append(float(z))
        ax1.clear()
        ax1.plot(xs,ys)
        ax1.plot(xs,zs)
        data1["text"] = y
        data2["text"] = z
        canvas.draw_idle()
        time.sleep(0.5)

thread1 = threading.Thread(target=baca)
thread1.start()

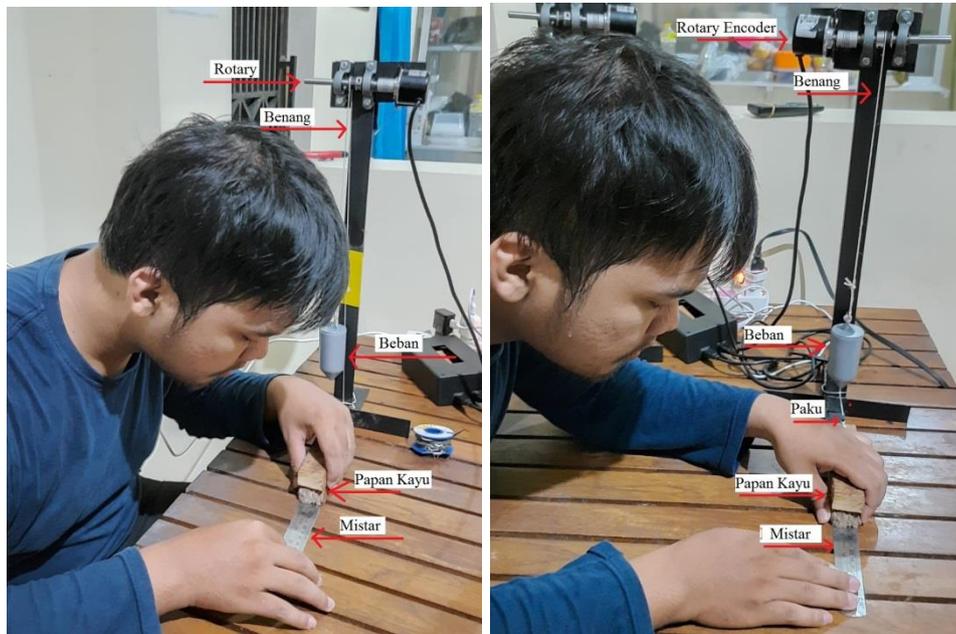
thread2 = threading.Thread(target=animate)
thread2.start()

window.mainloop()
ser.close()

```

### Lampiran 3. Proses Pengujian sistem pemantauan pergerakan tanah

#### 1. Pengambilan Data



**Gambar 8.** Pengambilan data dari *rotary* A (kiri) dan B (kanan)

**Tabel 4.** Hasil pengambilan data

| <i>Rotary Encoder</i> | Pergerakan Tanah ( $\times 10^{-3}$ m) | Pergerakan terdeteksi ( $\times 10^{-3}$ m) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                       |                                        | 1                                           | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| A                     | 1                                      | 1                                           | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| A                     | 2                                      | 2                                           | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| A                     | 3                                      | 3                                           | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| A                     | 4                                      | 4                                           | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| A                     | 5                                      | 5                                           | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| A                     | 6                                      | 6                                           | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| A                     | 7                                      | 7                                           | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| A                     | 8                                      | 8                                           | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 7  | 8  |
| A                     | 9                                      | 9                                           | 8  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 8  | 8  | 9  |
| A                     | 10                                     | 9                                           | 9  | 10 | 10 | 10 | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  |
| B                     | 1                                      | 1                                           | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| B                     | 2                                      | 2                                           | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  |
| B                     | 3                                      | 3                                           | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  |
| B                     | 4                                      | 4                                           | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| B                     | 5                                      | 5                                           | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  |
| B                     | 6                                      | 6                                           | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  |
| B                     | 7                                      | 7                                           | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  |
| B                     | 8                                      | 8                                           | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  |
| B                     | 9                                      | 9                                           | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  |
| B                     | 10                                     | 10                                          | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9  |

## 2. Pengolahan Data

a. Pengolahan data *rotary* A**Tabel 5.** Hasil pengolahan data *rotary* A

| y1 | y2 | y3 | y4 | y5 | y6 | y7 | y8 | y9 | y10 | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | $\sum x$ | $\bar{x}$ |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----------|-----------|
| 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 10       | 1         |
| 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 20       | 2         |
| 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 30       | 3         |
| 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 40       | 4         |
| 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 50       | 5         |
| 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6   | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6   | 60       | 6         |
| 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7   | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7   | 70       | 7         |
| 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8   | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 7  | 8   | 79       | 7.9       |
| 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9   | 9  | 8  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 8  | 8  | 9   | 87       | 8.7       |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10  | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 9  | 9  | 9  | 9  | 9   | 93       | 9.3       |

| $y^2$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    | $x^2$ |    |    |    |    |    |    |    |    |    | $\sum x^2$ |     |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|-----|
| 1     | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1     | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1          | 10  |
| 4     | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4     | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4          | 40  |
| 9     | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9     | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9          | 90  |
| 16    | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16    | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16         | 160 |
| 25    | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25    | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25         | 250 |
| 36    | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36    | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36         | 360 |
| 49    | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49    | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49         | 490 |

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |    |    |    |    |    |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|
| 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64 | 64 | 64  | 64  | 64  | 64 | 64 | 64 | 49 | 64 | 625 |
| 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81 | 64 | 81  | 81  | 81  | 81 | 81 | 64 | 64 | 81 | 759 |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 81 | 81 | 100 | 100 | 100 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 867 |

| x.y |    |     |     |     |    |    |    |    |    |
|-----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 4   | 4  | 4   | 4   | 4   | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 9   | 9  | 9   | 9   | 9   | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  |
| 16  | 16 | 16  | 16  | 16  | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 25  | 25 | 25  | 25  | 25  | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 36  | 36 | 36  | 36  | 36  | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 49  | 49 | 49  | 49  | 49  | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| 64  | 64 | 64  | 64  | 64  | 64 | 64 | 64 | 56 | 64 |
| 81  | 72 | 81  | 81  | 81  | 81 | 81 | 72 | 72 | 81 |
| 90  | 90 | 100 | 100 | 100 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |

|              |      |
|--------------|------|
| $\Sigma y$   | 550  |
| $\Sigma x$   | 541  |
| $\Sigma y^2$ | 3850 |
| $\Sigma x^2$ | 3706 |
| $\Sigma yx$  | 3764 |

1) Akurasi

$$\text{Ketidakuratan (\%)} = \left| \frac{X_{\text{alat}} - X_{\text{standar}}}{X_{\text{standar}}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = \left| \frac{1-1}{1} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = \left| \frac{0}{1} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = \left| \frac{2-2}{2} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = \left| \frac{0}{2} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = \left| \frac{3-3}{3} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = \left| \frac{0}{3} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = \left| \frac{4-4}{4} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = \left| \frac{0}{4} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = \left| \frac{5-5}{5} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = \left| \frac{0}{5} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = \left| \frac{6-6}{6} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = \left| \frac{0}{6} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = \left| \frac{7-7}{7} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = \left| \frac{0}{7} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = \left| \frac{7,9-8}{8} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = \left| \frac{0,1}{8} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = 0,0125x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = 1,25\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = \left| \frac{8,7-9}{9} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = \left| \frac{0,3}{9} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = 0,0333x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = 3,33\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = \left| \frac{9,3-10}{10} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = \left| \frac{0,7}{10} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = 0,07x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = 7\%$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan (\%)}$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 1 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\%$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 2 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\%$$

$$\text{Akurasi 3 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 3 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 3 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 3 (\%)} = 100\%$$

$$\text{Akurasi 4 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 4 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 4 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 4 (\%)} = 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 5 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 5 (\%)} \\ \text{Akurasi 5 (\%)} &= 100\% - 0\% \\ \text{Akurasi 5 (\%)} &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 6 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 6 (\%)} \\ \text{Akurasi 6 (\%)} &= 100\% - 0\% \\ \text{Akurasi 6 (\%)} &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 7 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 7 (\%)} \\ \text{Akurasi 7 (\%)} &= 100\% - 0\% \\ \text{Akurasi 7 (\%)} &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 8 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 8 (\%)} \\ \text{Akurasi 8 (\%)} &= 100\% - 1,25\% \\ \text{Akurasi 8 (\%)} &= 98,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 9 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 9 (\%)} \\ \text{Akurasi 9 (\%)} &= 100\% - 3,33\% \\ \text{Akurasi 9 (\%)} &= 96,67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi 10 (\%)} &= 100\% - \text{Ketidakuratan 10 (\%)} \\ \text{Akurasi 10 (\%)} &= 100\% - 7\% \\ \text{Akurasi 10 (\%)} &= 93\% \end{aligned}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{\text{Akurasi 1} + \text{Akurasi 2} + \text{Akurasi 3} + \text{Akurasi 4} + \text{Akurasi 5} + \text{Akurasi 6} + \text{Akurasi 7} + \text{Akurasi 8} + \text{Akurasi 9} + \text{Akurasi 10}}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{100\%+100\%+100\%+100\%+100\%+100\%+100\%+98,75\%+96,67\%+93\%}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{988,42\%}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 98,842\%$$

2) Presisi

$$SD1 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{10 - \frac{(10)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{10-10}{9}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD1 = \sqrt{0}$$

$$SD1 = 0$$

$$\%RSD1 = \frac{SD1}{\bar{x}_1} \times 100\%$$

$$\%RSD1 = \frac{0}{1} \times 100\%$$

$$\%RSD1 = 0\%$$

$$\text{Presisi1} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi1} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi1} = 100\%$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{40 - \frac{(20)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{40-400}{9}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD2 = \sqrt{0}$$

$$SD2 = 0$$

$$\%RSD2 = \frac{SD2}{x2} \times 100\%$$

$$\%RSD2 = \frac{0}{2} \times 100\%$$

$$\%RSD2 = 0\%$$

$$\text{Presisi2} = 100\% - \%RSD2$$

$$\text{Presisi2} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi2} = 100\%$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{90 - \frac{(30)^2}{10}}{10 - 1}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{90 - 90}{9}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD3 = \sqrt{0}$$

$$SD3 = 0$$

$$\%RSD3 = \frac{SD3}{x3} \times 100\%$$

$$\%RSD3 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$\%RSD3 = 0\%$$

$$\text{Presisi3} = 100\% - \%RSD3$$

$$\text{Presisi3} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi3} = 100\%$$

$$SD4 = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD4 = \sqrt{\frac{160 - \frac{(40)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD4 = \sqrt{\frac{160-160}{9}}$$

$$SD4 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD4 = \sqrt{0}$$

$$SD4 = 0$$

$$\%RSD4 = \frac{SD4}{x^4} \times 100\%$$

$$\%RSD4 = \frac{0}{4} \times 100\%$$

$$\%RSD4 = 0\%$$

$$\text{Presisi4} = 100\% - \%RSD4$$

$$\text{Presisi4} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi4} = 100\%$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{250 - \frac{(50)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{250-250}{9}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD5 = \sqrt{0}$$

$$SD5 = 0$$

$$\%RSD5 = \frac{SD5}{\bar{x}_5} \times 100\%$$

$$\%RSD5 = \frac{0}{5} \times 100\%$$

$$\%RSD5 = 0\%$$

$$\text{Presisi5} = 100\% - \%RSD5$$

$$\text{Presisi5} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi5} = 100\%$$

$$SD6 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD6 = \sqrt{\frac{360 - \frac{(60)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD6 = \sqrt{\frac{360-360}{9}}$$

$$SD6 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD6 = \sqrt{0}$$

$$SD6 = 0$$

$$\%RSD6 = \frac{SD6}{x6} \times 100\%$$

$$\%RSD6 = \frac{0}{6} \times 100\%$$

$$\%RSD6 = 0\%$$

$$\text{Presisi6} = 100\% - \%RSD6$$

$$\text{Presisi6} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi6} = 100\%$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{490 - \frac{(70)^2}{10}}{10 - 1}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{490 - 490}{9}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD7 = \sqrt{0}$$

$$SD7 = 0$$

$$\%RSD7 = \frac{SD7}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$\%RSD7 = \frac{0}{7} \times 100\%$$

$$\%RSD7 = 0\%$$

$$\text{Presisi7} = 100\% - \%RSD7$$

$$\text{Presisi7} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi7} = 100\%$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{625 - \frac{(79)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{625 - 624,1}{9}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{0,9}{9}}$$

$$SD8 = \sqrt{0,1}$$

$$SD8 = 0,316$$

$$\%RSD8 = \frac{SD1}{x1} \times 100\%$$

$$\%RSD8 = \frac{0,316}{7,9} \times 100\%$$

$$\%RSD8 = 4\%$$

$$\text{Presisi8} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi8} = 100\% - 4\%$$

$$\text{Presisi8} = 96\%$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{759 - \frac{(87)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{759-756,9}{9}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{2,1}{9}}$$

$$SD9 = \sqrt{0,23}$$

$$SD9 = 0,48$$

$$\%RSD9 = \frac{SD1}{x1} \times 100\%$$

$$\%RSD9 = \frac{0,48}{8,7} \times 100\%$$

$$\%RSD9 = 5,5\%$$

$$\text{Presisi9} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi9} = 100\% - 5,5\%$$

$$\text{Presisi9} = 94,5\%$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{867 - \frac{(93)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{867 - 864,9}{9}}$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{2,1}{9}}$$

$$SD10 = \sqrt{0,23}$$

$$SD10 = 0,48$$

$$\%RSD10 = \frac{SD10}{x10} \times 100\%$$

$$\%RSD10 = \frac{0,48}{9,3} \times 100\%$$

$$\%RSD10 = 5,16\%$$

$$\text{Presisi10} = 100\% - \%RSD10$$

$$\text{Presisi10} = 100\% - 5,16\%$$

$$\text{Presisi10} = 94,84\%$$

$$\text{Presisi (\%)} = \frac{\text{Presisi1} + \text{Presisi2} + \text{Presisi3} + \text{Presisi4} + \text{Presisi5} + \text{Presisi6} + \text{Presisi7} + \text{Presisi8} + \text{Presisi9} + \text{Presisi10}}{10}$$

$$\text{Presisi (\%)} = \frac{100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 96\% + 94,5\% + 94,48\%}{10}$$

$$\text{Presisi (\%)} = \frac{984,98}{10}$$

$$\text{Presisi (\%)} = 98,498\%$$

### 3) Kelayakan Alat

$$r_{\text{hitung}} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r_{\text{hitung}} = \frac{100 \times 3764 - 541 \times 550}{\sqrt{[100 \times 3706 - (541)^2][100 \times 3850 - (550)^2]}}$$

$$r_{hitung} = \frac{376400 - 297550}{\sqrt{[370600 - 292681][385000 - 302500]}}$$

$$r_{hitung} = \frac{78850}{\sqrt{77919 \times 82500}}$$

$$r_{hitung} = \frac{78850}{80176,789}$$

$$r_{hitung} = 0,983$$

b. Pengolahan data *rotary* B

**Tabel 6.** Hasil pengolahan data *rotary* B

| y1 | y2 | y3 | y4 | y5 | y6 | y7 | y8 | y9 | y10 | x1 | x2 | x3 | x4 | x5 | x6 | x7 | x8 | x9 | x10 | $\sum x$ | $\bar{x}$ |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----------|-----------|
| 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1   | 10       | 1         |
| 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   | 20       | 2         |
| 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3   | 30       | 3         |
| 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   | 40       | 4         |
| 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5  | 5   | 50       | 5         |
| 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6   | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6   | 60       | 6         |
| 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7   | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7  | 7   | 70       | 7         |
| 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8   | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8   | 80       | 8         |
| 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9   | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9   | 90       | 9         |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9   | 99       | 9.9       |

| $y^2$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     | $x^2$ |     |     |     |     |     |     |     |     |    | $\Sigma x^2$ |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|--------------|
| 1     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 10           |
| 4     | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4     | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4  | 40           |
| 9     | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9     | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9  | 90           |
| 16    | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16    | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16 | 160          |
| 25    | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25    | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25 | 250          |
| 36    | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36    | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36 | 360          |
| 49    | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49    | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49 | 490          |
| 64    | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64    | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64 | 640          |
| 81    | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81    | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81 | 810          |
| 100   | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100   | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 81 | 981          |

| $x.y$ |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 1     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  |
| 4     | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4  |
| 9     | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9   | 9  |
| 16    | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16 |
| 25    | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25  | 25 |
| 36    | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36  | 36 |
| 49    | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49  | 49 |
| 64    | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64  | 64 |
| 81    | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81  | 81 |
| 100   | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 |

|              |      |
|--------------|------|
| $\Sigma y$   | 550  |
| $\Sigma x$   | 549  |
| $\Sigma y^2$ | 3850 |
| $\Sigma x^2$ | 3831 |
| $\Sigma yx$  | 3840 |

## 1) Akurasi

$$\text{Ketidakuratan (\%)} = \left| \frac{X_{\text{alat}} - X_{\text{standar}}}{X_{\text{standar}}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = \left| \frac{1-1}{1} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = \left| \frac{0}{1} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = 0 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 1 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = \left| \frac{2-2}{2} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = \left| \frac{0}{2} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = 0 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 2 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = \left| \frac{3-3}{3} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = \left| \frac{0}{3} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = 0 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 3 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = \left| \frac{4-4}{4} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = \left| \frac{0}{4} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 4 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = \left| \frac{5-5}{5} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = \left| \frac{0}{5} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 5 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = \left| \frac{6-6}{6} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = \left| \frac{0}{6} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 6 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = \left| \frac{7-7}{7} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = \left| \frac{0}{7} \right| x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = 0x 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 7 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = \left| \frac{8-8}{8} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = \left| \frac{0}{8} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = 0 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 8 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = \left| \frac{9-9}{9} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = \left| \frac{0}{9} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = 0 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 9 (\%)} = 0\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = \left| \frac{9,9-10}{10} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = \left| \frac{0,1}{10} \right| \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = 0,01 \times 100\%$$

$$\text{Ketidakuratan 10 (\%)} = 1\%$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan (\%)}$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 1 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 1 (\%)} = 100\%$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 2 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Akurasi 2 (\%)} = 100\%$$

Akurasi 3 (%) = 100% - Ketidakuratan 3 (%)  
Akurasi 3 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 3 (%) = 100%

Akurasi 4 (%) = 100% - Ketidakuratan 4 (%)  
Akurasi 4 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 4 (%) = 100%

Akurasi 5 (%) = 100% - Ketidakuratan 5 (%)  
Akurasi 5 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 5 (%) = 100%

Akurasi 6 (%) = 100% - Ketidakuratan 6 (%)  
Akurasi 6 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 6 (%) = 100%

Akurasi 7 (%) = 100% - Ketidakuratan 7 (%)  
Akurasi 7 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 7 (%) = 100%

Akurasi 8 (%) = 100% - Ketidakuratan 8 (%)  
Akurasi 8 (%) = 100% - 0 %  
Akurasi 8 (%) = 100%

Akurasi 9 (%) = 100% - Ketidakuratan 9 (%)  
Akurasi 9 (%) = 100% - 0 %

$$\text{Akurasi 9 (\%)} = 100\%$$

$$\text{Akurasi 10 (\%)} = 100\% - \text{Ketidakuratan 10 (\%)}$$

$$\text{Akurasi 10 (\%)} = 100\% - 1\%$$

$$\text{Akurasi 10 (\%)} = 99\%$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{\text{Akurasi 1} + \text{Akurasi 2} + \text{Akurasi 3} + \text{Akurasi 4} + \text{Akurasi 5} + \text{Akurasi 6} + \text{Akurasi 7} + \text{Akurasi 8} + \text{Akurasi 9} + \text{Akurasi 10}}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 99,9\%}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{999,9\%}{10}$$

$$\text{Akurasi (\%)} = 99,990\%$$

2) Presisi

$$SD1 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{10 - \frac{(10)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{10-10}{9}}$$

$$SD1 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD1 = \sqrt{0}$$

$$SD1 = 0$$

$$\%RSD1 = \frac{SD1}{x1} \times 100\%$$

$$\%RSD1 = \frac{0}{1} \times 100\%$$

$$\%RSD1 = 0\%$$

$$\text{Presisi1} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi1} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi1} = 100\%$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{40 - \frac{(20)^2}{10}}{10 - 1}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{40 - 400}{9}}$$

$$SD2 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD2 = \sqrt{0}$$

$$SD2 = 0$$

$$\%RSD2 = \frac{SD2}{\bar{x}^2} \times 100\%$$

$$\%RSD2 = \frac{0}{2} \times 100\%$$

$$\%RSD2 = 0\%$$

$$\text{Presisi2} = 100\% - \%RSD2$$

$$\text{Presisi2} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi2} = 100\%$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{90 - \frac{(30)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{90-90}{9}}$$

$$SD3 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD3 = \sqrt{0}$$

$$SD3 = 0$$

$$\%RSD3 = \frac{SD3}{x3} \times 100\%$$

$$\%RSD3 = \frac{0}{3} \times 100\%$$

$$\%RSD3 = 0\%$$

$$\text{Presisi3} = 100\% - \% \text{RSD3}$$

$$\text{Presisi3} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi3} = 100\%$$

$$\text{SD4} = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

$$\text{SD4} = \sqrt{\frac{160 - \frac{(40)^2}{10}}{10-1}}$$

$$\text{SD4} = \sqrt{\frac{160-160}{9}}$$

$$\text{SD4} = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$\text{SD4} = \sqrt{0}$$

$$\text{SD4} = 0$$

$$\%RSD4 = \frac{SD4}{\bar{x}4} \times 100\%$$

$$\%RSD4 = \frac{0}{4} \times 100\%$$

$$\%RSD4 = 0\%$$

$$\text{Presisi4} = 100\% - \%RSD4$$

$$\text{Presisi4} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi4} = 100\%$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{250 - \frac{(50)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{250-250}{9}}$$

$$SD5 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD5 = \sqrt{0}$$

$$SD5 = 0$$

$$\%RSD5 = \frac{SD5}{x5} \times 100\%$$

$$\%RSD5 = \frac{0}{5} \times 100\%$$

$$\%RSD5 = 0\%$$

$$\text{Presisi5} = 100\% - \%RSD5$$

$$\text{Presisi5} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi5} = 100\%$$

$$SD6 = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD_6 = \sqrt{\frac{360 - \frac{(60)^2}{10}}{10 - 1}}$$

$$SD_6 = \sqrt{\frac{360 - 360}{9}}$$

$$SD_6 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD_6 = \sqrt{0}$$

$$SD_6 = 0$$

$$\%RSD_6 = \frac{SD_6}{\bar{x}_6} \times 100\%$$

$$\%RSD_6 = \frac{0}{6} \times 100\%$$

$$\%RSD_6 = 0\%$$

$$\text{Presisi}_6 = 100\% - \%RSD_6$$

$$\text{Presisi}_6 = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi}_6 = 100\%$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{490 - \frac{(70)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{490-490}{9}}$$

$$SD7 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD7 = \sqrt{0}$$

$$SD7 = 0$$

$$\%RSD7 = \frac{SD7}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$\%RSD7 = \frac{0}{7} \times 100\%$$

$$\%RSD7 = 0\%$$

$$\text{Presisi7} = 100\% - \%RSD7$$

$$\text{Presisi7} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi7} = 100\%$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{640 - \frac{(80)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{640-640}{9}}$$

$$SD8 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD8 = \sqrt{0}$$

$$SD8 = 0$$

$$\%RSD8 = \frac{SD1}{x1} \times 100\%$$

$$\%RSD8 = \frac{0}{8} \times 100\%$$

$$\%RSD8 = 0\%$$

$$\text{Presisi8} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi8} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi8} = 100\%$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{810 - \frac{(90)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{810-810}{9}}$$

$$SD9 = \sqrt{\frac{0}{9}}$$

$$SD9 = \sqrt{0}$$

$$SD9 = 0$$

$$\%RSD9 = \frac{SD1}{x1} \times 100\%$$

$$\%RSD9 = \frac{0}{9} \times 100\%$$

$$\%RSD9 = 0\%$$

$$\text{Presisi9} = 100\% - \%RSD1$$

$$\text{Presisi9} = 100\% - 0\%$$

$$\text{Presisi9} = 100\%$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{\sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{n}}{n-1}}$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{981 - \frac{(99)^2}{10}}{10-1}}$$

$$SD10 = \sqrt{\frac{981 - 980,1}{9}}$$

$$SD_{10} = \sqrt{\frac{0,9}{9}}$$

$$SD_{10} = \sqrt{0,1}$$

$$SD_{10} = 0,316$$

$$\%RSD_{10} = \frac{SD_{10}}{x_{10}} \times 100\%$$

$$\%RSD_{10} = \frac{0,316}{9,9} \times 100\%$$

$$\%RSD_{10} = 3,19\%$$

$$\text{Presisi}_{10} = 100\% - \%RSD_{10}$$

$$\text{Presisi}_{10} = 100\% - 3,19\%$$

$$\text{Presisi}_{10} = 96,81\%$$

$$\text{Presisi } (\%) = \frac{\text{Presisi}_{10} + \text{Presisi}_{9} + \text{Presisi}_{8} + \text{Presisi}_{7} + \text{Presisi}_{6} + \text{Presisi}_{5} + \text{Presisi}_{4} + \text{Presisi}_{3} + \text{Presisi}_{2} + \text{Presisi}_{1}}{10}$$

$$\text{Presisi } (\%) = \frac{100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 96,81\%}{10}$$

$$\text{Presisi } (\%) = \frac{996,81}{10}$$

$$\text{Presisi } (\%) = 99,681\%$$

## 3) Kelayakan Alat

$$r_{\text{hitung}} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r_{\text{hitung}} = \frac{100 \times 3840 - 549 \times 550}{\sqrt{[100 \times 3831 - (549)^2][100 \times 3850 - (550)^2]}}$$

$$r_{\text{hitung}} = \frac{384000 - 297550}{\sqrt{[383100 - 301401][385000 - 302500]}}$$

$$r_{\text{hitung}} = \frac{86450}{\sqrt{81699 \times 82500}}$$

$$r_{\text{hitung}} = \frac{78850}{82098,523}$$

$$r_{\text{hitung}} = 0,960$$

## CURICULUM VITAE

Nama : Hanif Fata Mustaqim  
Tempat Tanggal Lahir: Sleman, 19 Mei 1998  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Jurusan/ Fakultas : Fisika/ Sains dan Teknologi  
Perguruan Tinggi : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
No Hp : 0895328830504  
Email : hanfamus@gmail.com  
Alamat : Gumawang, Belitang, OKU Timur, Sumatra Selatan  
Riwayat Pendidikan :



- SD Negeri 03 Gumawang (2004 - 2010)
- SMP Negeri 1 Belitang (2010 - 2013)
- SMA Negeri 1 Belitang (2013 - 2016)
- Program S1 Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta (2017 – 2022)