

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING DISCHARGE* AKUMULATOR
MENGUNAKAN ARDUINO DAN SENSOR INA219**

(Skripsi)

Oleh

**SOHWATUNNISA
NPM 1917041086**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM *MONITORING DISCHARGE* AKUMULATOR MENGUNAKAN ARDUINO DAN SENSOR INA219

Oleh

SOHWATUNNISA

Perancangan sistem *monitoring discharge* akumulator menggunakan Arduino dan sensor ina219 telah direalisasikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem *monitoring discharge* penurunan tegangan aki berbasis Arduino dan sensor INA219 serta menganalisis karakteristik penurunannya. Sistem ini digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya secara *real-time* dengan pencatatan data setiap 2 menit ke dalam SD card. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan beban motor DC 12 V hingga aki habis, dengan tegangan awal masing-masing 12,83 V, 13,14 V, dan 13,5 V serta durasi 312 menit, 330 menit, dan 318 menit. Penurunan tegangan drastis terjadi pada menit ke-240 sebesar 0,92 V pada pengujian pertama dan menit ke-212 sebesar 4,78 V pada pengujian kedua, sedangkan pengujian ketiga menunjukkan penurunan yang lebih stabil, serta ditemukan titik kritis pada kisaran 8–9 V sebagai batas kondisi aki mendekati habis. Selain itu, diperoleh hubungan antara tegangan, arus, dan daya yang saling berbanding lurus, dimana penurunan tegangan diikuti oleh penurunan arus dan daya. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dirancang mampu memonitor dan merepresentasikan kondisi nyata aki selama proses *discharge* secara efektif.

Kata kunci: Akumulator, *Monitoring discharge*, Arduino, Sensor INA219, Tegangan, Arus, Daya.

ABSTRACT

DESIGN OF ACCUMULATOR DISCHARGE MONITORING SYSTEM USING ARDUINO AND INA219 SENSOR

By

SOHWATUNNISA

The design of a battery discharge monitoring system using Arduino and the INA219 sensor has been successfully implemented. This study aims to develop a monitoring system for battery voltage drop during the discharge process and to analyze its characteristics. The system is capable of measuring voltage, current, and power in real-time, with data recorded every 2 minutes and stored on an SD card. The testing was conducted through three discharge cycles using a 12 V DC motor as the load until the battery was fully depleted. The initial voltages were 12.83 V, 13.14 V, and 13.5 V, with operating durations of 312 minutes, 330 minutes, and 318 minutes, respectively. Significant voltage drops occurred at the 240th minute (0.92 V) in the first test and at the 212th minute (4.78 V) in the second test, while the third test showed a more stable decline. A critical voltage range of 8–9 V was also identified as the threshold indicating that the battery was approaching depletion. In addition, a direct relationship between voltage, current, and power was observed, where a decrease in voltage is followed by decreases in current and power. Based on these results, the developed system is capable of effectively monitoring and representing the actual condition of the battery during the discharge process.

Key words: Accumulator, Discharge Monitoring, Arduino, INA219 Sensor, Voltage, Current, Power

**PERANCANGAN SISTEM *MONITORING DISCHARGE* AKUMULATOR
MENGUNAKAN ARDUINO DAN SENSOR INA219**

Oleh

SOHWATUNNISA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul : Perancangan Sistem *Monitoring Discharge*
Akumulator Menggunakan Arduino dan Sensor
Ina219

Nama Mahasiswa : Sohwatunnisa

No. Pokok Mahasiswa : 1917041086

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing



Dr. Gurum Ahmad Pauzi, M.T.
NIP. 198010102005011002



Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

2. Ketua Jurusan Fisika

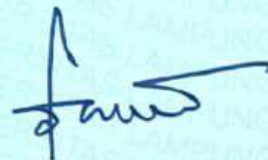


Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.
NIP. 199011252019032018

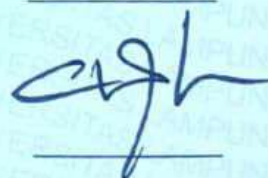
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Gurum Ahmad Pauzi, M.T**



Sekretaris : **Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Dr. Sri Wahyu Suciyati S.Si. M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Juni 2026

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sohwatunnisa
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041086
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa dalam skripsi saya dengan judul **“Perancangan Sistem Monitoring Discharge Akumulator Menggunakan Arduino dan Sensor INA219”** adalah benar hasil karya saya sendiri, baik ide, hasil maupun analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi digunakan oleh dosen atau program studi dalam kepentingan publikasi atas persetujuan penulis dan sepanjang nama saya disebutkan sebelum dilakukan publikasi.

Dengan pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 18 Juni 2026

Penulis,




Sohwatunnisa
NPM. 1917041086

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Sohwatunnisa, dilahirkan di Bekasi pada 07 Februari 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Iwan Nurgahawan dan Ibu Nunuy Nuroniah. Penulis menyelesaikan pendidikan di MI Al-Imaroh tahun 2012, MTs Al-Imaroh tahun 2015, dan MAS Al-Imaroh tahun 2018. Penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2019. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung pada organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode 2020 – 2021 sebagai anggota bidang Komunikasi dan Informasi (Kominfo), Rohani Islami (Rois) FMIPA Unila sebagai Sekretaris bidang Informasi dan Komunikasi (Infokom) periode 2021, Badan Eksekutif Mahasiswa tingkat Fakultas (BEMF) periode 2022 sebagai Bendahara Dinas Komunikasi dan Informasi (Kominfo).

Penulis telah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) PT. Semen Baturaja Persero Tbk di Baturaja pada tahun 2022 dengan judul “Prinsip Kerja dan Analisis Berat Setiap *Spout Filling Station* Menggunakan Sensor Berat Load Cell Z6FD1 Pada *Rotary Packer* Di PT Semen Baturaja Persero Tbk”. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan Periode II tahun 2022 di Desa Nibung, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur.

MOTTO

"Menjadi diri sendiri berarti menerima perubahan dan membiarkan diri kita tumbuh ke arah yang lebih baik."

– **Carl Rogers**

"Tumbuh itu bukan tentang menjadi sempurna, melainkan tentang menerima proses dan terus melangkah maju."

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini kupersembahkan
untuk

Orang tuaku

Bapak Iwan Nurgahawan dan Ibu Nunuy Nuroniah

Terima kasih atas segala kasih dan sayang serta dukungan baik materi maupun
non materi yang telah diberikan padaku

Kakak dan Nenek-ku

Terima kasih telah memberikan semangat, bantuan, dan dukungan kepadaku baik
dalam bentuk materi dan doa

Bapak/Ibu dosen

Terima kasih telah memotivasi, memberikan dukungan, ilmu dan membimbing
hingga dapat menyelesaikan Pendidikan di tingkat Universitas sebagai sarjana

Almamaterku tercinta

“UNIVERSITAS LAMPUNG”

KATA PENGANTAR

Segala puja atas rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Perancangan Sistem Monitoring Discharge Akumulator Menggunakan Arduino dan Sensor INA219**”. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan alam Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya. Semoga kita semua dapat memperoleh pertolongan beliau di hari akhir kelak. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi penambah referensi dan rujukan terhadap pengembangan riset di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Bandar Lampung, 18 Juni 2026
Penulis,

Sohwatunnisa

SANWACANA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan Sistem *Monitoring Discharge* Akumulator Menggunakan Arduino dan Sensor INA219”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing II, Dosen Pembimbing Akademik dan Ketua Jurusan Fisika yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi dan arahan selama masa perkuliahan.
3. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si., sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan koreksi, kritik serta saran yang membangun selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak/Ibu Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu penulis memenuhi kebutuhan administrasi dan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

7. Kedua Orang Tua Penulis, Iwan Nurgahawan dan Nunuy Nuroniah yang telah memberikan perhatian, doa, nasihat, dan dukungan kepada penulis selama menjalani kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
8. Faeruz Nur Khaerunnisa dan Ahmed Fauzan Ramadhan selaku kakak penulis serta nenekku tercinta yang telah memberikan semangat, doa, dukungan moril serta materi selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Aryu Kusmita, Ajeng Riyanti Dewi, Diah Ayu Fitriana Dewi K, dan Feby Cahya Mustika selaku sahabat dan teman dekat penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
10. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2019, yang telah bersama-sama dengan penulis dalam menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis agar bisa menjalani kehidupan yang akan datang.

Bandar Lampung, 18 Juni 2026

Sohwatunnisa

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 Elektrokimia	7
2.3 Akumulator.....	9

2.4 <i>Charge</i> dan <i>discharge</i>	11
2.5 Tegangan, Arus, Daya, dan Energi Baterai	12
2.6 Arduino Mega Pro250	15
2.7 Sensor INA 219	16
2.8 <i>Real Time Clock</i> (RTC)	18
2.9 LCD TFT 2.4 <i>Inch</i>	19
2.10 Micro SD Card	19

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3 Prosedur Penelitian.....	22
3.4 Rancangan Pengambilan Data Hasil Penelitian	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	29
4.2 Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	30
4.3 Pengambilan Data.....	34

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	43
5.2 Saran.....	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Alat penunjang penelitian	21
3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	22
3.3 Data <i>monitoring discharge</i> Aki.....	27
4.1 Data Hasil Pengukuran 1.....	35
4.2 Data Hasil Pengukuran 2.....	36
4.3 Data Hasil Pengukuran 3.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Skematik alat baterai	5
2.2 Sistem <i>monitoring</i> baterai	6
2.3 Wiring diagram	7
2.4 Konstruksi aki	10
2.5 Proses Pengosongan Baterai (<i>discharge</i>)	11
2.6 Proses Pengisian Baterai (<i>charge</i>)	12
2.7 Rangkaian <i>ekuivalen</i> baterai	13
2.8 Arduino Mega 2560	15
2.9 Skematik INA 219	17
2.10 Konfigurasi PIN	17
2.11 RTC	18
2.12 LCD TFT-ILI9341	19
2.13 Modul Micro SD <i>Reader</i>	20
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Diagram blok sistem	24
3.3 Skematik rangkaian <i>monitoring discharge</i>	25
3.4 Diagram perangkat lunak	26
3.5 Grafik Pengukuran Tegangan Listrik Aki	28
4.1 Realisasi Sistem <i>Monitoring</i> Aki	29
4.2 Pengukuran tegangan aki dengan multimeter	30
4.3 (a) Grafik Pengukuran 1 (b) Grafik Pengukuran 2 (c) Grafik Pengukuran 3	38
4.4 Penurunan Tegangan	39
4.5 Penurunan Arus	40

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang sistem penyimpanan energi listrik mengalami peningkatan yang sangat pesat, terutama dalam pemanfaatan akumulator atau baterai sebagai sumber energi utama maupun cadangan. Akumulator banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada kendaraan, perangkat elektronik portabel, serta sistem energi terbarukan sebagai media penyimpanan energi. Dalam penggunaannya, performa akumulator sangat dipengaruhi oleh kondisi operasionalnya, khususnya parameter tegangan, arus, dan daya selama proses pengisian (*charging*) maupun pengosongan (*discharge*). Oleh karena itu, pemantauan kondisi akumulator secara *real-time* menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga umur pakai baterai (Linden dan Reddy, 2018). Selama proses *discharge*, akumulator mengalami penurunan tegangan yang disebabkan oleh berkurangnya energi kimia yang tersimpan di dalamnya. Penurunan tegangan ini tidak selalu bersifat linear, melainkan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti resistansi internal baterai, suhu lingkungan, serta jenis beban yang digunakan. Resistansi internal menyebabkan adanya penurunan tegangan ketika arus mengalir, sehingga tegangan terminal yang terukur akan lebih rendah dibandingkan gaya gerak listrik dari baterai itu sendiri. Selain itu, pada penggunaan beban induktif seperti motor DC, karakteristik arus dan tegangan menjadi lebih kompleks karena adanya efek induktansi dan pembentukan medan magnet yang menyebabkan perubahan arus bersifat dinamis (Hartenstein, 2015).

Proses *monitoring* akumulator masih sering dilakukan secara manual, sehingga data yang diperoleh tidak mampu merepresentasikan kondisi sebenarnya selama proses *discharge* berlangsung. Padahal, data perubahan tegangan, arus, dan daya terhadap waktu sangat penting untuk menganalisis karakteristik performa baterai, termasuk

dalam menentukan batas aman penggunaan serta memperkirakan efisiensi energi yang dihasilkan. Kurangnya sistem *monitoring* yang terintegrasi menjadi salah satu kendala dalam memperoleh data yang akurat dan berkelanjutan (Kusuma et al., 2023). Seiring dengan perkembangan teknologi *embedded system*, penggunaan mikrokontroler menjadi solusi yang efektif dalam merancang sistem *monitoring* yang terintegrasi dan *real-time*. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah Arduino Mega 2560, yang memiliki keunggulan dalam jumlah pin I/O yang banyak, kemudahan pemrograman, serta kompatibilitas dengan berbagai sensor dan modul pendukung. Dengan memanfaatkan mikrokontroler, proses pengambilan data dapat dilakukan secara otomatis.

Berbagai penelitian terkait sistem *monitoring* baterai telah banyak dilakukan dengan pendekatan dan metode yang berbeda. Penelitian oleh Setiawan et al. (2023) mengembangkan sistem *monitoring* tegangan dan arus baterai menggunakan sensor INA219 berbasis Arduino yang mampu melakukan pengukuran secara *real-time* dengan tingkat kestabilan yang baik. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada pengukuran parameter dasar tanpa analisis mendalam terhadap karakteristik penurunan tegangan selama proses *discharge*. Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Kusuma et al. (2023) mengembangkan sistem *data logger* baterai berbasis Arduino dan sensor INA219 yang mampu mencatat data tegangan dan arus secara kontinu menggunakan media penyimpanan. Sistem ini telah mampu meningkatkan efisiensi dalam proses pengambilan data, akan tetapi belum secara spesifik menganalisis hubungan antara parameter listrik terhadap waktu selama proses *discharge* berlangsung.

Selain itu, Fauzan et al. (2024) merancang sistem *monitoring* baterai berbasis sensor INA219 yang mampu mengukur parameter tegangan dan arus secara *real-time*. Sistem yang dikembangkan telah menunjukkan kinerja yang baik dalam proses *monitoring*, namun masih terbatas pada pengukuran umum tanpa integrasi analisis lanjutan seperti daya dan energi. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem *monitoring* baterai berbasis Arduino dan sensor INA219 telah banyak dikembangkan dan mampu bekerja dengan baik dalam pengukuran parameter listrik. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada

monitoring umum tanpa analisis mendalam terhadap karakteristik penurunan tegangan selama proses *discharge*, khususnya pada penggunaan beban induktif.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang suatu sistem *monitoring* akumulator berbasis Arduino Mega 2560 dan sensor INA219 yang mampu mengukur dan merekam parameter tegangan, arus, daya, serta energi secara *real-time*. Penelitian ini juga difokuskan pada analisis karakteristik penurunan tegangan selama proses *discharge* dengan menggunakan beban motor DC sebagai representasi beban induktif, dan dilengkapi dengan *data logger* sehingga data hasil pengukuran dapat tersimpan secara otomatis dan digunakan untuk analisis lebih lanjut terhadap karakteristik penurunan tegangan selama proses *discharge* berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana merancang sistem *monitoring discharge* penurunan tegangan aki berbasis sensor INA219 dan mikrokontroler Arduino??
- b. Bagaimana karakteristik penurunan tegangan aki selama proses *discharge* berdasarkan data pengukuran secara *real-time*?
- c. Bagaimana hubungan antara tegangan, arus, dan daya selama proses pengosongan aki?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini:

1. Merancang dan membangun sistem *monitoring discharge* penurunan tegangan aki berbasis Arduino dan sensor INA219.
2. Menganalisis karakteristik penurunan tegangan aki selama proses *discharge*.
3. Mengetahui hubungan antara parameter tegangan, arus, dan daya selama pengujian.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Terciptanya alat *monitoring discharge* dan pengukur aki;
2. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi *monitoring* dan pengukuran parameter listrik aki, serta menjadi dasar untuk pengembangan sistem *monitoring* yang lebih kompleks, seperti sistem *charging–discharging* otomatis;
3. Memberikan wawasan yang berguna dalam merancang sistem kontrol otomatis, mengintegrasikan berbagai sensor, dan menganalisis data *real-time*, yang relevan untuk pengembangan penelitian di masa depan.

1.5 Batasan Masalah

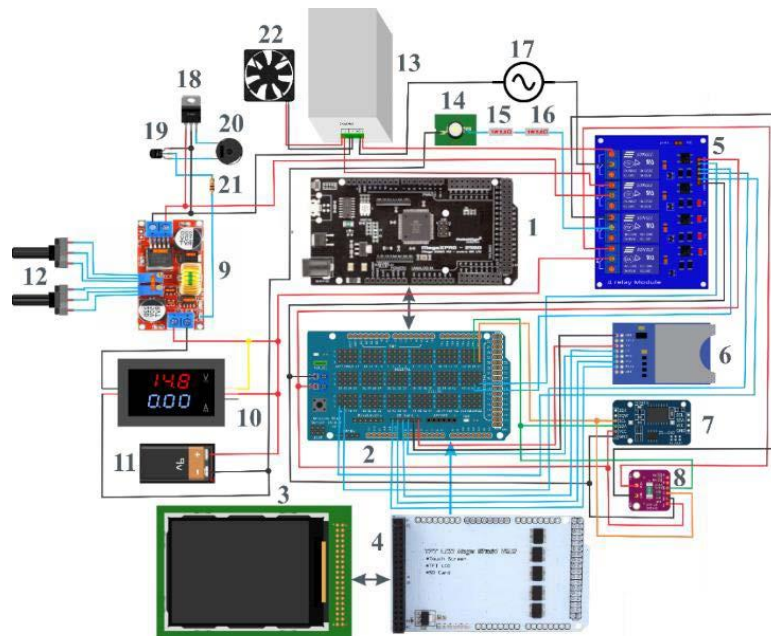
Batasan masalah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah:

- a. Pembuatan sistem *monitoring discharge* dan pengukur parameter listrik aki 12 V menggunakan Arduino Mega XPro;
- b. Parameter yang *dimonitoring* dan diukur berupa tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan akumulator;
- c. Pengukuran parameter listrik menggunakan sensor tegangan arus INA219;
- d. *Monitoring* dan pengambilan data tercatat secara *real-time* oleh *Real Time-Clock* (RTC) dan tersimpan di *SD Card*;

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et al. (2023) berfokus pada pengembangan sistem *monitoring* tegangan dan arus baterai menggunakan sensor INA219 berbasis mikrokontroler Arduino. Dalam penelitian tersebut, INA219 dimanfaatkan sebagai sensor utama karena kemampuannya dalam mengukur tegangan dan arus secara simultan melalui metode pengukuran berbasis *resistor shunt*. Sistem yang dirancang mampu melakukan pembacaan data secara *real-time* dan menampilkan hasil pengukuran secara langsung. Rancangan skematik sistem perangkatnya ditampilkan pada **Gambar 2.1**.

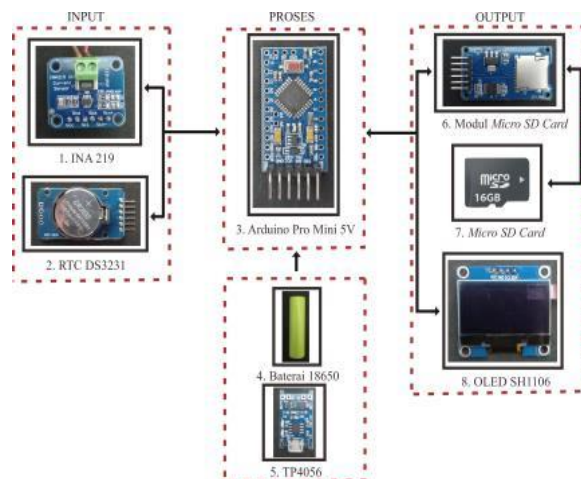


Gambar 2.1 Skematik alat baterai (Setiawan et al., 2023)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan INA219 memberikan tingkat kestabilan yang lebih baik dibandingkan sensor analog, dengan fluktuasi data yang relatif kecil serta nilai *error* yang rendah. Selain itu, sistem yang dikembangkan

juga mampu bekerja secara kontinu dalam proses *monitoring*, sehingga dapat digunakan untuk mengamati perubahan parameter listrik baterai secara dinamis. Meskipun demikian, penelitian ini masih terbatas pada pengukuran parameter dasar tanpa analisis lebih lanjut terhadap hubungan antara tegangan dan arus terhadap waktu maupun terhadap karakteristik penurunan tegangan selama proses *discharge*.

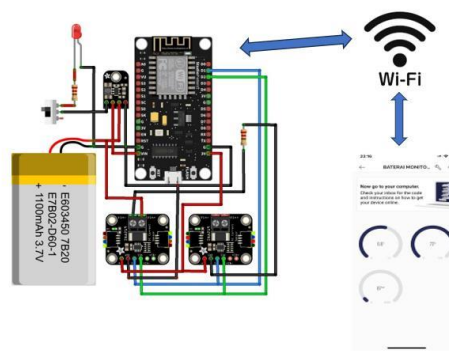
Selanjutnya, penelitian oleh Kusuma et al. (2023) mengembangkan sistem *monitoring* baterai yang lebih terintegrasi dengan menambahkan fitur *data logger* berbasis sensor INA219 dan mikrokontroler Arduino. Sistem ini tidak hanya mampu melakukan pengukuran tegangan dan arus secara *real-time*, tetapi juga dilengkapi dengan media penyimpanan sehingga data hasil pengukuran dapat direkam secara kontinu dan otomatis. Implementasi *data logger* ini memberikan keunggulan dalam proses akuisisi data, karena pengguna tidak perlu lagi melakukan pencatatan manual yang berpotensi menimbulkan kesalahan. Selain itu, sistem ini memungkinkan analisis data secara historis, sehingga pola perubahan parameter listrik baterai dapat diamati dengan lebih jelas. **Gambar 2.2** menunjukkan sistem blok dari penelitian.



Gambar 2.2 Sistem *monitoring* baterai (Kusuma et al., 2023)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dalam jangka waktu tertentu, serta mampu menyimpan data secara sistematis. Namun, penelitian ini belum secara spesifik membahas analisis lanjutan terhadap parameter daya dan energi, serta belum mengkaji karakteristik penurunan tegangan baterai secara mendalam selama proses *discharge*.

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Fauzan et al. (2024) juga mengkaji penggunaan sensor INA219 dalam sistem *monitoring* baterai dengan fokus pada pengukuran parameter listrik secara langsung dan *real-time*. Sistem yang dikembangkan mampu mengukur tegangan dan arus secara akurat serta menampilkan hasil pengukuran secara langsung pada perangkat output. Penelitian ini menegaskan bahwa INA219 merupakan sensor yang efektif digunakan dalam *monitoring* baterai karena memiliki tingkat akurasi yang baik, respon yang cepat, serta kemudahan dalam integrasi dengan mikrokontroler melalui komunikasi I2C. Selain itu, sistem yang dirancang mampu memberikan gambaran kondisi baterai selama proses operasi berlangsung. Wiring diagramnya ditampilkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Wiring diagram (Fauzan et al., 2024)

Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada fungsi *monitoring* tanpa integrasi perhitungan parameter turunan seperti daya dan energi secara komprehensif, serta belum dilengkapi dengan sistem pencatatan data berbasis waktu yang terstruktur.

2.2 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media penghantar listrik yang disebut elektroda (Harahap, 2016). Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi

reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media penghantar pada sel elektrokimia. Proses elektrokimia tidak terlepas dari logam yang dicelupkan pada larutan disebut elektroda yang terdiri dari katoda dan anoda. Selain itu, metode elektrokimia merupakan media penghantar sebagai tempat terjadinya serah terima elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan larutan. Larutan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah, dan larutan bukan elektrolit. Ada dua jenis sel elektrokimia, yaitu sel galvanic dan sel elektrolit. Sel elektrokimia dapat dikategorikan sebagai suatu sistem yang terdiri dari dua elektroda yang terpisah minimal satu macam fasa elektrolit. Umumnya diantara kedua elektroda dalam sel elektrokimia tersebut terdapat perbedaan potensial yang terukur (Widjajanti, 2005).

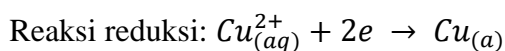
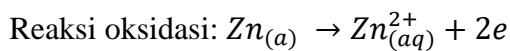
Ada dua prinsip sel elektrokimia.

1. Sel yang melakukan kerja dengan melepaskan energi dari reaksi spontan; dan
2. Sel yang melakukan kerja dengan menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan.

Sel elektrokimia baik yang melepas atau menyerap energi selalu melibatkan perpindahan elektron-elektron dari satu senyawa yang lain dalam suatu reaksi oksidasi reduksi. Sel elektrokimia adalah suatu alat yang menghasilkan arus listrik dari energi yang dihasilkan oleh reaksi di dalam selnya, yaitu reaksi oksidasi dan reaksi reduksi (reaksi redoks). Sel elektrokimia tersusun dari dua material penghantar atau konduktor listrik yang disebut dengan anoda dan katoda. Anoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan katoda adalah elektroda tempat terjadinya reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi yang menghasilkan kenaikan bilangan oksidasi. Bilangan oksidasi menunjukkan jumlah elektron yang telah dipindahkan dari suatu unsur (hal ini menghasilkan bilangan oksidasi positif) dan jumlah total elektron yang telah ditambahkan ke dalam suatu unsur (menghasilkan bilangan oksidasi negatif) untuk mencapai keadaan baru. Jadi sebuah sel selalu terdiri dari dua bagian atau dua elektroda, setengah reaksi oksidasi akan berlangsung pada anoda dan setengah reaksi reduksi akan berlangsung pada

katoda. Dengan kata lain pada sel elektrokimia, kedua setengah reaksi dipisahkan dengan maksud agar dialiri listrik (elektron) yang ditimbulkan dapat dipergunakan (Janert et al., 2018).

Dalam proses elektrokimia dibutuhkan media penghantar serah terima elektron dalam suatu sistem reaksi yang dinamakan larutan. Terdapat tiga kategori larutan, yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukan elektrolit. Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut yang dapat menghantarkan arus listrik sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima elektron relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil, namun proses elektrokimia tetap terjadi. Untuk larutan bukan elektrolit, proses serah terima elektron tidak terjadi. Proses elektrokimia tidak terlepas dari sebuah elektroda (elektroda yang dicelupkan pada larutan). Elektroda terdiri dari katoda dan anoda. Sebagai contoh sebuah elektroda seng (Zn) yang sudah dimasukkan kedalam sebuah larutan tembaga (Cu) maka akan mengalami reaksi reduksi dan reaksi oksidasi sebagai berikut:



Pada proses ini zat yang mengalami oksidasi dinamakan reduktor, sedangkan zat yang mengalami reduksi disebut oksidator (Harahap, 2016).

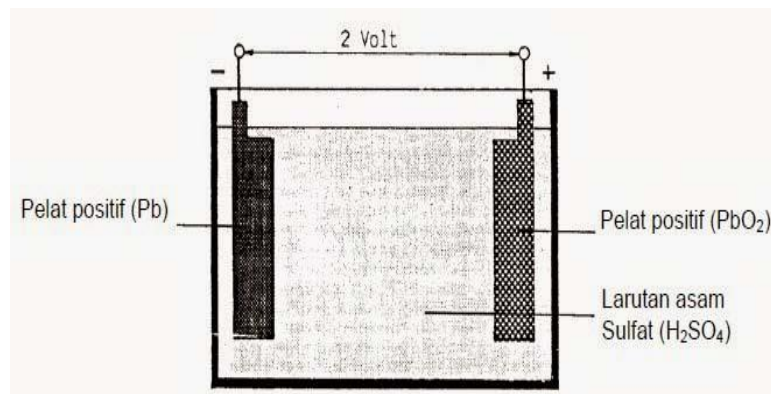
2.2 Akumulator

Akumulator merupakan sumber energi listrik arus searah (DC) yang bekerja dengan mengonversi energi kimia menjadi energi listrik. Perangkat ini tergolong sebagai elemen elektrokimia sekunder karena reaksi kimia yang terjadi di dalamnya bersifat *reversibel*, sehingga zat pereaksi dapat dipulihkan kembali melalui proses pengisian ulang. Akumulator pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan fisika asal

Perancis, yaitu Gaston Planté, pada tahun 1859. Secara umum, akumulator tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu:

1. Elektroda positif (anoda), yang terbuat dari timbal dioksida (PbO_2).
2. Elektroda negatif (katoda), yang menggunakan bahan timbal murni (Pb).
3. Elektrolit, berupa larutan asam sulfat (H_2SO_4) yang berfungsi sebagai media penghantar ion dalam proses reaksi kimia. Konstruksi aki dapat dilihat pada

Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Konstruksi aki (Sofiah dan Irawan, 2019)

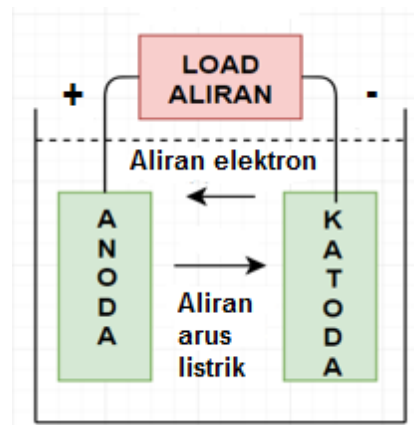
Akumulator memiliki peranan penting dalam berbagai aplikasi, khususnya pada kendaraan bermotor seperti mobil dan sepeda motor. Perangkat ini berfungsi sebagai penyimpan energi listrik sekaligus penstabil tegangan dan arus pada sistem kelistrikan kendaraan. Selama penggunaan, terjadi reaksi kimia di dalam aki yang menyebabkan terbentuknya endapan pada anoda (reaksi reduksi) dan katoda (reaksi oksidasi). Seiring waktu, proses ini mengakibatkan hilangnya beda potensial antara kedua elektroda sehingga aki menjadi habis atau tidak lagi dapat menyuplai energi listrik. Secara konstruksi, baterai aki tersusun atas beberapa sel. Untuk aki dengan tegangan nominal 12 Volt, terdapat enam sel yang masing-masing memiliki rentang tegangan sekitar 2,30 V hingga 2,45 V. Dengan demikian, tegangan total aktual aki berkisar antara 13,8 V hingga 14,7 V. Kondisi baterai juga sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Suhu yang tinggi dapat mempercepat kerusakan baterai. Pada proses pengisian dengan suhu lingkungan di atas 30°C , tegangan yang direkomendasikan adalah sekitar 2,35 V per sel. Sementara itu, jika suhu berada di bawah 30°C , tegangan pengisian yang disarankan berada pada kisaran 2,40 V hingga 2,45 V per sel (Sofiah dan Irawan, 2019).

2.4 Charge dan discharge

Secara umum, prinsip kerja baterai terbagi menjadi dua tahap, yaitu pengosongan (*discharge*) dan pengisian (*charge*).

2.4.1 Pengosongan (*discharge*)

Proses pengosongan terjadi ketika baterai digunakan untuk menyuplai beban. Saat baterai mengalirkan arus ke beban, dua aliran terbentuk, yaitu aliran dalam baterai (*internal circuit*) dan aliran yang melalui beban (*external circuit*). Dalam internal circuit, energi potensial yang dibawa oleh elektron berpindah dari kutub negatif ke kutub positif, sehingga kutub positif baterai menerima tambahan energi potensial yang menghasilkan tegangan untuk menjalankan beban, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



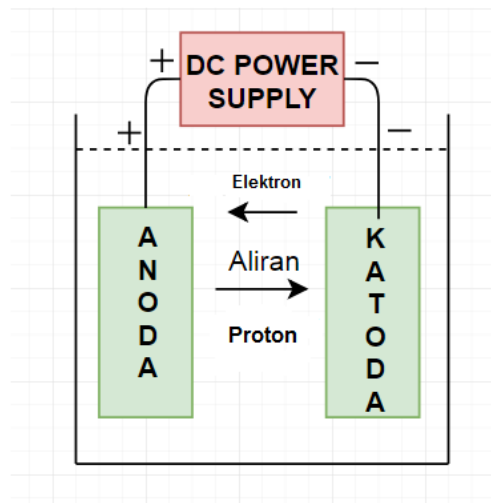
Gambar 2.5 Proses Pengosongan Baterai (*discharge*) (King et al., 2020)

Di external circuit, terjadi aliran pelepasan energi potensial dari kutub positif baterai yang dikenal sebagai arus listrik, yang mengalir menuju kutub negatif baterai melalui beban. Perbedaan potensial antara kutub negatif dan positif baterai inilah yang diterima oleh beban sebagai energi listrik, sehingga beban mendapatkan energi untuk beroperasi.

2.4.2 Pengisian (*charge*)

Proses pengisian (*charge*) dilakukan untuk mengembalikan daya yang telah digunakan pada baterai. Ketika sel dihubungkan dengan sumber daya, elektroda

positif berfungsi sebagai anoda dan elektroda negatif sebagai katoda, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Proses Pengisian Baterai (*charge*) (King et al., 2020)

Proses kimia yang terjadi selama pengisian adalah sebagai berikut:

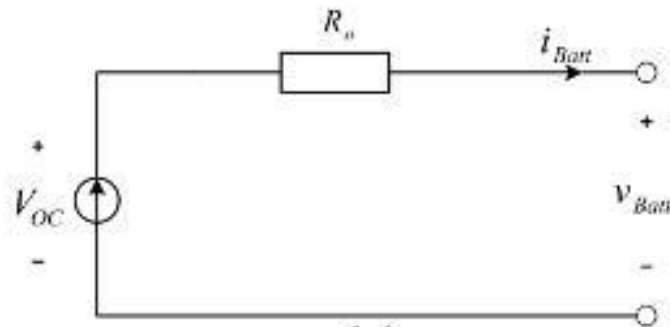
- Aliran elektron mengalir dari anoda melalui catu daya ke katoda.
- Ion-ion negatif (elektron) bergerak dari katoda ke anoda.
- Ion-ion positif (proton) bergerak dari anoda ke katoda.

Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengisian bervariasi, tergantung pada seberapa besar daya yang hilang dan besar arus yang diterapkan pada baterai (King et al., 2020).

2.5 Tegangan, Arus, Daya, dan Energi Baterai

2.5.1 Tegangan Baterai

Tegangan baterai merupakan gaya penggerak listrik atau biasa disebut juga beda potensial listrik antara dua titik satu rangkaian listrik. Tegangan ini berperan penting karena menjadi faktor utama yang mendorong aliran arus listrik dari satu titik ke titik lainnya. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Tegangan baterai dapat diukur dengan membuat rangkaian ekuivalen seperti pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Rangkaian *ekuivalen* baterai (Setiawan et al., 2023)

Gambar 2.7 menunjukkan rangkaian *ekuivalen* dari baterai. Untuk mencari tegangan baterai pada rangkaian tersebut, dapat dicari dengan menggunakan **Persamaan 2.1**.

$$V_{batt} = V_{oc} - R_o I_{batt} \quad (2.1)$$

dengan V_{batt} sebagai tegangan baterai, V_{oc} sebagai tegangan internal baterai, R_o sebagai hambatan internal baterai, dan I_{batt} sebagai arus baterai (He et al., 2011). V_{batt} dapat diartikan juga sebagai tegangan ketika baterai dihubungkan ke sebuah beban. Sedangkan V_{oc} diartikan sebagai besarnya nilai tegangan referensi dari baterai atau tegangan normal baterai. Besarnya tegangan nominal baterai berbeda-beda, hal itu dipengaruhi oleh karakteristik dari baterai tersebut (Snihir et al., 2006; Zheng et al., 2016).

2.5.2 Arus Baterai

Arus baterai merupakan gerakan atau aliran yang disebabkan oleh perpindahan elektron yang mengalir dari *anode* menuju *katode*. Berdasarkan arah alirannya, arus baterai dianggap mengalir dari *katode* ke *anode*. Arus baterai menunjukkan banyaknya muatan listrik yang dapat disalurkan maupun disimpan baterai selama proses *charge-discharge*. Pada dasarnya arus baterai adalah banyaknya muatan baterai yang berpindah dari *katode* ke *anode* per satuan waktu atau dapat dituliskan dengan **Persamaan 2.2**.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.2)$$

dengan I sebagai nilai arus baterai, q sebagai banyaknya muatan baterai, dan t sebagai waktu yang dibutuhkan untuk muatan baterai berpindah dari *katode* ke *anode* (Bard dan Faulkner, 2001; Bazant, 2010).

2.5.3 Daya Baterai

Daya baterai mengacu pada energi yang dapat diturunkan per satuan waktu. Daya baterai adalah banyaknya energi baterai yang mengalir setiap detik atau *Joule per Second* yang diukur dalam satuan *Watt* (W) atau *mili Watt* (mW). Daya baterai dirumuskan dengan **Persamaan 2.3**.

$$P = VI \quad (2.3)$$

dengan P sebagai daya baterai, V adalah sebagai baterai, dan I sebagai kuat arus baterai (Thompson, 2006).

2.5.4 Energi Baterai

Energi baterai merupakan besarnya energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan baterai dalam waktu tertentu. Energi baterai juga dapat didefinisikan sebagai besarnya daya atau muatan yang dapat disimpan maupun dihasilkan oleh baterai tersebut dalam waktu tertentu. Energi baterai dinyatakan dalam satuan *watt hours* (Wh) atau *kilo watt hours* (kWh) yang dapat ditentukan menggunakan **Persamaan 2.6**.

$$E = \int_0^t V_{(t)} I_{(t)} dt \quad (2.6)$$

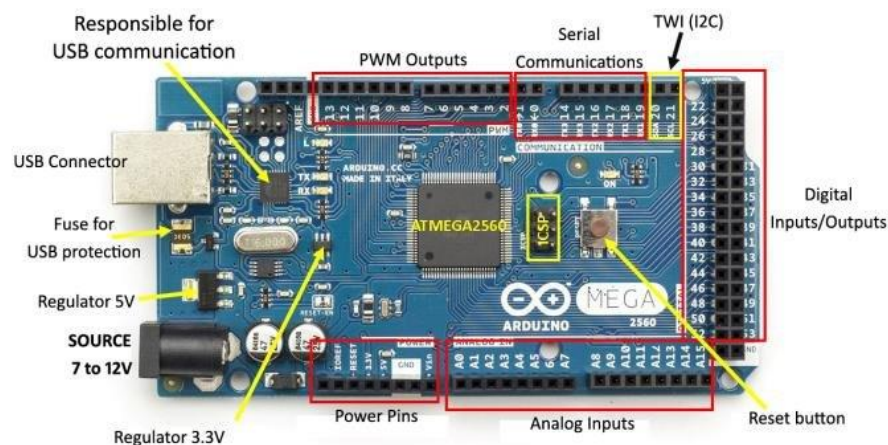
dengan E sebagai muatan energi baterai V , sebagai tegangan baterai, I sebagai arus saat pelepasan muatan baterai, dan t adalah waktu pelepasan muatan baterai. Karena **Persamaan 2.5** dan **Persamaan 2.6** saling berkaitan maka energi baterai dapat dicari menggunakan **Persamaan 2.7** sebagai berikut.

$$E = VC \quad (2.7)$$

dengan E sebagai energi yang disimpan atau dikeluarkan baterai, V sebagai tegangan baterai, dan C sebagai kapasitas baterai (Kiehne, 2003; Rubenbauer dan Henninger, 2017; Muladi et al., 2020).

2.6 Arduino Mega Pro250

Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang berbasis perangkat keras dan perangkat lunak *open source*, dirancang untuk kemudahan penggunaan dan fleksibilitas. Platform ini ditujukan bagi seniman, desainer, dan siapa saja yang tertarik menciptakan objek atau lingkungan interaktif. Arduino terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras Arduino mirip dengan mikrokontroler pada umumnya, namun dengan tambahan penamaan pin untuk mempermudah penggunaannya. Perangkat lunak Arduino bersifat *open source*, yang dapat diunduh secara gratis. *Software* ini digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke dalam Arduino. Pemrograman Arduino lebih sederhana dibandingkan dengan mikrokontroler konvensional, karena dirancang agar mudah dipelajari, sehingga cocok bagi pemula yang ingin mulai belajar mikrokontroler (Arifin et al., 2016). Arduino Mega Pro250 dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Arduino Mega 2560 (Kumar et al., 2015)

Arduino Mega adalah papan mikrokontroler yang menggunakan chip ATMega2560 (*datasheet*). Papan ini dilengkapi dengan 54 pin input/output digital (15 diantaranya dapat digunakan untuk output PWM), 16 pin input analog (A0 hingga A15), osilator

kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack* daya, *header* ICSP, dan tombol reset. Arduino Mega 2560 memiliki beberapa pin dengan fungsi khusus, antara lain:

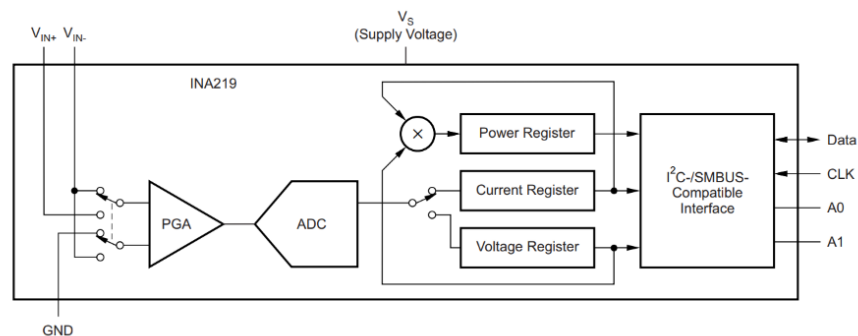
- a. *Port* serial pertama terdiri dari pin 0 (Rx) dan pin 1 (Tx), *port* serial kedua menggunakan pin 19 (Rx) dan pin 18 (Tx), *port* serial ketiga menggunakan pin 17 (Rx) dan pin 16 (Tx), sedangkan *port* serial keempat terdiri dari pin 15 (Rx) dan pin 14 (Tx). Pin *Receiver* (Rx) berfungsi untuk menerima data serial, sementara pin *Transmitter* (Tx) digunakan untuk mengirimkan data serial.
- b. 6 pin *external interrupts*, yaitu pin 2 (*Interrupt* 0), pin 3 (*Interrupt* 1), pin 18 (*Interrupt* 5), pin 19 (*Interrupt* 4), pin 20 (*Interrupt* 3), dan pin 21 (*Interrupt* 2). Fitur interupsi ini memungkinkan program utama dihentikan sementara untuk menjalankan program interupsi sebelum kembali ke program utama.
- c. 15 pin PWM yang terdiri dari pin 2, pin 3, pin 4, pin 5, pin 6, pin 7, pin 8, pin 9, pin 10, pin 11, pin 12, pin 13, pin 14, pin 15, dan pin 16. Pin-pin ini dapat digunakan sebagai output PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan resolusi 8 bit.
- d. Pin *Serial Peripheral Interface* (SPI) mencakup pin 50 (MISO), pin 51 (MOSI), pin 52 (SCK), dan pin 53 (SS). Komunikasi SPI dilakukan dengan menggunakan *SPI Library*, yang memungkinkan pengiriman data antara mikrokontroler atau antara mikrokontroler dengan perangkat eksternal lainnya.
- e. Pin I2C yaitu pin 20 *Serial Data* (SDA) dan pin 21 *Serial Clock* (SCL) komunikasi I2C menggunakan *wire library*.

Modul ini sudah dilengkapi dengan semua kebutuhan untuk memprogram mikrokontroler, seperti kabel USB dan catu daya melalui adaptor atau baterai. Semua perangkat ini mendukung penggunaan mikrokontroler Arduino, yang dapat dihubungkan ke komputer melalui kabel USB atau sumber daya listrik melalui adaptor AC ke DC atau baterai untuk menjalankan proyek Arduino (Kadir, 2014).

2.7 Sensor INA 219

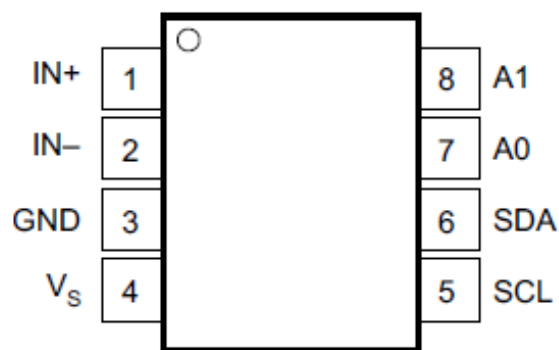
INA219 merupakan modul sensor yang dapat digunakan untuk memantau tegangan dan arus dalam suatu rangkaian listrik. Modul ini mendukung antarmuka I2C atau

SMBUS-COMPATIBLE, memungkinkan pengukuran tegangan *shunt* dan tegangan suplai bus, dengan konversi berbasis waktu dan penyaringan. INA219 dilengkapi dengan amplifier input dengan batas maksimum $\pm 320\text{mV}$, yang memungkinkan pengukuran arus hingga $\pm 3,2\text{A}$. Dengan ADC internal 12 bit, resolusi pengukuran arus pada kisaran 3,2A adalah 0,8 mA. Pada pengaturan gain internal minimum div8, pengukuran maksimum arus adalah $\pm 400\text{mA}$ dengan resolusi 0,1 mA. INA219 dapat mengukur tegangan *shunt* pada bus dengan rentang 0 – 26 V (Monda et al., 2018).



Gambar 2.9 Skematik INA 219 (Texas Instruments, 2015)

Pada **Gambar 2.9**, skematik modul INA 219 menunjukkan berbagai pin seperti pin I/O data, *clock*, analog 0, analog 1, V_{in+} , V_{in-} , *ground*, dan suplai tegangan. **Gambar 2.10** menjelaskan konfigurasi pin dari modul INA.

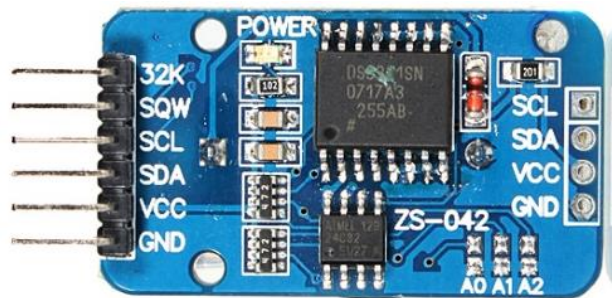


Gambar 2.10 Konfigurasi PIN (Setiawan et al., 2023)

Pin V_{in+} dan V_{in-} adalah pin input positif dan negatif dari tegangan *shunt*, di mana pin positif dihubungkan ke hambatan *shunt*, sedangkan pin negatif terhubung ke *ground*. Pin SCL (*serial clock line*) dan SDA (*serial data line*) digunakan untuk komunikasi melalui bus serial. Sementara itu, pin A0 dan A1 berfungsi sebagai *address* untuk pin input analog (Setiawan et al., 2023).

2.8 Real Time Clock (RTC)

Komponen *Real-Time Clock* (RTC) adalah IC penghitung yang dapat digunakan untuk menyediakan data waktu seperti jam, hari, bulan, dan tahun. RTC adalah komponen elektronik yang memungkinkan memperoleh waktu nyata (*real-time*) dengan cepat dan akurat. Pada DS3231, komunikasi dengan *board* Arduino dilakukan melalui I2C (Idris dan Jaya, 2014). Bentuk fisik komponen RTC DS3231 ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 RTC (Faisal, 2024)

DS3231 tidak memiliki batasan dalam hal penulisan ulang, namun memerlukan baterai untuk menyimpan data dan menjaga jam tetap berjalan. Tanpa baterai, semua data yang tersimpan pada DS3231 akan hilang (Guntoro et al., 2013).

Menurut Syofian dan Indra (2015) dari fitur-fitur pada Ds3231 meliputi.

- a. RTC (*Real-Time Clock*) dapat menghitung detik, menit, jam, tanggal, bulan, hari, dan tahun secara akurat hingga tahun 2100.
- b. RAM berkapasitas 5-byte, *non-volatile* untuk menyimpan data.
- c. 2 jalur serial *interface*.
- d. Keluaran gelombang kotak yang diprogram.
- e. Konsumsi arus hanya 500 mA pada baterai internal.
- f. Dapat beroperasi dalam mode *oscillator running*.
- g. Range suhu: - 40 C sampai +85 C.

Modul RTC DS1307 adalah jenis lain dari perangkat pengukur waktu *real-time*. Modul ini menggunakan antarmuka komunikasi I2C atau dua kabel (SDA dan SCL) untuk mengakses data. Ketika dihubungkan dengan mikrokontroler seperti Arduino Nano, hanya diperlukan dua pin untuk komunikasi dan dua pin untuk daya, menjadikannya sederhana dan efisien (Wilson, 2005; Maxim Integrated, 2015).

2.9 LCD TFT

LCD TFT merupakan perangkat semikonduktor yang dirancang untuk memperkuat dan mengolah sinyal elektronik dengan bantuan film tipis, lapisan dielektrik yang bersifat isolator listrik, serta elemen kimia pada lapisan pelindungnya, yaitu monitor LCD. Layar ini mampu menampilkan karakter angka 0 hingga 9, yang dapat digunakan untuk sistem keamanan. Karakter angka tersebut dapat dikonversi menjadi bilangan *desimal*, *okta desimal*, dan *heksa desimal*. LCD TFT dengan ukuran 3,2 inch ILI9341 dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 LCD TFT-ILI9341 (Kuchma, 2015)

LCD TFT berukuran 3,2 inci dengan tipe ILI9341 digunakan bersama Arduino jenis Mega. Dalam pengoperasiannya, LCD ini bekerja pada tegangan 3,3 V sehingga tidak dapat langsung terhubung dengan board Arduino Mega. Untuk mengatasinya, diperlukan Arduino LCD TFT 3,2 inch Mega Shield V2.2. *Shield* ini sangat kompatibel dengan Arduino Mega, berfungsi sebagai pelindung LCD saat dihubungkan dengan board Arduino Mega, serta membantu menjaga stabilitas tampilan layar (Kuchma, 2015).

2.10 Micro SD Card

Data logger atau perekam data adalah perangkat yang dapat dihubungkan dengan berbagai sensor untuk mengambil sinyal dari sensor, mengubahnya menjadi bentuk digital, memproses sinyal digital, menyimpan data pada waktu tertentu atau berdasarkan perintah eksternal, serta mengirimkan data ke perangkat lain (Brock and Richardson, 2001). Dalam penelitian ini, media penyimpanan yang digunakan adalah kartu *micro secure digital* (Micro SD), dan media perekam nya adalah Micro

SD Card *Adapter*. Modul Micro SD Card Adapter berfungsi untuk membaca dan menulis data pada kartu menggunakan komunikasi serial data melalui SPI, yang dikendalikan oleh empat pin: SCK, MOSI, MISO, dan CS. Modul SD Card dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Modul Micro SD Reader (Component101, 2021)

Berikut penjelasan mengenai pin-pin pada SPI:

- Serial Clock* (SCK) merupakan data biner yang dari *master* ke *slave* dan berfungsi sebagai *clock* dengan frekuensi tertentu;
- Master Out Slave In* (MOSI) merupakan pin yang digunakan untuk mengirimkan data dari *master* menuju *slave*;
- Master in Slave Out* (MISO) merupakan pin yang digunakan untuk mengirimkan data dari *slave* ke *master*;
- Chip Select* (CS) merupakan pin yang digunakan untuk mengaktifkan *slave*, sehingga komunikasi data dapat dilakukan ketika *slave* dalam keadaan aktif (Mutahor, 2008).

III. METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan sistem *Monitoring discharge* akumulator akan dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan November 2025 sampai dengan Juni 2026.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pembuatan sistem *Monitoring discharge akumulator* terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya pembuatan sistem adalah sebagai berikut.

3.2.1 Alat

Alat penunjang yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1. Alat penunjang penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1.	Multimeter SANWA CD800a	Mengukur tegangan akumulator
2.	Arduino IDE	Memprogram sistem <i>monitoring discharge</i> akumulator
3.	Tang	Membentuk kabel penghubung
4.	Timah Pasta	Merekatkan komponen elektronika
5.	Solder	Menghubungkan dan memasang komponen elektronika pada PCB
6.	PC/Laptop	Mengolah pemrograman dan pembuatan sistem penelitian

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk membuat sistem *monitoring* dan kendali *charge* dan *discharge* terdapat pada **Tabel 3.2**.

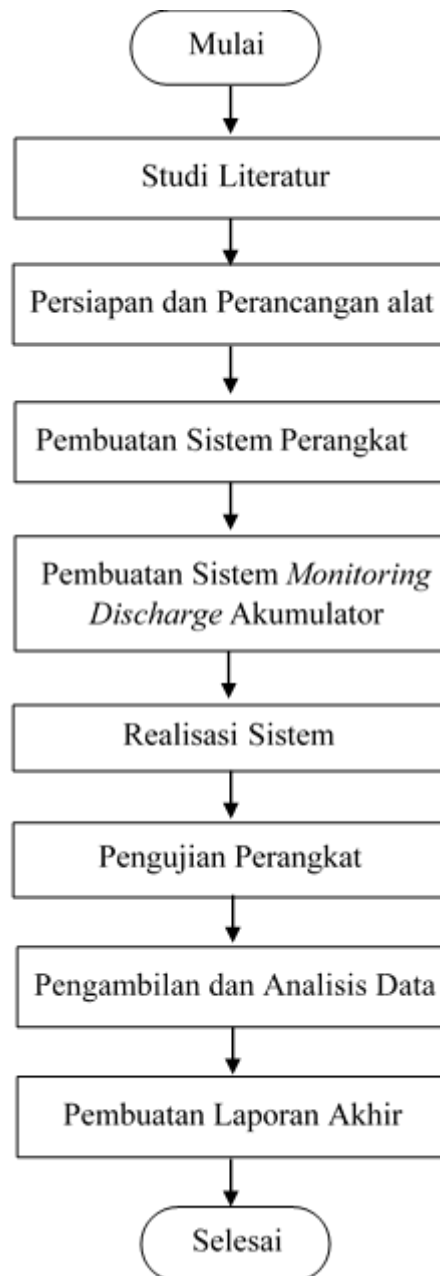
Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Perangkat Keras	Fungsi
1.	Akumulator	Sumber tegangan
2.	Arduino Mega XPro 2560 R3	Digunakan sebagai mikrokontroler pada perangkat
3.	Sensor INA219 GY-219	Digunakan sebagai pembaca tegangan, arus, dan daya
4.	Micro SD Card	Digunakan sebagai modul media penyimpanan data <i>monitoring</i> pada sistem <i>data logger</i>
5.	Modul <i>Real Time Clock</i> (RTC) DS3231	Digunakan sebagai penghitung waktu atau sumber data waktu pada sistem <i>data logger</i>
6.	Motor DC 12 V	Beban untuk menguji energi yang dihasilkan dari alat
7.	LCD I2C	Digunakan sebagai <i>display</i> data hasil <i>monitoring</i> dan pengukuran

3.3 Prosedur Penelitian

Pada pembuatan sistem *monitoring discharge* akumulator menggunakan mikrokontroler Arduino dan sensor INA219, terdapat beberapa tahapan penelitian yang dilakukan. Dimulai dengan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh dasar teori serta referensi terkait sistem *monitoring* aki, sensor INA219, dan karakteristik proses *discharge*. Selanjutnya, dilakukan tahap persiapan dan perancangan alat, yang meliputi rancangan rangkaian *hardware* serta perencanaan sistem perangkat lunak. Tahap berikutnya adalah pembuatan sistem perangkat, yang mencakup proses perakitan seluruh komponen elektronik. Setelah itu dilakukan pembuatan sistem *monitoring discharge*, di mana sistem dirancang untuk dapat membaca, mengolah, dan menampilkan data tegangan, arus, serta daya secara *real-time*. Tahap realisasi sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Setelah sistem berhasil direalisasikan, dilakukan pengujian perangkat untuk mengetahui kinerja sistem secara *real-time*. Data hasil pengujian kemudian dikumpulkan dan dianalisis untuk memperoleh data mengenai karakteristik penurunan tegangan aki selama proses

discharge. Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan akhir keseluruhan proses dan hasil penelitian yang telah dilakukan. Secara umum prosedur penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir penelitian seperti pada **Gambar 3.1**.



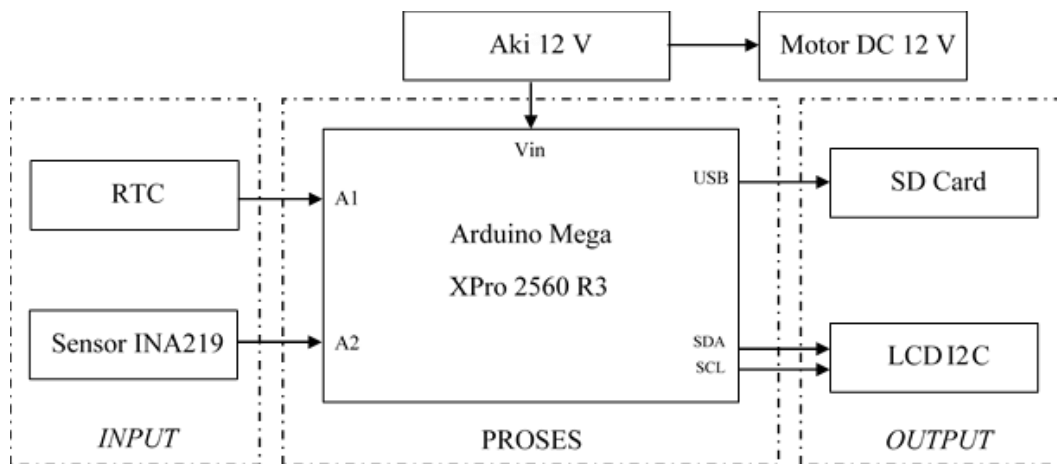
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk membuat satu perangkat sistem *monitoring discharge* akumulator menggunakan Arduino dan sensor ina219. Penelitian ini mengukur tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh aki 12V dengan beban

berupa motor DC 12 V. Pengukuran dan *monitoring* aki dilakukan dengan tiga kali pengulangan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih konsisten.

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras

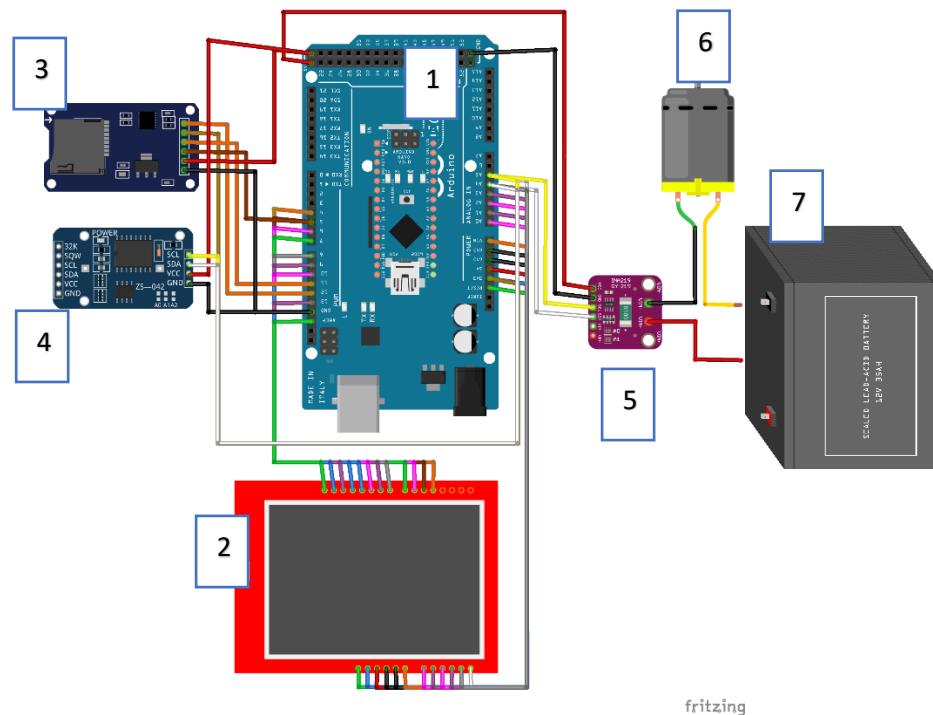
Perangkat keras yang digunakan dalam melakukan perancangan sistem *monitoring discharge* akumulator adalah Arduino Mega XPro 2560 R3, sensor INA219, LCD I2C, RTC, SD Card, dan Motor DC. **Gambar 3.2** menunjukkan diagram blok sistem yang mencakup perangkat masukan, proses, dan keluaran.



Gambar 3.2 Diagram blok sistem

Pada proses input, sensor utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor INA219 yang berfungsi untuk membaca parameter tegangan dan arus pada akumulator selama proses *discharge*. Sensor INA219 berperan sebagai pendeteksi dan pengukur parameter listrik (tegangan dan arus) dari akumulator, kemudian mengolahnya menjadi data digital yang selanjutnya dikirimkan ke mikrokontroler Arduino Mega untuk diproses. Akumulator yang digunakan akan langsung terhubung dengan beban berupa motor DC 12 V, sehingga terjadi proses *discharge* yang menyebabkan penurunan tegangan secara bertahap. Selama proses tersebut berlangsung, sensor INA219 secara kontinu melakukan pembacaan tegangan dan arus, yang kemudian digunakan untuk menghitung daya listrik secara *real-time*. Arduino sebagai pusat pengolah data akan memproses seluruh data yang diterima dari sensor, kemudian menampilkan hasil *monitoring* melalui LCD berupa nilai

tegangan (V), arus (A), dan daya (W). Selain itu, data hasil pengukuran juga disimpan secara *real-time* ke dalam media penyimpanan berupa SD Card untuk keperluan analisis. Skematik rangkaian dari perangkat sistem *monitoring discharge* ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.

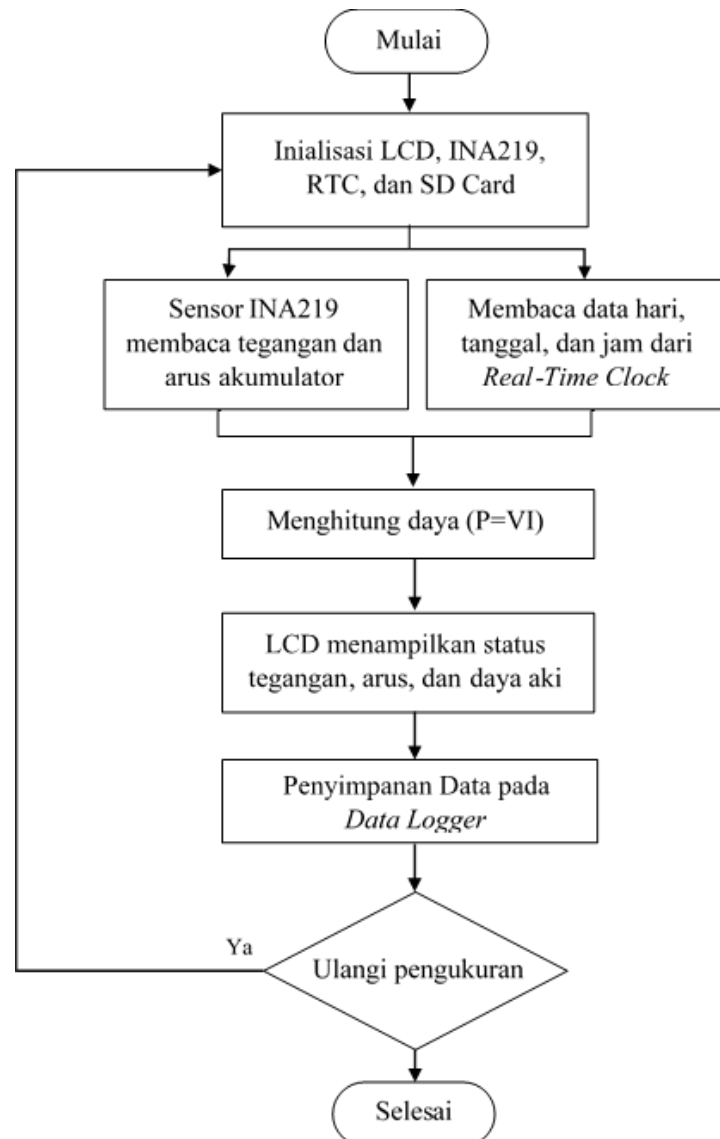


Gambar 3.3 Skematik rangkaian *monitoring discharge*

Sistem *monitoring discharge* akumulator terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terhubung membentuk satu kesatuan sistem. Di antaranya berupa Arduino Mega XPro 2560 R3, sensor INA219 GY-219, Micro SD Card, LCD I2C, *Real-Time Clock* (RTC), Aki 12V sebagai sumber energi, dan motor DC 12 V sebagai beban.

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Program software pengendali mikrokontroler Arduino MegaXPro 2560 R3 dibuat menggunakan perangkat lunak (*software*) Arduino IDE. Program tersebut berisikan perintah untuk menjalankan fungsi dari rangkaian pengendali sebagai pendeteksi dan pengukur parameter listrik akumulator. Rancangan program pengendali dapat dilihat dalam diagram alir pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Diagram perangkat lunak

Berdasarkan **Gambar 3.4** di atas, proses kerja sistem *monitoring discharge* akumulator diawali dari tahap inialisasi perangkat, yang meliputi LCD, sensor INA219, modul *Real-Time Clock* (RTC), dan modul SD Card. Pada tahap ini, seluruh komponen disiapkan agar dapat berfungsi sesuai dengan perannya masing-masing. Setelah proses inialisasi selesai, sensor INA219 mulai melakukan pembacaan nilai tegangan dan arus pada akumulator secara *real-time*. Secara bersamaan, modul RTC juga membaca data waktu berupa tanggal, jam, dan detik untuk memberikan informasi waktu pada setiap data yang dihasilkan. Data tegangan dan arus yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung daya listrik menggunakan **persamaan 2.1**. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya

diproses oleh Arduino dan ditampilkan melalui LCD berupa tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang dihasilkan aki, sehingga aki dapat dipantau secara langsung.

Selain ditampilkan pada LCD, data hasil pengukuran juga disimpan ke dalam modul SD Card sebagai *data logger*. Setelah proses penyimpanan data, sistem akan melakukan pengecekan untuk menentukan apakah pengukuran akan diulang atau selesai. Apabila pengukuran masih dilanjutkan, maka sistem akan kembali ke proses pembacaan sensor dan terus melakukan *monitoring* secara berulang (*looping*). Namun, jika pengukuran dihentikan atau selesai, maka sistem akan masuk ke tahap akhir dan proses *monitoring* selesai.

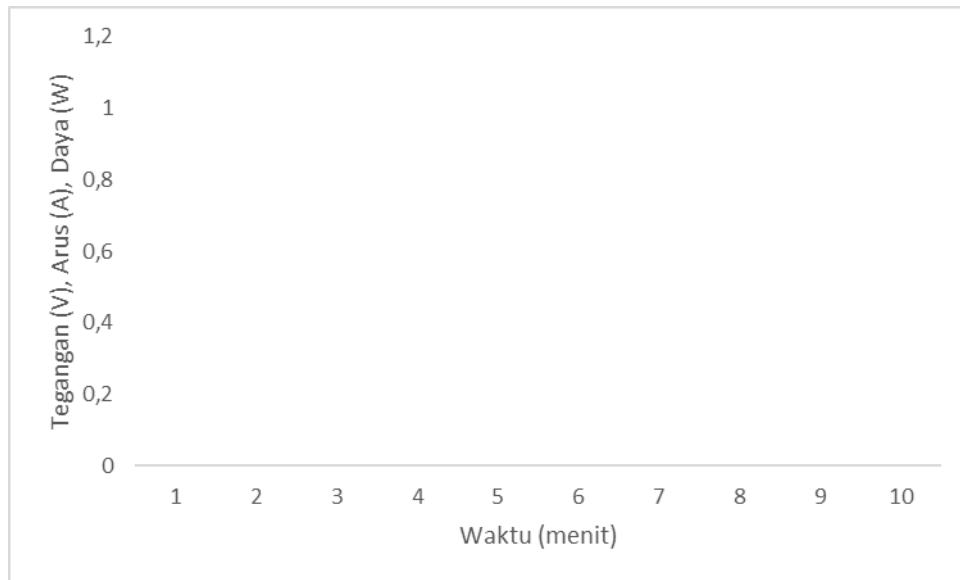
3.4 Rancangan Pengambilan Data Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan *memonitoring* dan mengukur tegangan, arus, dan daya secara *real-time*. Data *monitoring* dan pengukuran parameter tegangan dan arus aki didapat secara langsung dari hasil pembacaan sensor INA219 yang terdapat pada perangkat. Kemudian, dari data *monitoring* dan pengukuran parameter aki hasil pembacaan sensor INA219 tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan data *monitoring* dan pengukur parameter listrik aki. Pengambilan data dilakukan selama proses *discharge* aki sampai beban motor DC berhenti bergerak. Kemudian, aki akan di-charge sampai dalam keadaan maksimalnya. Data pengamatan diambil dengan tiga kali pengulangan. Rancangan data penelitian yang diambil disajikan dalam bentuk tabel seperti **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Data *monitoring discharge* Aki

No.	Waktu (menit ke-)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
...				

Penelitian ini juga dilakukan analisis data pengamatan dan hasil perhitungan yang diperoleh. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu. Rancangan analisis data ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Grafik Pengukuran Tegangan Listrik Aki

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian, dan analisis yang telah dilakukan pada sistem monitoring parameter aki, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem *monitoring discharge* aki berbasis Arduino dan sensor INA219 berhasil dirancang dan direalisasikan dengan baik, serta mampu mengukur dan merekam parameter tegangan, arus, dan daya secara *real-time*, dengan hasil pengukuran yang tersimpan pada SD card dan ditampilkan melalui LCD maupun Serial Monitor.
2. Karakteristik penurunan tegangan aki selama proses *discharge* menunjukkan pola yang konsisten pada tiga kali pengujian, dengan tegangan awal masing-masing 12,83 V, 13,14 V, dan 13,5 V, serta durasi operasi berturut-turut 312 menit, 330 menit, dan 318 menit. Penurunan tegangan drastis terjadi pada pengujian pertama di menit ke-240 (0,92 V) dan pengujian kedua di menit ke-212 ($\pm 4,78$ V), sedangkan pengujian ketiga menunjukkan penurunan yang lebih stabil tanpa lonjakan penurunan yang signifikan. Titik kritis penurunan tegangan ketiga pengulangan *discharge* aki terjadi pada kisaran 8 hingga 9 V.
3. Hubungan antara tegangan, arus, dan daya menunjukkan keterkaitan yang searah, dimana penurunan tegangan diikuti oleh penurunan arus dan daya, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem mampu merepresentasikan kondisi nyata aki selama proses pengosongan.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan kinerja dan akurasi sistem pada penelitian selanjutnya, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penambahan fitur penyimpanan berbasis *cloud* agar data dapat dipantau secara jarak jauh.
2. Pengembangan sistem alarm agar sistem dapat memberikan peringatan ketika tegangan mencapai batas kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, J., Zulita, L. N., dan Hermawansyah, H. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama*, 12(1), 89–98.
- Bard, A. J., dan Faulkner, L. R. (2001). *Electrochemical Methods: Fundamental and Applications Second Edition*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Bazant, M. Z. (2010). *Dynamics of Equivalent Circuits In Electrochemical Energy Systems*. New York USA: Springer Science+Business.
- Boylestad, R. L. (2013). *Introduction to Electric Circuits, 9th ed.* Boston USA: Pearson.
- Brock, F. V., dan Scott J. Richardson. (2001). *Meteorological Measurement System*. New York USA: Oxford University Press US.
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals, 5th ed.* New York USA: McGraw-Hill.
- Component. (2021). *Micro SD Card Adapter Module*. Available at: <https://components101.com/modules/micro-sd-card-module-pinout-features-datasheet-alternatives>(Accessed: 09 September 2025).
- Faisal, M. (2024). *RTC DS3231*. Available at: <https://labrobotika.com/2024/10/09/cara-simple-menggunakan-rtc-ds3231-dengan-arduino/> (Accessed: 09 September 2025).
- Fauzan, T. A., Arifuddin, R., dan Sari, R. D. J. K. (2024). Sistem Monitoring Baterai Berbasis INA219. *Jurnal Uranus*, (2)3, 174-195.
- Guntoro, H., Somantri, Y., dan Haritman, E. (2013). Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad Dan Solenoid Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Electrans*, 12(1). 39-48.
- Harahap, M. R. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 177–180.

- Hartenstein, S. (2015). *Battery Management Systems*. New York USA: Springer.
- He, H., Xiong, R., dan Fan, J. (2011). Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State Of Charge Estimation By An Experimental Approach. *Journal Energies*, (4)4, 582-598.
- Idris, M. dan Jaya I. (2014). Pengembangan Data Logger Suhu Air Berbiaya Rendah. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 4(1). 95-108
- Jannert, E., Pauzi, G. A., dan Supriyanto, A. (2018). Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Tersaring Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energy). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(2), 257-263.
- Kadir, A. (2014). *Pengenalan Sistem Informasi Edisi Revisi*. Andi Pers:Yogyakarta.
- Kiehne, H. A. (2003). *Battery Technology Handbook Second Edition*. New York: Marcel Dekker Inc.
- King, B. F. (2020). Sistem Kontrol Charging dan Discharging Serta Monitoring Kesehatan Baterai. *Jurnal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 8(1). 1-12.
- Kuchma, R. (2015). *Pengontrol Berdasarkan Arduino Mega 2560+3.2" TFT LCD Touch +++*. Ukraine: Aquafanat.
- Kusuma, H. A., Ariandhi, R., Refly, S., dan Nugraha, S. (2023). Development Arduino Data Logger Using INA219 Sensor for Battery Monitoring. *Jurnal E Teknik Elektro dan Komputasi*, (5)1, 9-15.
- Linden, D., dan Reddy, T. B. (2018). *Handbook of Batteries (4th ed.)*. New York USA: McGraw-Hill Education.
- Liu, F., and Chuan, X. (2021). Recent developments in natural mineral-based separators for lithium-ion batteries. *RSC Advances*, 11(27), 16633-16644.
- Maxim Integrated. (2015). *Extremely Accurate I2C Integrated TC/CXO/Crystal DS3231*. Bellandur: Maxim Integrated Inc.
- Muladi, Firmansah, A., Aripriharta, Zaeni, I. A. E., Handayani, A. N., Made Wirawan, I., dan Horng, G. J. (2020). A New Battery Management System for Self-Powered Smart Shoes. *AIP Conference Proceedings*, (2228)020005, 1-6.
- Monda, H. T., Feriyonika, F., dan Rudati, P. S. (2018). Sistem Pengukuran Daya pada Sensor Node Wireless Sensor Network. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. 9, 28-31.
- Mutohar, A. (2008). *Komunikasi Data SPI pada Mikrokontroler MCS51*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Setiawan, B. J., Pauzi, A. G., Riyanto, A., dan Surtono, A. (2023). Design and Build Voltage and Current Monitoring Parameters Device of Rechargeable Batteries in Real-Time Using the INA219 GY-219 Sensor. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*, 4(2), 58–71.
- Snihir, I., Rey, W., Verbitskiy, E., Belfadhel-Ayeb, A., dan Notten, P. H. L. (2006). Battery Open-Circuit Voltage Estimation By A Method of Statistical Analysis. *Journal of Power Sources*, (159)2, 1484-1487.
- Sofiah., dan Irawan, M. D. (2019). Rancang Bangun Pengisian Akumulator Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Kebutuhan Listrik Rumah Tangga. *Jurnal Surya Energy*, (3)2, 307-312.
- Texas Instruments. (2015). *Zero-Drift, Bi-Directional Current Power Monitor with I2C Interface Datasheet (Rev. G)*. Texas: Texas Instruments Inc.
- Thompson, L. M. (2006). *Basic Electricity And Electronics For Control Fundamentals And Application*. USA: Instrument Society of America.
- Widjajanti, E. (2005). *Elektrokimia*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Wilson, J. S. (2005). *Sensor Technology Handbook Third Edition*. USA: Elsevier Inc.
- Zheng, F., Xing, Y., Jiang, J., Sun, B., Kim, J., dan Pecht, M. (2016). Influence Of Different Open Circuit Voltage Tests On State Of Charge Online Estimation For Lithium-Ion Batteries. *Journal Applied Energy*, (183)1, 513-525.