

**MONITORING TEGANGAN, KECEPATAN DAN ARUS PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK PIKO HIDRO (PLTPH) BERBASIS  
APLIKASI ANDROID**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**M. Amal Hidayat Feysan**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2025**

## ABSTRAK

### **Monitoring Tegangan, Kecepatan Dan Arus Pada Pembangkit Listrik Piko Hidro (PLTPH) Berbasis Aplikasi Android**

Oleh

**M.Amal Hidayat Feysan**

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan salah satu solusi energi terbarukan berskala kecil dengan aliran air terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *monitoring* berbasis aplikasi android guna memantau parameter tegangan, kecepatan, dan arus listrik pada PLTPH secara *real-time*. Sistem menggunakan sensor tegangan, sensor kecepatan LM393, dan sensor arus ACS712 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Data sensor dikirimkan ke *Firebase* sebagai *database real-time* dan ditampilkan melalui aplikasi android yang dikembangkan menggunakan *platform* MIT App Inventor.

Hasil pengujian menunjukkan sistem monitoring memiliki tingkat akurasi pembacaan Tegangan 99.92%, Kecepatan 99.92% dan Arus 100% dengan rata-rata selisih pembacaan tegangan sebesar 0,003V, kecepatan 2.97 rpm dan arus 0.00026 A antara sensor dan multimeter. Pada pengujian keseluruhan, sistem mampu membaca tegangan berkisar antara 11,84–12,02 V, kecepatan generator antara 1.128–1.347 rpm, dan arus antara 1,63–1,67 A dan pembacaan ini sesuai dengan spesifikasi PLTPH yang dipakai. Aplikasi memberikan kemudahan akses data secara *real-time*, serta mendapatkan nilai rata-rata 85% dalam uji keandalan berbasis ISO 9126.

Sistem ini terbukti efektif dalam memantau kinerja PLTPH, mendeteksi potensi gangguan lebih dini dan meningkatkan efisiensi operasional. Selain itu, desainnya yang berbasis IoT memungkinkan aplikasi ini diadaptasi untuk berbagai monitoring perangkat lainnya.

Kata Kunci: Monitoring, Aplikasi Android, Pembangkit Listrik, IoT, PLTPH.

**ABSTRACT*****Monitoring Voltage, Speed and Current at Piko Hydro Power Plants Based on Android Applications*****By*****M. Amal Hidayat Feysan***

*The Piko Hydro Power Plant is a small-scale renewable energy solution with limited water flow. This research aims to design an Android application-based monitoring system to monitor voltage, speed and electric current parameters in Piko Hydro Power Plant in real-time. The system uses a voltage sensor, LM393 speed sensor, and ACS712 current sensor integrated with an ESP32 microcontroller. Sensor data is sent to Firebase as a real-time database and displayed through an Android application developed using the MIT App Inventor platform.*

*The test results show that the monitoring system has a voltage reading accuracy level of 99.92%, speed 99.92% and current 100% with an average difference in voltage readings of 0.003V, speed 2.97 rpm and current 0.00026 A between the sensor and the multimeter. In the overall test, the system was able to read voltages ranging between 11.84–12.02 V, generator speed between 1,128–1,347 rpm, and currents between 1.63–1.67 A and these readings were in accordance with the PLTPH specifications used. The application provides easy real-time data access, and received an average score of 85% in the ISO 9126-based reliability test.*

*This system has proven effective in monitoring PLTPH performance, detecting potential disruptions early and increasing operational efficiency. In addition, its IoT-based design allows this application to be adapted for monitoring various other devices.*

**Keywords:** *Monitoring, Android Application, Power Generation, IoT, PLTPH*

**MONITORING TEGANGAN, KECEPATAN DAN ARUS PADA  
PEMBANGKIT LISTRIK PIKO HIDRO (PLTPH) BERBASIS  
APLIKASI ANDROID**

**Oleh**

**M. Amal Hidayat Feysan**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar**

**SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2025**

Judul Skripsi : **MONITORING TEGANGAN, KECEPATAN  
DAN ARUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
PIKO HIDRO (PLTPH) BERBASIS  
APLIKASI ANDROID**

Nama Mahasiswa : **Amal Hidayat Feysan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015031042

Program Studi : Teknik Elektro

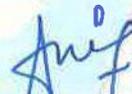
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**



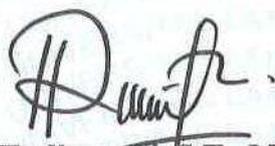
**Umi Murdika, S.T. M.T.**  
NIP. 19720206 200501 2 002



**Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.**  
NIP. 199106102019032024

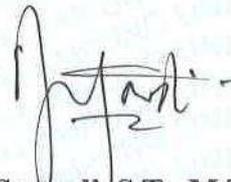
**2. Mengetahui**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP. 197103141999032001

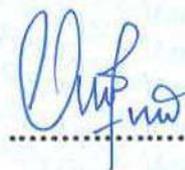
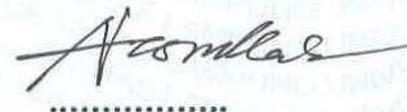
**Ketua Program Studi Teknik Elektro**



**Sumadi, S.T., M.T.**  
NIP. 197311042000031001

**MENGESAHKAN**

## 1. Tim Penguji

Ketua : **Umi Murdika, S.T. M.T**  
.....Sekertaris : **Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T.**  
.....Penguji Utama : **Ir. Emir Nasrullah, M.Eng.**  
.....

## 2. Dekan Fakultas Teknik :

  
**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.** }  
**NIP. 197509282001121002**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Januari 2025**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini yang berjudul “Monitoring Tegangan, Kecepatan dan Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) Berbasis Aplikasi Android” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atas diterbitkannya oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri. Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Februari 2025



M. Amal Hidayat Feysan  
NPM. 2015031042

## RIWAYAT HIDUP



Saya lahir di Kotabumi Lampung Utara, pada tanggal 09 Februari 2002 sebagai anak kedua dari 3 bersaudara, anak dari Bapak M. Ferry Sulistiyanto. S.Sos dan Ibu Tri Rosana. S.Ag. Sekolah dasar diselesaikan di SDN 6 Kelapa Tujuh Kotabumi, Lampung Utara pada tahun 2014, sekolah menengah pertama di SMPN 7 Kotabumi diselesaikan pada tahun 2017, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Kotabumi diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, saya terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Saya telah aktif terlibat dalam berbagai kegiatan akademik dan organisasi. Selama kepengurusan, saya menjadi anggota divisi Kaderisasi dan pada periode kedua menjadi anggota divisi kerohanian di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Universitas Lampung. Penulis pada semester 5 mengikuti program MBKM KKN Tematik Membangun Desa Cerdas Digital Tahun 2022 dengan program kerja yaitu membuat Biogas bersama dengan kelompok. Selain itu, penulis melaksanakan MBKM magang di PT. Sampoerna Agro Tbk dalam divisi riset dan pengembangan pada tanggal 7 Agustus sampai dengan 18 Oktober 2023. Laporan kerja praktik yang disusun berjudul “Digitalisasi Input Data PT. Binasawit Makmur Dengan Memanfaatkan Teknologi Aplikasi”.



**PERSEMBAHAN**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan Ridho Allah SWT  
Teriring shalawat kepada Nabi Muhammad SAW  
Karya Tulis ini ku persembahkan untuk:

Ayah dan Ibuku Tercinta

**M.FERRY SULISTIYANTO DAN TRI ROSANA**

Serta kakak dan adikku Tersayang

**M.ARIEF KURNIA F. DAN NISRINA MUMTAZA F.**

Terimakasih untuk semua dukungan dan doa selama ini  
Sehingga aku dapat menyelesaikan hasil karyaku ini.





“Sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi orang lain”

(Hadits Riwayat HR. Ahmad, Thabrani, Daruqutni)

"Kesuksesan bukanlah akhir dari perjalanan, melainkan awal dari pencapaian yang lebih besar."

(Nelson Mandela)

## SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis, sehingga laporan skripsi ini yang berjudul “Monitoring Tegangan, Kecepatan dan Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) Berbasis Aplikasi Android” dapat selesai tepat pada waktunya. Yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW. sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari akhir zaman. Selama menjalani pengerjaan Skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan pemikiran maupun dorongan moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Umi Murdika, S.T., M.T selaku pembimbing utama tugas akhir bagi penulis, yang telah membantu, membimbing, memberi motivasi, dan memberi dukungan kepada penulis.
6. Ibu. Ir. Anisa Ulya Darajat, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir bagi penulis, yang telah membantu, membimbing, dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Bapak Ir. Emir Nasrullah, M.Eng. selaku dosen penguji bagi penulis yang telah membantu memberikan saran untuk tugas akhir bagi penulis .

8. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing akademik, yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menjalani kuliah.
9. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama menjalani masa studi perkuliahan.
10. Kak Perdana Agung Nugraha, S.T. selaku PLP Laboratorium Teknik Kendali yang telah membantu memberi arahan dan motivasi dalam mengerjakan skripsi.
11. Keluarga penampungan rumah amal, Ibu, Ayah, Kak Arief, Taza, Ahmad, Saka, Zulizar, Auliya, Akmal, Refli, Rizki, Alfin, Reyzal, Herly, dan Arda yang telah memberikan dukungan, pertolongan, tempat cerita, canda tawa, membantu setiap proses selama mengerjakan tugas akhir.
12. Keluarga besar Hellios Angkatan 2020, yang telah memberikan banyak motivasi, canda tawa, dan kebahagiaan.
13. Keluarga besar HIMATRO yang telah menjadi wadah untuk mengembangkan skill bagi penulis.

14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan terlibat langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam perkuliahan maupun pembuatan skripsi.

Semoga Allah SWT membalas semua perbuatan dan kebaikan yang telah diberikan kepada Penulis sampai dengan terselesaikannya Skripsi ini. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari segi penyusunan maupun pemilihan kata. Maka dari itu penulis terbuka untuk menerima masukan kritik dan saran yang dapat membangun Penulis kedepannya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, Februari 2025  
Penulis,

**M. Amal Hidayat Feysan**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>18</b>
1.1. Latar Belakang .....	18
1.2. Tujuan Penelitian .....	19
1.3. Manfaat Penelitian .....	19
1.4. Batasan Masalah .....	20
1.5. Rumusan Masalah .....	20
1.6. Hipotesis .....	20
1.7. Sistematika Penulisan .....	21
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>22</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	22
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) .....	24
2.3 Sensor Tegangan .....	26
2.4 Sensor Kecepatan LM393 .....	27
2.5 Sensor Arus .....	29
2.6 ESP 32 devkit V1 .....	29
2.7 Disk Encoder .....	30
2.8 Arduino Software IDE .....	31
2.9 MIT App-inventor .....	32
2.10 Firebase real time database .....	34

<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Alat dan Bahan.....	35
3.2.	Prosedur penelitian.....	36
3.2.1.	Studi Literatur.....	36
3.2.2.	Pengumpulan Alat dan Bahan.....	36
3.2.3.	Perancangan Alat dan Sistem.....	36
3.2.4.	ISO 9126.....	41
3.2.5.	Skala Likert.....	42
3.2.6.	Pengujian Alat dan Sistem.....	43
3.2.7.	Teknik analisis.....	43
3.3.	Desain aplikasi.....	45
3.4.	Prosedur pembuatan aplikasi dan Database realtime.....	46
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1.	Realisasi sistem perancangan.....	50
4.1.1.	Realisasi alat.....	50
4.1.2.	Sistem PLTPH terpasang.....	53
4.2.	Prinsip kerja alat.....	54
4.3.	Pengujian sub sistem alat.....	54
4.4.	Pembuatan aplikasi.....	56
4.4.1.	Pemasangan aplikasi.....	63
4.5.	Pengujian Perancangan Sistem Monitoring.....	66
4.6.	Pengujian ISO 9126.....	71
<b>V.</b>	<b>Kesimpulan dan Saran.....</b>	<b>82</b>
5.1.	Kesimpulan.....	82
5.2.	Saran.....	82
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>83</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>86</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	25
Gambar 2. 2 Sensor Tegangan DC .....	26
Gambar 2. 3 Sensor kecepatan LM 393 .....	28
Gambar 2. 4 Sensor arus.....	29
Gambar 2. 5 ESP32 Devkit V1 .....	30
Gambar 2. 6 Disk Encoder .....	31
Gambar 2. 7 Tampilan Menu untuk desain App-Inventor .....	33
Gambar 2. 8 Tampilan menu Program blok App inventor.....	33
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	37
Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras.....	39
Gambar 3. 3 <i>Data Flow Diagram</i> .....	39
Gambar 3. 4 Desain aplikasi.....	45
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan aplikasi.....	46
Gambar 3. 6 Diagram Alir <i>Real-time Database</i> .....	48
Gambar 4. 1 Realisasi alat PLTPH.....	50
Gambar 4. 2 Realisasi alat kontrol .....	51
Gambar 4. 3 Wiring diagram sistem monitoring.....	52
Gambar 4. 4 Tampilan awal web app inventor.....	56
Gambar 4. 5 Menu home app inventor .....	56
Gambar 4. 6 Tampilan pembuatan proyek aplikasi.....	57
Gambar 4. 7 Desain aplikasi.....	58
Gambar 4. 8 Tampilan desain layar pembuka .....	59
Gambar 4. 9 Tampilan layar utama aplikasi.....	59
Gambar 4. 10 Firebase data real time .....	60
Gambar 4. 11 Menu blok program .....	60
Gambar 4. 12 Program blok layar pertama .....	61

Gambar 4. 13 Program layar pertama.....	61
Gambar 4. 14 Program layar utama.....	62
Gambar 4. 15 Cara uji coba aplikasi .....	62
Gambar 4. 16 Unduh aplikasi.....	63
Gambar 4. 17 Bagian untuk mendapatkan qr code aplikasi .....	63
Gambar 4. 18 Qr code penginstallan aplikasi monitoring .....	64
Gambar 4. 19 Scan Google Lens.....	65
Gambar 4. 20 Install aplikasi.....	65
Gambar 4. 21 Gambar tampilan hasil aplikasi .....	70
Gambar 4. 22 Grafik Arus .....	70
Gambar 4. 23 Grafik respon functionality .....	73
Gambar 4. 24 Grafik respon reliability.....	75
Gambar 4. 25 Grafik respon Usability .....	77
Gambar 4. 26 Grafik respon Efficiency .....	79
Gambar 4. 27 Grafik respon Maintainability.....	81

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu .....	22
Tabel 2. 2 Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air .....	25
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan .....	35
Tabel 3. 2 Tabel perancangan analisa.....	40
Tabel 3. 3 Pertanyaan Karakteristik ISO 9126.....	41
Tabel 3. 4 Perlakuan ISO 9126.....	42
Tabel 3. 5 Skala Likert .....	43
Tabel 3. 6 Interpretasi skala likert .....	44
Tabel 4. 1 Speksifikasi motor generator UGTMEM-06 SB2.....	53
Tabel 4. 2 Pengujian sensor tegangan .....	55
Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian .....	67
Tabel 4. 4 Akurasi Pembacaan Aplikasi.....	69
Tabel 4. 5 Pengujian Functionality .....	72
Tabel 4. 6 Pengujian Reliability .....	74
Tabel 4. 7 Pengujian Usability .....	76
Tabel 4. 8 Pengujian Efficiency .....	78
Tabel 4. 9 Maintainability.....	80
Tabel 4. 10 Hasil pengujian ISO 9126 .....	81

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi terbarukan menjadi isu global yang hangat dalam beberapa dekade terakhir ini. Sumber daya energi konvensional yang semakin menipis menjadi titik perhatian. Oleh karena itu, sumber daya energi terbarukan menjadi solusi yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi global [1].

Salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi air. Air dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Namun, PLTA memerlukan investasi yang besar dan area yang luas. Di sisi lain, terdapat banyak lokasi yang memiliki sumber air berlimpah namun hanya memiliki aliran air yang kecil yang kurang cocok untuk PLTA konvensional. Dalam konteks keberlanjutan energi dan mitigasi perubahan iklim, pembangkit listrik Mikro Hidro menjadi solusi yang menjanjikan karena potensi untuk menyediakan energi listrik yang bersih dan terbarukan dengan dampak lingkungan yang minimal [2].

Sebuah alternatif untuk memanfaatkan potensi energi air di lokasi yang memiliki aliran air kecil atau sungai kecil adalah dengan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Meskipun potensinya besar, PLTPH juga memiliki tantangan tersendiri, pemantauan yang cermat dapat menjadi kunci dalam memastikan efisiensi operasional pembangkit listrik tenaga piko hidro. Dengan memanfaatkan teknologi pemantauan yang terus berkembang, operator dapat mengidentifikasi potensi masalah operasional secara dini, mengurangi risiko gangguan sistem, dan meningkatkan produktivitas energi yang dihasilkan [3].

Adaptasi terhadap perkembangan teknologi yang terus berubah dan kebutuhan akan pemantauan yang lebih efisien dan terintegrasi maka pengembangan aplikasi android untuk tujuan pemantauan telah menjadi solusi yang populer dan efisien. Aplikasi android yang dirancang khusus untuk pemantauan memberikan akses mudah dan nyaman bagi pengguna untuk menyatukan data atau informasi dari jarak jauh dengan menggunakan perangkat

yang nyaman dibawa, seperti ponsel pintar atau tablet [4]. Dengan memanfaatkan berbagai sensor dan kemampuan komputasi yang dimiliki oleh perangkat android, aplikasi *monitoring* dapat mengumpulkan, menganalisis, dan menampilkan data secara langsung kepada pengguna, dengan demikian, monitoring berbasis aplikasi android membuka peluang baru dalam pengembangan solusi *monitoring* yang lebih terjangkau, cepat, dan mudah diakses oleh berbagai kalangan.

Oleh karena itu, pemantauan pada perangkat PLTPH dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan. Pemantauan ini memberikan manfaat dalam mengevaluasi kinerja PLTPH, termasuk informasi tentang energi yang dihasilkan, tegangan, kecepatan putaran dan arus. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan sistem android yang mempermudah proses pemantauan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan dapat mengembangkan kemampuan untuk memantau perangkat energi lainnya selain PLTPH di masa mendatang.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

Melakukan pemantauan nilai tegangan, kecepatan dan arus pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) dengan merancang sebuah sistem pemantauan berbasis aplikasi android.

## **1.3. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil pemantauan nilai tegangan, kecepatan dan arus dari perangkat PLTPH, serta mempermudah pelaporan hasil pemantauan tersebut.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun sistem pemantauan yang terbatas hanya untuk perangkat Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH).
2. Mengembangkan aplikasi pemantauan PLTPH yang hanya berbasis android.

#### **1.5. Rumusan Masalah**

Penelitian ini dilakukan untuk memantau tegangan, kecepatan dan arus yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Pemantauan PLTPH dilakukan karena beberapa alasan penting. *Monitoring* tegangan memastikan bahwa listrik yang dihasilkan stabil dan sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik yang digunakan. Tegangan yang terlalu tinggi atau rendah dapat merusak peralatan atau menyebabkan efisiensi sistem menurun. *Monitoring* kecepatan dan arus yang terkait dengan kecepatan aliran air atau putaran turbin, sangat penting untuk memastikan bahwa sistem bekerja dalam rentang operasional yang optimal. Jika kecepatan terlalu rendah, pembangkit mungkin tidak menghasilkan daya yang cukup, sementara kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan mekanis pada turbin atau komponen lainnya. Dengan *monitoring* yang tepat, operator dapat mendeteksi dan mengatasi masalah lebih awal, meningkatkan efisiensi, keandalan, dan umur panjang sistem pembangkit listrik piko hidro.

#### **1.6. Hipotesis**

Penerapan teknologi monitoring berbasis aplikasi android pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) diharap dapat meningkatkan akurasi dan responsivitas dalam pemantauan parameter tegangan, kecepatan, dan arus, sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan sistem dan meningkatkan keandalan operasi pembangkit.

### 1.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bab sebagai berikut :

**BAB I            PENDAHULUAN**

Bab ini memuat latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, rumusan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

**BAB II           TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang teori – teori penunjang yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

**BAB III          METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang hal – hal yang dilakukan dalam penelitian, seperti; waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta garis besar metode yang diusulkan serta diagram alir metode yang diusulkan.

**BAB IV          HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil perancangan, pengujian, serta pembahasan terhadap hasil penelitian yang telah diperoleh.

**BAB V           KESIMPULAN DAN SARAN**

Memuat simpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah membahas mengenai pemantauan dengan sistem dan objek pemantauan yang beragam. Dalam rentang waktu 2005 sampai 2024. Pada Tabel 2.1 adalah beberapa artikel tersebut yang digunakan sebagai referensi.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No	Judul	Nama Penulis	Kelebihan	Kekurangan
1	Sistem <i>Monitoring</i> Kecepatan Putar Turbin dan Tegangan Keluaran Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Mikrohidro Skala Laboratorium [5].	Delima Palwa Sari, Detak Yan Pratama, dan Murry Raditya. Penelitian ini dilakukan oleh dari Teknik Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) padatahun 2018.	Memiliki akurasi pembacaan sebesar 98%.	Menggunakan modul sebagai pembacaan tegangan dan kecepatan yang membuat tidak efisien dan <i>monitoring</i> dilakukan hanya dengan layar LCD.

No	Judul	Nama Penulis	Kelebihan	Kekurangan
2	Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Turbin Ulir Dengan <i>Monitoring</i> Berbasis Google Sheet Pada Aliran Sungai Desa Masangan Wetan [6].	Penelitian ini dilakukan oleh Wildan Arief Prasetyo, Arief Wisaksono dan Indah Sulistiyowati dari Universitas Muhammadiyah Sidoarjo pada 2022.	Data langsung tertransmisi ke <i>google sheet</i> .	Pemantauan pada penelitian ini hanyamenggunakan <i>google sheet</i> , hanya menggunakan satu sensor.
3	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i> Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis Digital [7].	Penelitian ini dilakukan oleh Andika Hamsah dan Putri Aprilya R dari Politeknik Negeri Ujung Pandang pada 2023.	Pada penelitian ini terdapat sistem kontrol untuk pompa listrik dan peningkatan volume air	Bentuk data pemantauan digital hanya ditampilkan pada layar LCD.

No	Judul	Nama Penulis	Kelebihan	Kekurangan
4	Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) Dengan Kendali Stabilitas Tegangan Keluaran Generator DC Menggunakan Metode PID Control	Penelitian ini dilakukan oleh Saka Arif Aulia dari Universitas Lampung pada 2024.	Menggunakan Control PID sebagai kendali stabilitas dari tegangan keluaran dari generator DC.	Hanya rancang bangun PLTPH tidak ada sistem pemantauan.
5	Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan <i>Output</i> Pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro	Muhammad Luthfi Hakim, Nurhening Yuniarti, Sukir, Eko Swi Damarwan dari Fakultas Teknik, Universitas Yogyakarta.	Mengetahui pengaruh debit air terhadap tegangan DC pada PLTPH.	Hanya mendeteksi tegangan dan tidak ada sistem pemantauan

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH)

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah salah satu alternatif pembangkit listrik skala kecil yang dapat diterapkan di daerah pedesaan dimana tersedia aliran sungai yang mempunyai debit air yang kontinu dan tinggi jatuh air yang relatif rendah untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan daya listrik kurang dari 500 Watt[8]. Pembangkit listrik tenaga piko hidro umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal di daerah yang terpencil atau terisolasi dari jaringan listrik utama. PLTPH dapat digunakan untuk menerangi

rumah-rumah, mengoperasikan peralatan kecil, atau memberikan akses listrik bagi komunitas yang sebelumnya tidak memiliki akses ke listrik [9].

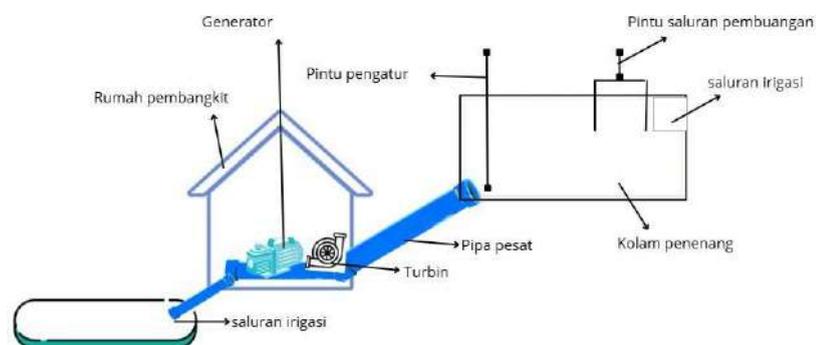
Pemanfaatan air untuk pembangkit listrik dapat diklasifikasikan seperti pada table 2.2[20]:

Tabel 2. 2 Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air

Spesifikasi	Daya
Pico-hydro	< 500 W
Micro-hydro	1-100 KW
Mini-hydro	100-1000 KW
Small-hydro	1-10 MW
Large-hydro	> 10 MW

Tabel 2.2 adalah tabel spesifikasi pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga piko hidro menggunakan air yang mengalir atau turun dari ketinggian untuk memutar turbin. Turbin kemudian menggerakkan generator, yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi hidro didapatkan dari potensi air yang mengalir atau tinggi jatuh air di suatu lokasi. Potensi energi ini diukur dalam satuan ketinggian air (meter) dan laju aliran air (liter per detik). Dalam skala piko, turbin dan generatornya biasanya sangat kecil, tetapi prinsip kerjanya sama dengan pembangkit hidro yang lebih besar[10].

PLTPH memiliki spesifikasi khusus seperti aliran air yang kecil hingga sedang, biasanya antara 1 hingga 5 meter, tergantung pada aliran dan *desain* sistem, jenis turbin biasanya menyesuaikan dengan apa yang dibutuhkan seperti *turbine Crossflow*, *Pelton* atau *Francis*. Generator pada PLTPH sendiri tergantung dengan *desain*[11].



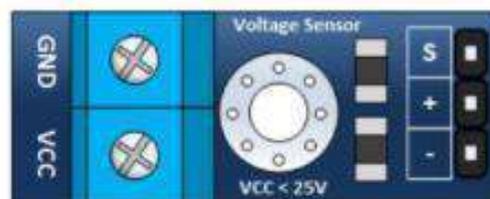
Gambar 2. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pada gambar 2.1 terlihat skema PLTA, PLTPA beroperasi berdasarkan prinsip dasar hukum kekekalan energi. Air dari sumber alami, seperti sungai, bendungan atau waduk, dialirkan melalui pipa atau saluran ke turbin. Ketika air mengalir melalui turbin, energi kinetik dan 12 potensialnya diubah menjadi energi mekanis saat turbin berputar. Turbin ini terhubung ke generator listrik, yang menghasilkan listrik saat berputar.

### 2.3 Sensor Tegangan

Sensor tegangan DC adalah perangkat yang esensial dalam berbagai aplikasi elektronik dan sistem tenaga. Fungsinya adalah untuk mengukur tegangan arus searah (DC) dalam suatu rangkaian atau sistem, kemudian mengonversinya menjadi sinyal yang dapat diproses oleh mikrokontroler atau perangkat elektronik lainnya, seperti komputer atau modul komunikasi[12]. Dengan menggunakan sensor ini, tegangan yang diukur dapat dipantau dan dianalisis secara *real-time* untuk memastikan kinerja optimal dan mencegah kerusakan akibat tegangan berlebih atau terlalu rendah.

Sensor tegangan DC bekerja berdasarkan beberapa prinsip dasar. Salah satu metode yang paling umum adalah pembagi tegangan. Pembagi tegangan menggunakan dua resistor yang disusun seri untuk menurunkan tegangan yang lebih tinggi ke level yang lebih aman yang dapat diukur oleh ADC (*Analog-to-Digital Converter*) pada mikrokontroler.



Gambar 2. 2 Sensor Tegangan DC

Gambar 2.2 merupakan gambaran dari sensor tegangan DC, sensor tegangan DC merupakan rangkaian pembagi tegangan yang dibuat menjadi sebuah modul. Modul sensor tegangan DC ini mampu untuk mengukur tegangan hingga 25 V. Pada modul sensor tegangan DC yang ditunjukkan pada gambar 2.2 terdapat tiga

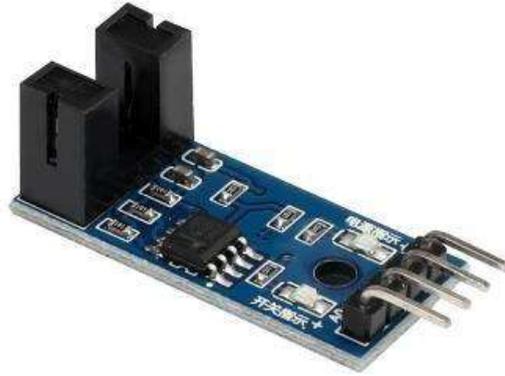
pin. Pin S merupakan pin *output* sensor yang akan dihubungkan ke ADC ESP32, pin + disambungkan ke 3.3 V ESP32 dan pin – dihubungkan ke ground ESP32.

Keuntungan utama dari penggunaan sensor tegangan DC meliputi akurasi dan ketepatan pengukuran yang sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan pengukuran presisi. sensor ini juga meningkatkan keselamatan dan perlindungan dengan memantau tegangan secara *real-time*, sehingga mencegah kondisi berbahaya seperti *over voltage* atau *under voltage* yang dapat merusak perangkat atau menimbulkan risiko[13]. Selain itu, pemantauan tegangan memastikan bahwa perangkat dan sistem beroperasi dalam kisaran tegangan yang optimal, yang dapat meningkatkan umur pakai dan keandalan perangkat.

Sensor tegangan DC menjadi komponen yang sangat diperlukan untuk pemantauan, kontrol, pengelolaan sistem elektronik dan tenaga. sensor ini memastikan bahwa sistem berfungsi dengan baik, aman, dan efisien, sehingga mendukung kinerja optimal dan mencegah potensi kerusakan.

#### **2.4 Sensor Kecepatan LM393**

Sensor kecepatan *photoelectric* LM393 merupakan komponen elektronika yang berfungsi penghubung berdasarkan cahaya optik. Sensor ini terdiri dari 2 bagian utama yaitu *transmitter* dan *receiver*. [14] Sensor ini biasa disebut juga sebagai *optocoupler* terbuat dari bahan semi-konduktor dan terdiri dari kombinasi LED (*Light Emitting Diode*) infra merah dan *phototransistor*. *Optocoupler* bekerja bila ada arus listrik yang mengalir melalui LED, menyebabkan LED memancarkan sinyal cahaya dan sinyal cahaya tersebut akan ditangkap oleh *phototransistor*[15]. Bila sinyal cahaya yang dikirim oleh LED diterima *phototransistor* (tidak ada halangan antara LED dan *phototransistor*), maka indikator sensor akan menyala (*High*). Apabila saat dikirimnya sinyal cahaya oleh LED tidak diterima oleh *phototransistor* (sinyal cahaya dari LED terhalang), maka indikator sensor akan padam (*Low*).



Gambar 2. 3 Sensor kecepatan LM 393

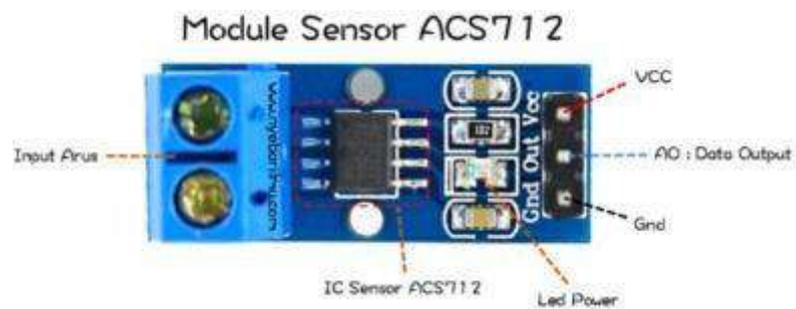
Gambar 2.3 Komparator LM393 membandingkan tegangan yang diterima dari *photodiode* atau *phototransistor* dengan tegangan referensi yang telah ditetapkan. Jika tegangan yang diterima melebihi atau kurang dari tegangan referensi, *output* dari LM393 akan berubah [15]. Perubahan *output* ini dapat digunakan untuk menghitung frekuensi perubahan cahaya, yang kemudian dikonversi menjadi kecepatan objek bergerak.

Sensor kecepatan LM393 sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk robotika untuk menghitung kecepatan roda atau bagian bergerak lainnya, sistem kontrol motor untuk umpan balik kecepatan, dan alat pengukur kecepatan seperti *tachometer*. Keunggulan sensor ini termasuk presisi tinggi, konsumsi daya rendah, harga terjangkau, dan kemudahan integrasi ke dalam berbagai sistem elektronik.

Sensor ini juga memiliki beberapa kekurangan, seperti ketergantungan pada kondisi cahaya dan pola objek yang dideteksi, serta resolusi deteksi yang terbatas oleh jumlah lubang atau garis pada objek bergerak. Meskipun demikian, sensor kecepatan LM393 tetap merupakan alat yang efisien dan serbaguna untuk berbagai aplikasi yang memerlukan pengukuran kecepatan dengan ketelitian yang memadai.

## 2.5 Sensor Arus

Sensor arus ACS712 adalah modul berbasis sensor efek *Hall* yang digunakan untuk mengukur arus listrik (DC atau AC). Komponen utama dalam modul ini adalah chip ACS712 dari *Allegro MicroSystems*, yang dirancang untuk memberikan pengukuran arus yang presisi dengan output tegangan analog. Sensor ini memiliki isolasi listrik sehingga tidak ada hubungan langsung antara jalur arus yang diukur dan sistem pengukuran.



Gambar 2. 4 Sensor arus

Gambar 2.4 terlihat sensor arus acs712 dengan bagian-bagiannya, sensor ini memiliki isolasi listrik sehingga tidak ada hubungan langsung antara jalur arus yang diukur dan sistem pengukuran.

## 2.6 ESP 32 devkit V1

ESP32 adalah *mikrokontroler* yang diperkenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya[16]. *Mikrokontroler* ESP32 merupakan *mikrokontroler* SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi *WiFi*, *Bluetooth*, dan berbagai *peripheral*. ESP32 adalah *chip* yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 bisa digunakan untuk rangkaian pengganti pada Arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi ke *WiFi* secara langsung [17].



Gambar 2. 5 ESP32 Devkit V1

Gambar 2.5 adalah suatu *board*, *board* ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi pada versi 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label dibagian atas *board* sehingga mudah untuk dikenali. *Board* ini memiliki *interface* USB to UART yang mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya *board* bisa diberikan melalui konektor micro USB.

Seiring kemajuan teknologi, ide dan implementasi suatu proyek kecil dapat menggunakan ESP32 yang berperan dalam kemajuan *Internet of Things* (IoT). IoT sendiri merupakan *platform* yang terhubung, di mana beberapa “benda” atau perangkat terhubung melalui internet untuk pertukaran informasi[7]. Keunggulan *mikrokontroler* ESP32 dibanding dengan *mikrokontroler* yang lain, terlihat dari pin *out* yang lebih banyak, pin analog lebih banyak, memori yang lebih besar, terdapat bluetooth 4.0 *low energy* serta tersedia *WiFi* yang memungkinkan untuk mengaplikasikan *Internet of Things* (IoT) dengan *mikokontroler* ESP32.

## 2.7 Disk Encoder

*Disk encoder* yang merupakan perangkat untuk mengukur kecepatan dan posisi rotasi suatu objek dengan sangat presisi. Perangkat ini terdiri dari cakram berputar yang memiliki pola khusus, seperti lubang-lubang atau garis-garis hitam dan putih, yang diatur secara merata di sepanjang tepinya[18]. Ketika cakram berputar, pola tersebut melewati sensor optik, yang biasanya berupa fotodiode atau fototransistor, yang mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang terjadi saat pola bergerak melintasinya.



Gambar 2. 6 Disk Encoder

Gambar 2.6 *Disk encoder* digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial, termasuk sistem kontrol mesin, robotika, dan peralatan otomatisasi. Keunggulan utama dari *disk encoder* adalah kemampuannya untuk memberikan informasi posisi dan kecepatan yang sangat akurat, menjadikannya esensial dalam sistem yang memerlukan pengendalian gerakan presisi tinggi[19]. Selain itu, *disk encoder* biasanya memiliki respons cepat dan daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan yang keras.

## 2.8 Arduino Software IDE

IDE (*Integrated Development Environment*), atau merupakan lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan[20]. Disebut sebagai lingkungan karena melalui *software* inilah arduino dapat di program untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Bahasa pemrograman arduino (*Sketch*) sudah dilakukan perubahan untuk memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya. Sebelum dijual ke pasaran, IC *mikrokontroler* arduino telah ditanamkan suatu program bernama *Bootlader* yang berfungsi sebagai penengah antara *compiler* arduino dengan *mikrokontroler*[21].

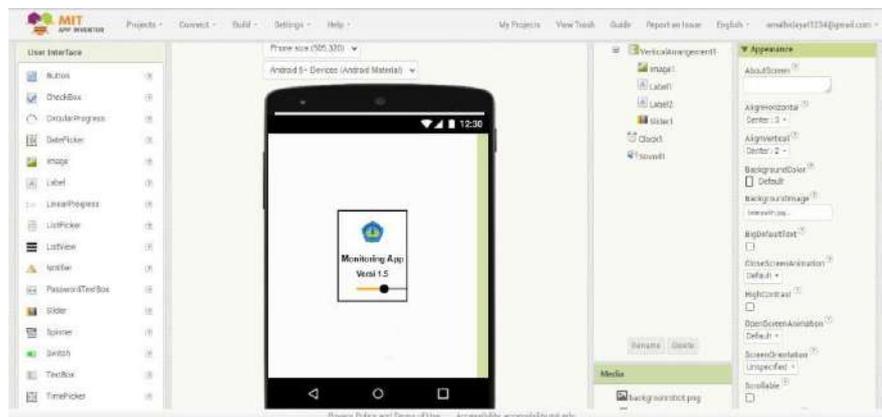
Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA. Arduino IDE juga dilengkapi dengan *library* C/C++ yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi *input* dan *output* menjadi lebih mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari *software Processing* yang dirombak menjadi Arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan arduino [21].

## 2.9 MIT App-inventor

App Inventor dipilih sebagai media pembuatan dari aplikasi pemantauan PLTPH karena alasan penggunaan yang bebas dan gratis app inventor juga memiliki keunggulan yang dimana mudah untuk digunakan, dengan lintas *platform* yang luas app inventor dapat membuat aplikasi untuk android tanpa perlu mempertimbangkan kompatibilitas dengan *platform* lain [22]. Ini memudahkan untuk fokus pada pengembangan aplikasi untuk *platform* yang dominan.

App Inventor berbasis pada konsep pemrograman visual, di mana pengguna membangun aplikasi dengan menggunakan blok-blok logika yang berisi perintah dan fungsi[23]. Ini memungkinkan pengguna untuk membangun aplikasi tanpa menulis kode secara manual. Antarmuka App Inventor terdiri dari beberapa komponen utama:

1. *Designer*: Ini adalah bagian App Inventor di mana pengguna merancang antarmuka pengguna (UI) dari aplikasi mereka. Pengguna dapat menambahkan tombol, gambar, teks, input pengguna, dan berbagai komponen lainnya ke dalam tata letak aplikasi.
2. *Blocks Editor*: Ini adalah tempat di mana pengguna menentukan logika aplikasi mereka. Dengan menambahkan blok-blok logika yang tersedia dan menghubungkannya satu sama lain, pengguna dapat menentukan perilaku aplikasi, seperti respons terhadap *input* pengguna atau interaksi dengan data.
3. *Emulator*: App Inventor menyertakan *emulator* android yang memungkinkan pengguna untuk menguji aplikasi mereka langsung dari *browser* web. Ini memungkinkan pengguna untuk melihat bagaimana aplikasi akan berfungsi di perangkat android sebelum mengunduhnya ke perangkat fisik.



Gambar 2. 7 Tampilan Menu untuk *desain* App-Inventor



Gambar 2. 8 Tampilan menu Program blok App inventor

Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 adalah gambar dari tampilan app Inventor, app inventor sendiri adalah sebuah *platform* pengembangan aplikasi yang memungkinkan pengguna untuk membuat aplikasi android, dengan App Inventor, pengguna dapat membuat berbagai jenis aplikasi, mulai dari aplikasi sederhana seperti kalkulator atau catatan, hingga aplikasi yang lebih kompleks seperti game atau aplikasi pendidikan [22]. *Platform* ini menyediakan beragam komponen dan fungsi bawaan yang dapat digunakan oleh pengguna, seperti tombol, label, gambar, dan bahkan sensor pada perangkat android. Dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), App Inventor menggunakan pendekatan berbasis blok (*block-based*) yang intuitif.

App Inventor juga mendukung integrasi dengan layanan eksternal seperti *Firebase*, penyimpanan *Cloud*, dan layanan web lainnya, yang memungkinkan

pengguna untuk membuat aplikasi yang lebih canggih dan terhubung dengan berbagai sumber data atau *platform*.

## 2.10 Firebase real time database

*Firebase Real-time Database* adalah basis data NoSQL yang menyimpan data sebagai JSON (*JavaScript Object Notation*) dan menyinkronkan data tersebut ke semua klien yang terhubung secara *real-time*. Ini berarti setiap perubahan data pada basis data akan langsung terlihat oleh semua pengguna yang terhubung, memungkinkan aplikasi untuk menampilkan dan memperbarui data secara otomatis. Layanan ini mendukung sinkronisasi *offline*, sehingga perubahan data disimpan secara lokal dan disinkronkan kembali ke *server* saat perangkat terhubung kembali ke internet.

Keamanan dan kontrol akses dapat dikelola melalui *Firebase Real-time Database Security Rules* yang terintegrasi dengan *Firebase Authentication*, memungkinkan pengembang untuk memastikan bahwa hanya pengguna yang berwenang yang dapat mengakses atau mengubah data. *Firebase Real-time database* sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan data yang selalu *up-to-date* dan dapat diakses oleh banyak pengguna secara bersamaan.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu, Perangkat Keras (*Hardware*) dan Perangkat Lunak (*Software*)

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

##### A. *Hardware*

NO	Nama Alat	Jenis/Spesifikasi
1	Perangkat Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro	Perangkat Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro 300 W.
2	Baterai alkaline	9 Volt
3	ESP32	ESP32 Devkit V1
4	Disk Encoder	- 20 lubang - 10 mm
5	Sensor Tegangan	Amplifier Input 320mV
6	Multimeter	Fluke 179 True-RMS Digital
7	Sensor Kecepatan LM393	Lebar celah 5mm Tegangan kerja 3.3-5V Digital pin Arus 15mA
8	Laptop	Intel core i5 windows 10
9	Sensor Arus	$\pm 5A$ , resolusi $\sim 185 \text{ mV/A}$ .
10	Smartphone Android	Android 11

##### B. *Software*

No	Nama Alat	Jenis/Spesifikasi
1	Arduino IDE	Arduino IDE 2.3.2
2	MIT App Inventor	App Inventor
3	Firebase	<i>Firebase data real time</i>

## **3.2. Prosedur penelitian**

Prosedur pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

### **3.2.1. Studi Literatur**

Tahap studi literatur melibatkan pengumpulan referensi dalam merancang sistem aplikasi dan alat. Dari referensi-referensi tersebut, dipelajari komponen, metode, rangkaian, dan hal-hal lain yang relevan dengan perancangan alat dalam penelitian ini. Tahap ini juga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan karakteristik dan prinsip kerja dari komponen dan program yang digunakan dalam perancangan alat.

### **3.2.2. Pengumpulan Alat dan Bahan**

Pada tahap ini, komponen dan alat yang digunakan selama penelitian dipilih untuk memastikan bahwa perancangan alat dapat berjalan dengan baik. Pemilihan alat dan bahan juga didasarkan pada studi literatur yang dilakukan sesuai dengan referensi yang digunakan.

### **3.2.3. Perancangan Alat dan Sistem**

Pada tahap ini, beberapa komponen dan modul rangkaian yang telah ditentukan berdasarkan referensi sebelumnya dirancang dan diimplementasikan pada sistem yang menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini. Tahap perancangan alat dan sistem ini digambarkan dalam diagram alir (*Flowchart*) yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut

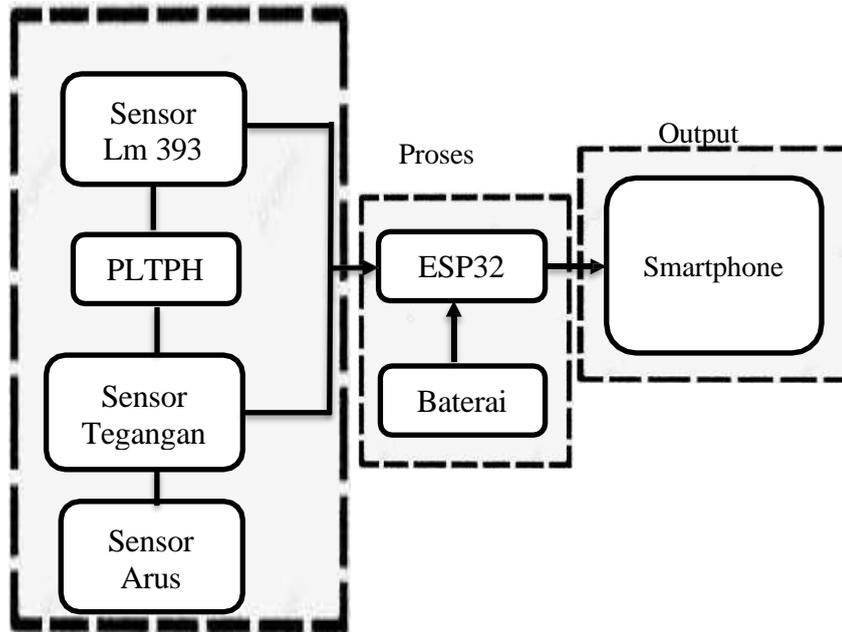


Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini terdapat beberapa tahap sebagai berikut :

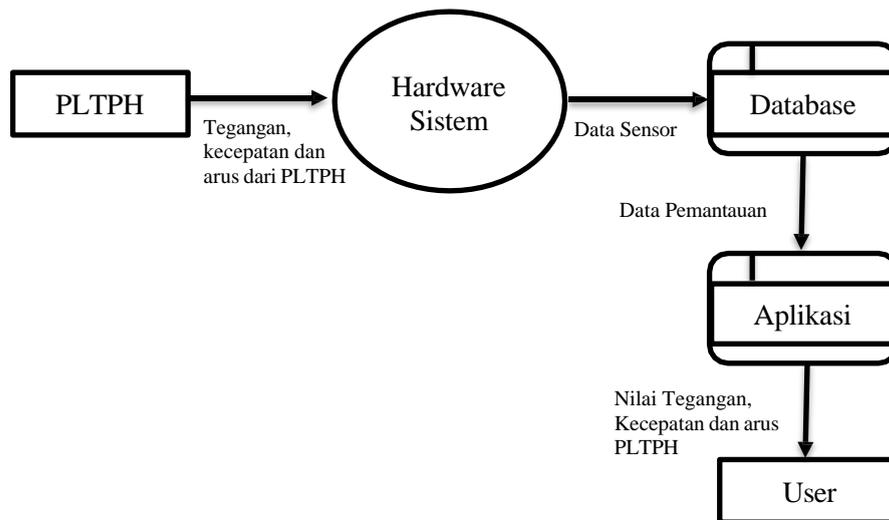
1. Studi Literatur, pada tahap pertama dilakukan pencarian referensi untuk penelitian yang akan dilakukan, pencarian referensi dapat dari berbagai media seperti artikel, jurnal dan buku.
2. Perancangan model sistem, tahap kedua ini adalah tahap perancangan dari penelitian yang akan dilakukan, pada tahap perancangan ini termasuk didalamnya adalah merancang skema dari berbagai macam hal yang akan dijadikan penelitian, dalam penelitian kali ini perancangan model sistem menjadi dua bagian besar yaitu perancangan model sistem untuk aplikasi pemantantau PLTPH dan perancangan model alat sebagai media pemantauan PLTPH.
3. Pemilihan alat dan bahan sesuai spesifikasi, setelah perancangan model sistem didapat maka di tahap ketiga ini akan dilakukan pemilihan alat dan bahan yang sesuai dengan kebutuhan dalam penelitian.
4. Perancangan alat dan sistem, pada tahap ini maka dilakukan perakitan alat dan merancang sistem yang telah direncanakan sebelumnya menjadi satu kesatuan, perancangan alat dan sistem ini juga tetap berlandaskan dari perancangan model dan sistem.
5. Pengujian alat dan sistem, setelah alat dan sistem selesai dikerjakan dan telah menjadi suatu alat dan sistem yang utuh maka akan dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah terdapat kesalahan atau tidak.
6. Pengambilan data, ditahap ini artinya alat dan sistem telah dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan dan telah dapat menampilkan data yang diperlukan, maka pada tahap ini data yang dibutuhkan telah dapat diambil.
7. Analisis data dan kesimpulan, pada tahapan ini data yang didapatkan akan di olah dan dianalisis, kemudian setelah dilakukan penganalisisan tersebut maka akan didapatkan kesimpulan dari penelitian.

a. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)



Gambar 3. 2 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

b. *Data Flow Giagram (DFD)*



Gambar 3. 3 Data Flow Diagram

Gambar 3.3 merupakan gambaran dari perancangan perangkat keras dan sistem pengiriman data untuk aplikasi, pada penelitian ini, PLTPH merupakan alat utama yang akan dilakukan pemantauan kemudian terdapat dua sensor yaitu sensor kecepatan LM393 dan sensor tegangan sebagai input dan sebagai media pengambilan data pemantauan, ketiga sensor tersebut akan dikontrol dan diolah

pada ESP32, untuk baterai sendiri merupakan sumber energi yang mengaktifkan ESP32, setelah proses pengolahan maka ESP32 akan mendapat data yang dibaca oleh sensor dan data tersebut akan terkirim ke *Firestore* sebagai *database realtime* kemudian saat melakukan pemantauan maka data dapat langsung terlihat melalui *Smartphone*.

Tabel 3. 2 Tabel perancangan analisa

No	Pengujian sistem	Keterangan pengujian	Indikator keberhasilan
1	Pengujian data dengan cara <i>Sensor data acquisition</i>	Menguji <i>quality</i> sensor. Data diambil dengan melibatkan penggunaan sensor untuk mengukur dan mengumpulkan data secara langsung .	<i>Quality</i> . Menghasilkan sensor yang dapat berfungsi pada kondisi yang beraliran air.
2	Pengujian data dengan cara <i>API Integration</i>	Menguji <i>efficiency</i> . Aplikasi menggunakan <i>tool platform</i> App inventor untuk menampilkan data sensor yang terkirim pada <i>platform firebase</i> .	<i>Efficiency</i> . Menghasilkan sistem pemantauan data PLTPH berbasis aplikasi android.
3	Pengujian antarmuka dengan standarsisasi HTTPS/HTTP ( <i>HyperText Transfer Protocol Secure</i> )	Pengiriman data sensor kepada platform web <i>firebase</i> sebagai <i>database realtime</i> kemudian terkirim kembali ke aplikasi.	Menghasilkan sistem protokol komunikasi klien melalui data yang terkirim pada beberapa pihak seperti <i>firebase</i> yang berbasis web kemudian terkirim dan terbaca kembali pada aplikasi android.
4	ISO 9126 terfokus kepada responden pengguna.	Pengujian dengan mengevaluasi aspek penggunaan dari sisi <i>user</i> .	Menghasilkan parameter kuisisioner untuk penilaian aplikasi

Tabel 3.2 adalah tabel pengambilan data pada penelitian ini menggunakan cara *sensor data acquisition* dan *API integration*. *Sensor data acquisition* melibatkan penggunaan sensor untuk mengukur dan mengumpulkan data fisik secara langsung, sedangkan *API integration* mengacu pada penggunaan antarmuka pemrograman aplikasi untuk mengambil data dari layanan atau platform eksternal.

Pengiriman data pada penelitian ini menggunakan standarisasi HHTP/HHTTPS. HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) dan HTTPS (*HyperText Transfer Protocol Secure*) adalah protokol yang digunakan untuk komunikasi antara klien (seperti web *browser* atau aplikasi) dan *server*. Keduanya memainkan peran penting dalam pengiriman data untuk aplikasi pemantauan

### 3.2.4. ISO 9126

(ISO) 9126 ISO 9126 merupakan salah satu standarisasi yang dipublikasikan oleh organisasi standarisasi internasional atau disingkat ISO. Standarisasi bertujuan untuk menyatukan pandangan sistematis dan menggabungkan beberapa cabang penelitian yang beragam dalam satu pandangan umum. Salah satunya adalah ISO 9126 yang mengatur mengenai evaluasi kualitas perangkat lunak, yang diantaranya terdiri dari 6 aspek yaitu *functionality*, *reliability*, *usability*, *efficiency*, *portability*, dan *maintainability*.

Tabel 3. 3 Pertanyaan Karakteristik ISO 9126

Karakteristik	Pertanyaan evaluasi
<i>Functionality</i> / fungsionalitas	Seberapa puas dengan interface aplikasi?
<i>Reliability</i> / kehandalan	Apakah perangkat lunak ini berjalan lancar pada perangkat ?
<i>Usability</i> /kebergunaan	Seberapa mudah Anda belajar menggunakan aplikasi ini?
<i>Efficiency</i> /efisiensi	Apakah perangkat lunak ini mengkonsumsi sumber daya sistem yang berlebihan?
<i>Maintainability</i> /pemeliharaan	Apakah aplikasi harus diupdate dan upgrade? (saran)

Tabel 3.3 merupakan tabel karakteristik pengujian ISO 9126, tabel diatas adalah serangkaian pertanyaan yang diberikan pada pengguna sebagai tolak ukur aplikasi. Pengguna tidak hanya menjawab pertanyaan yang diberikan, namun pengguna juga melakukan beberapa perlakuan yang diminta untuk menguji dan nantinya akan menilai aplikasi.

Tabel 3. 4 Perlakuan ISO 9126

<b>Karakteristik</b>	<b>Perlakuan</b>
<i>Functionality</i> / fungsionalitas	Lakukan buka tutup dan kembali pada aplikasi secara berulang dan lihat apakah aplikasi tetap berfungsi sebagai mana mestinya.
<i>Reliability</i> / kehandalan	Membuka banyak aplikasi lain untuk melihat bagaimana perangkat lunak beroperasi dengan banyak aplikasi lain yang terbuka.
<i>Usability</i> /kebergunaan	Minta pengguna untuk mencoba aplikasi dan seberapa cepat memahami aplikasi.
<i>Efficiency</i> /efisiensi	Analisis penggunaan CPU, memori, dan sumber daya lain selama pengoprasian aplikasi.
<i>Maintainability</i> /pemeliharaan	Lakukan perubahan kecil pada aplikasi untuk menilai kemudahan pemeliharaan.

Dari Lima karakteristik dari ISO 9126 pengguna akan diminta melakukan sesuatu sebelum memberikan penilaian pada aplikasi, seperti yang ada pada bagian tabel 3.4 adalah langkah-langkah yang harus dilakukan para pengguna yang akan mencoba aplikasi, setelah pengguna melakukan yang diminta maka barulah pengguna akan menilai aplikasi

### 3.2.5. Skala Likert

Dalam menganalisis data angket, dapat digunakan skala likert yang berfungsi untuk mengukur pendapat, sikap, dan persepsi seseorang atau sekelompok orang terhadap suatu fenomena sosial. Tabel Skala Likert dapat mengkonversi data kuantitatif menjadi data kualitatif, ditunjukkan pada Tabel. Skala Likert ini akan digunakan sebagai parameter dalam menilai hasil kuesioner saat pengujian.

Tabel 3. 5 Skala Likert

NO	Jawaban	Bobot Skor
1	Sangat puas	5
2	Cukup puas	4
3	Netral	3
4	Tidak puas	2
5	Sangat tidak puas	1

Tabel 3.5 merupakan tabel skala likert yang akan menjadi parameter untuk penilaian keseluruhan pengguna yang telah menjawab dan melakukan perlakuan yang diminta, melalui parameter diatas maka akan didapat penilaian pengguna tentang aplikasi.

### 3.2.6. Pengujian Alat dan Sistem

Pada tahap ini dilakukan pengujian alat dan sistem dengan tujuan untuk memastikan keberhasilan alat yang dibuat sesuai dengan prinsip kerja dan referensi yang digunakan selama penelitian. Selain itu, tahap pengujian dilakukan untuk mengambil data yang dihasilkan dari alat dan sistem yang akan digunakan sebagai acuan untuk menganalisis hasil pengujian.

### 3.2.7. Teknik analisis

Menganalisis data angket akan digunakan skala likert seperti yang ditunjukkan tabel 3.4. Dalam menghitung persentase skor dari angket maka akan digunakan persamaan berikut.

$$S = \frac{\sum n}{\sum n_{maks}} \times 100\%$$

Dalam persamaan diatas **S** adalah persentase dari skor, **n** adalah skor yang diperoleh dan **n<sub>maks</sub>** adalah skor maksimum yang dapat diperoleh. Nilai persentase skor kemudian dapat diukur dengan menggunakan interoretasi skala likert yang ditunjukkan pada tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Interpretasi skala likert

Persentase	Interpretasi
0% - 20%	Sangat tidak baik
21% - 40%	Tidak baik
41% - 60%	Netral
61% - 80%	Baik
81% - 100%	Sangat baik

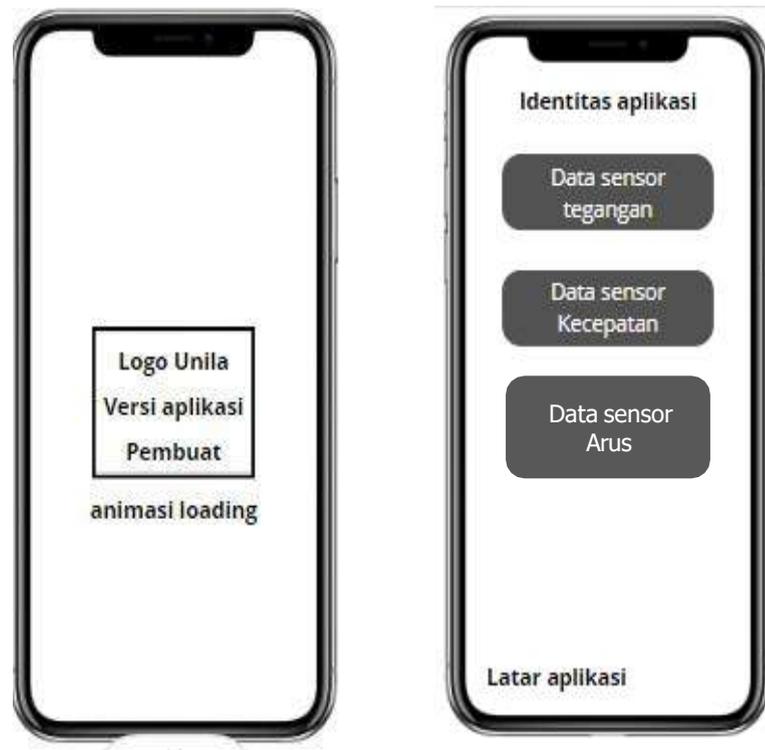
Tabel 3.6 merupakan tabel yang akan menjadi parameter akhir dari semua penilaian yang telah diberikan pengguna dengan parameter ini maka keseluruhan nilai yang diberikan pengguna akan dihitung yang nantinya akan mendapatkan hasil akhir rata-rata penilaian dari semua pengguna.

Pada penelitian ini lima parameter digunakan karena mempertimbangkan beberapa poin sebagai berikut.

1. Klaritas dan Detail: Skala lima poin memberikan tingkat detail yang cukup untuk membedakan antara berbagai tingkat kepuasan. Ini membantu memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang persepsi pengguna
2. Kemudahan Penggunaan: Skala lima poin cukup sederhana dan intuitif bagi pengguna. Ini mengurangi kebingungan dan memungkinkan responden untuk memberikan jawaban dengan lebih mudah dan cepat.
3. Netralitas: Adanya opsi "netral" memberi ruang bagi responden yang merasa tidak memiliki opini yang kuat atau yang merasa sulit untuk memilih antara puas dan tidak puas. Hal ini menghindari pemaksaan responden untuk memilih.
4. Analisis yang Lebih Akurat: Skala dengan lima poin memberikan data yang cukup variatif untuk analisis statistik. Ini memungkinkan perhitungan rata-rata, standar deviasi, dan analisis lainnya yang lebih akurat dibandingkan dengan skala yang lebih kecil.
5. Keseimbangan: Skala lima poin menyediakan keseimbangan yang baik antara detail dan kesederhanaan. Skala yang terlalu banyak poin bisa menjadi rumit, sedangkan skala yang terlalu sedikit poin mungkin tidak memberikan cukup detail.

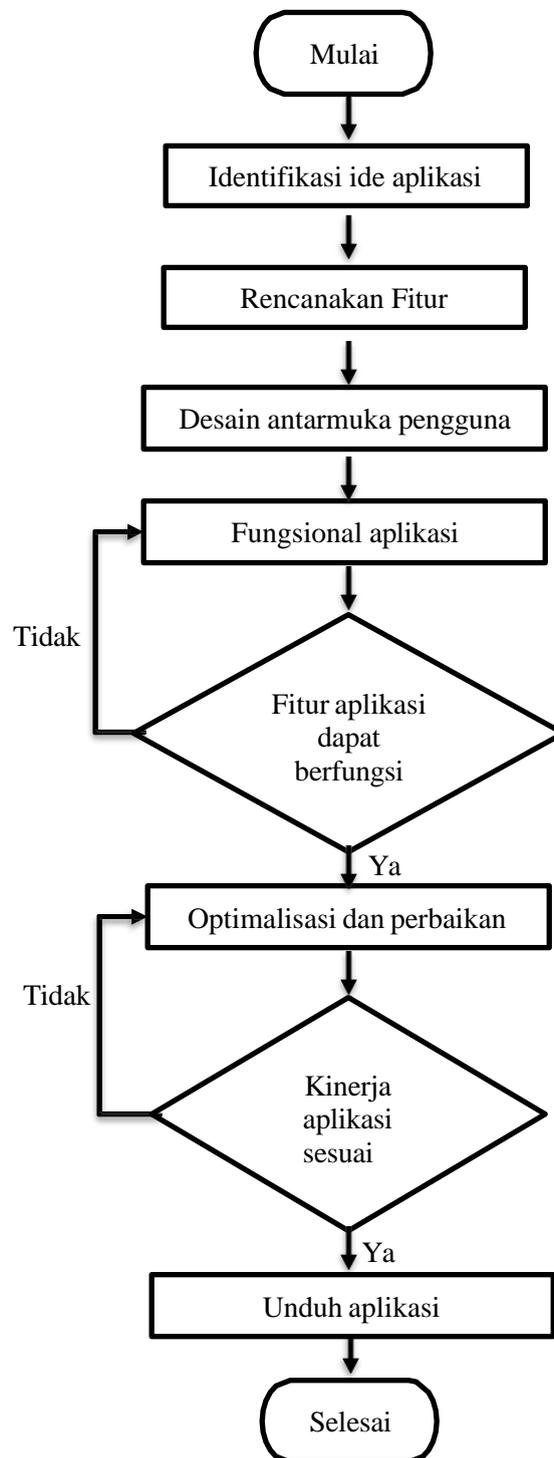
### 3.3. Desain aplikasi

Desain dari aplikasi pemantauan PLTPH pada penelitian ini dapat terlihat pada Gambar 3.4, aplikasi pemantauan ini sendiri akan diberi nama *VolRPM Tracker*.



Gambar 3. 4 Desain aplikasi

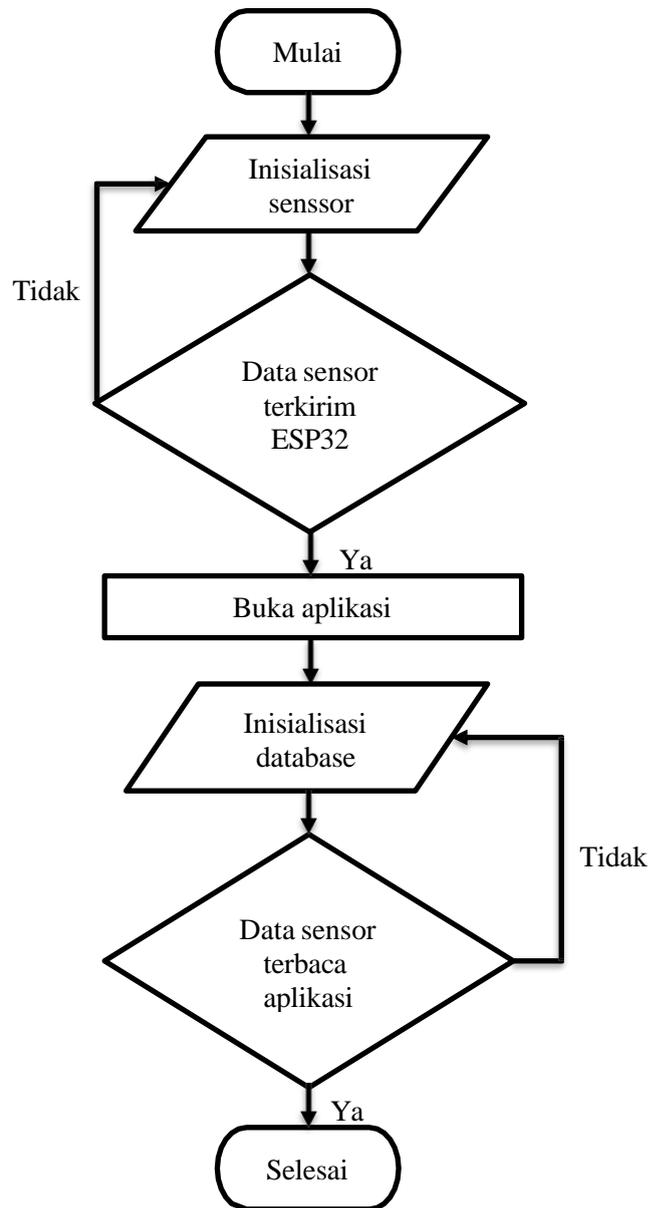
### 3.4. Prosedur pembuatan aplikasi dan Database realtime



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pembuatan aplikasi

Prosedur dari pembuatan aplikasi memiliki beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Identifikasi ide aplikasi. Pada tahap pertama adalah menentukan dan mengetahui aplikasi apa yang akan dibuat. Kemudian mencari tahu tujuan dari terbuatnya aplikasi dan apa yang akan dicapai dengan adanya aplikasi tersebut.
2. Rencanakan Fitur. Tahap kedua ialah merencanakan fitur-fitur apa saja yang akan ada pada aplikasi dan merencanakan aplikasi akan berfungsi bagaimana nantinya.
3. Desain antarmuka pengguna. Pada tahapan ketiga merupakan tahap untuk merealisasikan hal yang telah di rencanakan sebelumnya seperti desain tampilan, tema, teks, gambar icon dan berbagai tata letak elemen.
4. Fungsional aplikasi. Setelah fitur dan desain telah lengkap maka pada tahap keempat ini akan dihubungkan setiap elemen yang dipakai dengan kode blok. Pada tahapan ini pula setiap bagian elemen pada aplikasi dapat diuji.
5. Optimalisasi dan perbaikan. Setelah tahapan fungsional selesai maka pada bagian kelima dilakukan kembali pemeriksaan aplikasi secara berkala untuk memastikan kinerja aplikasi telah sesuai, perbaiki bug atau masalah yang ditemukan sebelum aplikasi diunduh.
6. Pengunduhan aplikasi. Tahapan keenam atau tahap terakhir adalah mengunduh aplikasi yang telah sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3. 6 Diagram Alir *Real-time Database*

1. Tahap pertama inialisasi dengan sensor. Tahap ini merupakan tahapan untuk menghubungkan sistem sensor dengan *realtime database*, hal ini bertujuan agar data yang terbaca oleh sensor dapat dikirim kepada *database*.
2. Pada tahap kedua data sensor terkirim pada ESP32. Tahap ini adalah tahapan dimana data yang dikirimkan sensor telah masuk dan terbaca oleh ESP32, pada tahapan kedua ini jika pada ESP32 belum membaca data yang dikirimkan sensor maka harus kembali kepada tahap pertama.
3. Buka aplikasi. Setelah data terbaca pada ESP32 maka pada tahapan ini adalah membuka aplikasi untuk melihat data yang telah terkirim.
4. Inialisasi dengan *database*. Tahap ini adalah tahapan untuk memastikan bahwa aplikasi pada *smartphone* telah terhubung pada *database*, hal ini bertujuan agar aplikasi dapat menampilkan data sensor yang telah dikirim pada *database*.
5. Tahap terakhir adalah data sensor terbaca aplikasi. Pada tahapan terakhir ini data yang dibaca oleh sensor dan dikirim ke *database* akan dikirim dan terbaca secara *realtime* pada aplikasi, pada tahap ini jika aplikasi belum dapat menampilkan data yang ada pada *database* maka harus kembali pada tahap keempat.

## **V. Kesimpulan dan Saran**

### **5.1. Kesimpulan**

Telah terealisasikannya sistem pemantauan PLTPH berbasis aplikasi android dengan tingkat akurasi pembacaan nilai Tegangan sebesar 99.92%, Kecepatan 99,92% dan Arus 100%, dengan implementasi alat dan pengujian maka dapat disimpulkan pemantauan PLTPH berbasis aplikasi android mendapatkan respon positif dari pengguna.

Dengan adanya sistem pemantauan maka dapat dengan mudah mengetahui nilai tegangan, kecepatan dan arus yang dihasilkan oleh PLTPH, sehingga dapat mengetahui kondisi dan stabilitas tenaga yang dihasilkan, mengetahui stabilitas yang dihasilkan sangat penting untuk mengetahui bahwa sistem bekerja dalam kondisi optimal yang meminimalkan kerugian daya serta meningkatkan efisiensi operasional.

### **5.2. Saran**

Setelah pengamatan dan analisis terhadap penelitian ini, penulis memberikan saran agar nantinya dapat meningkatkan efisiensi aplikasi seperti menambahkan sensor yang berbeda dan digunakan pada perangkat selain PLTPH dengan harapan aplikasi dapat dipakai untuk memantau berbagai macam perangkat dan tidak terpaku pada PLTPH saja.

Penggunaan metode lain untuk pemantauan atau sistem aplikasi juga sangat disarankan untuk selanjutnya, dengan menggunakan metode dan sistem yang berbeda maka akan memungkinkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. T. Marry, “Panas Bumi Harta Karun Yang Terpendam Menuju Ketahanan Energi,” *J. Ketahanan Nas.*, vol. 23, no. 2, p. 93, 2017, doi: 10.22146/jkn.26944.
- [2] L. N. Rahayu dan J. Windarta, “Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 88–98, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13327.
- [3] A. Nawawi dan S. Winarto, “Pemanfaatan Potensi Energi Aliran Kanal Kalisolo I pada Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi,” *J. Nas. Pengelolaan Energi MigasZoom*, vol. 1, no. 1, pp. 17–26, 2019, doi: 10.37525/mz/2019-1/183.
- [4] W. A. Prasetyo, A. Wisaksono, dan I. Sulistiyowati, “Google Sheet-based Monitoring of Screw Turbine Pico Hydro Power Plant on Masangan Wetan Village’s River Flow,” *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 3, no. December, 2023, doi: 10.21070/pels.v3i0.1348.
- [5] A. L. Goffar, Abdul Mubarak, *Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Dc Tenaga Angin Berbasis Arduino*. 2018.
- [6] W. A. Prasetyo, A. W. Wisaksono, dan I. S. Sulistiyowati, “Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Menggunakan Turbin Ulir Dengan Monitoring Berbasis Google Sheet Pada Aliran Sungai Desa Masangan Wetan,” *Pros. Sains Nas. dan Teknol.*, vol. 12, no. 1, p. 527, 2022, doi: 10.36499/psnst.v12i1.7097.
- [7] A. Z. dan D. Yusri, *J. Ilmu Pendidik.*, vol. 7, no. 2, pp. 809–820, 2020.
- [8] V. Uniyal, N. Kanojia, dan K. Pandey, “Design of 5kw Pico Hydro Power Plant Using Turgo Turbine,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 7, no. 12, pp. 363–367, 2016,
- [9] R. A. C. O. Calimpusan, L. P. Arcite, dan J. M. A. Yula, “Design and Enhancement of Pico Hydro and Monitoring System for Generation of Electricity,” *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 72, no. 3, pp. 49–54, 2024, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V72I3P105.

- [10] J. Morales Morales *et al.*, “Design and implementation process of a pico-hydro power generation system for teaching and training,” *Rev. Ciencias Tecnológicas*, vol. 6, no. 4, p. e325, 2023, doi: 10.37636/recit.v6n4e325.
- [11] M. Bukar dan A. A. Suleiman, “Design and Performance Evaluation of Pico Hydropower Generation,” *Int. J. Information, Eng. Technol.*, vol. 11, no. April, p. 3746, 2022.
- [12] A. Imron, T. Andromeda, dan B. Setiyono, “Perancangan Akuisisi Data Pada Panel Rtu Pt.Pln (Persero) Berplatform Android,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 664–670, 2018.
- [13] I. N. Wahid, B. Nainggolan, dan I. Silanegara, “Rancang Bangun Monitoring Arus Dan Tegangan Pada Floating Photovoltaic Di Kolam Politeknik Negeri Jakarta,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 193–200, 2021.
- [14] D. SAPUTRA, “Prototype Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Pada Rumah Tangga Via SMS Gateway Berbasis Hanphone,” *Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, 2022.
- [15] A. Asmara Putra, E. Susanto, dan N. Prihatiningrum, “Sistem Perekam Kecepatan Sepeda Motor Saat Kecelakaan Menggunakan Microsd Motorcycle Speed Recording System During an Accident Using a Microsd,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 11479–11484, 2021.
- [16] Zenhadi, “Pengenalan Esp32 Board,” vol. 6, 2020.
- [17] M. N. Nizam, Haris Yuana, dan Zunita Wulansari, “Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 767–772, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i2.5713.
- [18] S. Paul dan J. Chang, “Design of absolute encoder disk coding based on affine n digit N-ary gray code,” *Conf. Rec. - IEEE Instrum. Meas. Technol. Conf.*, vol. 2016-July, no. October, 2016, doi: 10.1109/I2MTC.2016.7520384.
- [19] W. H. Yeh, W. Bletscher, and M. Mansuripur, “High resolution optical shaft encoder for motor speed control based on an optical disk pick-up,” *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 69, no. 8, pp. 3068–3071, 1998, doi: 10.1063/1.1149057.

- [20] H. R. Safitri, “Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Dan Pengganti Air Aquarium Otomatis Berbasis Arduino UNO,” *Jitekh*, vol. 7, no. 1, pp. 29–33, 2019.
- [21] K. Kartika, A. Asran, H. Erawati, E. Ezwarsyah, dan ..., “Pelatihan Platform Arduino Bagi Siswa SMA Negeri 1 Baktiya Alue Ie Puteh Aceh Utara,” *J. Solusi ...*, pp. 1–5, 2022, [Online]. Available
- [22] A. Perkantoran, “Jurnal Informasi dan Komunikasi Administrasi Perkantoran Volume 3, No 1, Februari 2019 vol. 3, no. 1, 2019.
- [23] A. I. Fadilah, S. Risma, E. Sulisty, and Irwan, “Pembuatan Kontrol dan Monitoring Pemberian Pakan Kelinci Secara Otomatis Berbasis IoT,” *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, pp. 3024–9538, 2023.
- [24] Y. Nurhening and W. A. Ilham, *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, 2019.