

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi kendaraan terus mengalami kemajuan pesat seiring meningkatnya kesadaran global terhadap pentingnya penggunaan energi ramah lingkungan. Kendaraan listrik menjadi salah satu solusi utama dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi gas buang yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu komponen utama dalam kendaraan listrik adalah baterai yang berfungsi sebagai sumber energi utama untuk menggerakkan motor listrik[1].

Baterai pada kendaraan listrik memiliki karakteristik khusus yang menuntut pengelolaan yang cermat. Proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) baterai harus dikendalikan secara tepat untuk mencegah degradasi sel yang dapat menurunkan kapasitas dan umur pakainya. Selain itu, baterai memiliki batasan dalam hal suhu operasi, di mana kondisi suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi kinerja dan keamanannya. Untuk itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau kondisi baterai secara *real-time* serta mengatur keseimbangan antar sel (*cell balancing*) guna menghindari kondisi berbahaya seperti *overcharge*, *over-discharge*, dan *overheating* [2].

Seiring meningkatnya penggunaan baterai pada berbagai aplikasi, baik pada kendaraan listrik maupun sistem penyimpanan energi terbarukan, kebutuhan akan sistem manajemen baterai yang cerdas, efisien, dan andal juga semakin besar. Sistem BMS modern tidak hanya berfungsi untuk memantau kondisi baterai, tetapi juga berperan dalam mengoptimalkan performa dan memperpanjang umur pakai baterai. Dengan kemajuan teknologi mikrokontroler dan sensor, sistem BMS kini dapat dirancang dengan lebih fleksibel, hemat biaya, dan mudah diimplementasikan untuk berbagai kapasitas dan jenis baterai [3].

Salah satu pendekatan penting dalam BMS adalah penggunaan metode *switching*, yang berfungsi mengatur aliran daya dan menjaga keseimbangan antar sel secara efisien. Metode ini memungkinkan pengendalian arus dan tegangan secara presisi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, serta stabilitas sistem penyimpanan energi. Di antara berbagai teknik *switching* yang

dikembangkan, metode *switch capacitor shuttle* menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena mampu melakukan transfer energi antar sel baterai secara langsung tanpa memerlukan induktor, sehingga desain sistem menjadi lebih sederhana, ringan, dan memiliki efisiensi tinggi [4].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem monitoring dan manajemen tegangan baterai berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan metode *switch capacitor shuttle*. Arduino Uno dipilih karena kemudahan pemrogramannya, biaya yang terjangkau, serta kompatibilitasnya dengan berbagai sensor dan modul pendukung. Sistem ini akan dirancang untuk memantau parameter penting seperti tegangan, dan arus, serta menerapkan kontrol *switching* berbasis *capacitor shuttle* untuk menjaga keseimbangan antar sel. Dengan penerapan metode ini, diharapkan efisiensi penyeimbangan meningkat, energi terbuang dapat diminimalkan, dan umur pakai baterai menjadi lebih panjang [5]. Oleh karena itu, penelitian mengenai rancang bangun sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle* berbasis mikrokontroler menjadi langkah penting dalam mendukung pengembangan teknologi energi modern yang lebih efisien, aman, dan ramah lingkungan.

## 1.2. Kajian Riset Terdahulu

Dalam Tabel 1.1 kajian riset terdahulu penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut yang ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Referensi Utama.

NO	JUDUL	PENELITI	TAHUN
1	<i>Adaptive Hybrid Switched-Capacitor Cell Balancing for 4-Cell Li-Ion Battery Pack with a Study of Pulse-Frequency Modulation Control</i> [6].	Lim, Wu Cong and Siek, Liter and Tan, Eng Leong	(2025).
2	Perancangan Plant Automation untuk Battery Monitoring System Menggunakan Arduino Uno [7].	Riza Hadi Saputra, Kharis Sugiarto, dan Muhammad Faisal Lesmana.	(2024).

NO	JUDUL	PENELITI	TAHUN
3	<i>Capacitor-Based Active Cell Balancing for Electric Vehicle Battery Systems: Insights from Simulations</i> [8].	Daniel Marcin, Milan Lacko, Dávid Bodnár, Lukáš Pancurák	(2024).
4	Perancangan Sistem Charger Battery Berbasis Mikrokontroler Dengan Rangkaian Buck Converter [9].	Ariel Firmansyah, I Nyoman Wahyu Satiawan, dan , Syafarudin C.H	(2021).
5	<i>A switched-capacitor battery equalization method for improving balancing speed</i> [10].	Wenbin Sun, Yanling Li, Lizhou Liu, Ruikun Mai	(2021)

Telah dilakukan penelitian tentang rancang bangun sistem manajemen baterai (BMS) seperti yang tertera pada Tabel 1.1

Jurnal [1] ini membahas tentang perancangan sistem *cell balancing* adaptif untuk paket baterai Li-ion 4 sel dengan mengombinasikan metode *passive balancing* dan *active switched-capacitor (SC)*. Sistem yang diusulkan menggunakan kontrol adaptif berbasis *open-circuit voltage* dengan teknik *pulse-frequency modulation (PFM)* untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi penyeimbangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode *hybrid* mampu mempercepat penyamaan *state-of-charge* sebesar 16,24% dibandingkan *active-only*, dengan efisiensi hingga 97,71%, sementara skema SC adaptif PFM mencapai efisiensi 99,86%. Pendekatan ini menawarkan kompromi optimal antara kecepatan, efisiensi, dan kompleksitas rangkaian untuk aplikasi BMS .

Jurnal [2] ini membahas penerapan otomasi dalam sistem pemantauan baterai menggunakan Arduino UNO. Fokus utama penelitian adalah pemantauan empat parameter penting yaitu tegangan, arus, temperatur, dan *State of Charge (SOC)*. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu memantau kondisi baterai secara real-time dengan akurasi yang memadai, meskipun terdapat sedikit perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya .

Jurnal [3] ini membahas analisis dan perbandingan metode *active cell balancing* berbasis kapasitor untuk sistem baterai kendaraan listrik menggunakan

simulasi MATLAB/Simulink. Beberapa topologi, seperti *switched capacitor*, *double tiered switched capacitor*, dan varian dengan kapasitor tambahan, dievaluasi berdasarkan kecepatan dan efisiensi penyeimbangan SOC. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *double tiered switched capacitor* memiliki waktu *balancing* lebih cepat dibandingkan metode konvensional, meskipun membutuhkan lebih banyak komponen. Studi ini juga mengkaji performa *balancing* pada kondisi beban dinamis dan menyoroiti adanya fenomena transien saat proses pengisian dan pengosongan, yang perlu diperhatikan dalam implementasi nyata sistem BMS .

Jurnal [4] ini merancang sistem pengisian baterai menggunakan mikrokontroler yang dilengkapi dengan rangkaian *Non-Synchronous Buck Converter* dan *Synchronous Buck Converter*. Sistem ini mampu memonitor proses pengisian baterai melalui tampilan LCD 16x2, memastikan pengisian yang efisien dan aman.

Jurnal [5] ini memanfaatkan kapasitor sebagai media transfer energi yang dikendalikan oleh rangkaian saklar berbasis MOSFET, sehingga energi dari sel dengan tegangan lebih tinggi dapat dipindahkan ke sel dengan tegangan lebih rendah secara aktif. Hasil simulasi dan pengujian eksperimental pada paket baterai empat sel menunjukkan bahwa metode ini mampu mempercepat proses penyeimbangan tegangan secara signifikan serta meningkatkan efisiensi energi dibandingkan metode *switched-capacitor* tradisional.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya, dilakukan penelitian berupa rancang bangun baterai manajemen sistem untuk pengoptimalan baterai *LiFePO4*. Perbedaan yang akan dilakukan pada penelitian ini yakni berfokus pada metode *Active Balance* dan baterai yang digunakan yaitu *LiFePO4*, penelitian ini menekankan pada penyeimbangan dan kestabilan *balancing* antar sel baterai, dengan pendekatan *active balancing* yang meminimalkan ketidakseimbangan tegangan, sehingga mengurangi risiko pemborosan daya dan memperpanjang masa pakai baterai. Fokus lainnya adalah integrasi sistem *monitoring* multi-sensor (tegangan dan arus) yang akan memberikan keamanan tambahan dengan mendeteksi perubahan parameter secara akurat dan mencegah potensi kerusakan.

### 1.3. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang sudah diuraikan maka rumusan masalah yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancang bangun sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*?
2. Bagaimana kinerja sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*?

### 1.4. Tujuan

Dari latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*.
2. Menguji dan menganalisis sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle* dalam memantau dan mengontrol baterai untuk menjaga keseimbangan baterai.

### 1.5. Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin di capai yaitu :

#### 1. Manfaat Akademis

Sebagai sumber referensi dan bahan masukan untuk peneliti lainnya dalam pembuatan perancangan sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*. Metode *switch capacitor shuttle* ini untuk menjaga baterai agar tetap aman dan memperpanjang umur baterai.

#### 2. Manfaat praktis

Mampu mengaplikasikan salah satu bidang ilmu pengetahuan teknologi terutama dalam bidang elektronika, sistem kendali dan kontrol.

### 1.6. Batasan Masalah

Batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, maka dari itu perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, agar yang akan didapat lebih spesifik dan terarah. Batasan masalah ini menitik beratkan pada :

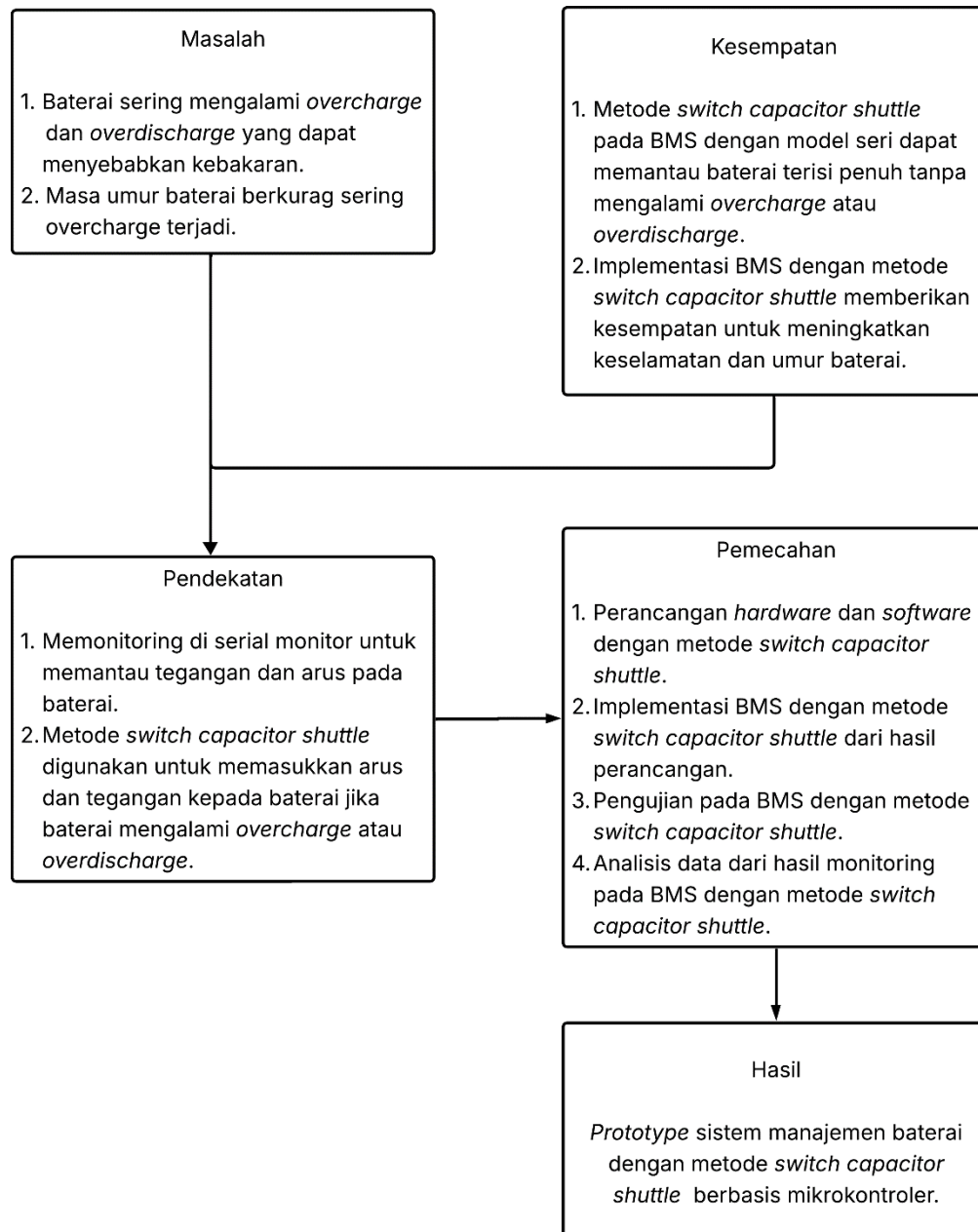
1. Baterai yang digunakan adalah LiFePO<sub>4</sub> 3.3V 20Ah dirangkai secara seri.
2. Sistem manajemen baterai menggunakan Arduino Uno mikrokontroler.

3. Pengujian menggunakan motor DC 12V 150W.
4. Fokus penelitian ini adalah penerapan metode *switch capacitor shuttle* dalam sistem manajemen baterai.
5. *Monitoring* tegangan baterai menggunakan *serial monitor* pada Arduino IDE dan Multimeter.
6. Metode *balancing* yang digunakan adalah *active balance*.
7. Parameter yang dipantau meliputi tegangan, dan arus.



## 1.7. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir.

## **1.8. Sistematika Penulisan**

Dalam mendapatkan struktur penulisan yang baik, serta memudahkan pemahaman. Maka Tugas Akhir ini memiliki kerangka dan sistematika yang mengikuti aturan yang telah ditentukan, sehingga diharapkan mendapat hasil penulisan dengan sistematika yang baik. Berikut susunan dari sistematika penulisan Tugas Akhir:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi mengenai hal yang melatar belakangi dilakukannya penelitian, penelitian terkait, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, kerangka berpikir dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 TEORI DASAR**

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang digunakan dalam penelitian serta memberikan gambaran peralatan yang digunakan dalam penelitian ini.

### **BAB 3 METODELOGI DAN JADWAL PENELITIAN**

Pada bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian dan jadwal penelitian rancang bangun sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*.

### **BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI**

Bab ini memberikan pemaparan perangkat lunak dan perangkat keras yang dibutuhkan serta memberi gambaran tentang rancangan lunak yang mencakup skema, dan rancangan perangkat keras yang mencakup komponen yang digunakan.

### **BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab ini membahas serangkaian Pengujian untuk mendapatkan hasil serta analisis berdasarkan teori yang telah diuji dalam Rancang Bangun sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle*.

### **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran terkait bagaimana sistem *Active Balance* pada BMS bekerja kemudian apa saja yang harus dikembangkan

pada Rancang Bangun sistem manajemen baterai dengan metode *switch capacitor shuttle* Pada Baterai *LiFePO4*.

