

**PENGEMBANGAN SISTEM PENJADWALAN PENGISIAN  
DAYA BATERAI DUA ARAH DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN TINGKAT SOC DAN HARGA  
ENERGI**

**TESIS**

Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister dari  
Institut Teknologi Bandung

Oleh  
**GHIOK NANDA ALIVSKY**  
NIM: 23222338  
(Program Studi Magister Teknik Elektro)



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG**  
**Januari 2025**

**ABSTRAK**

**PENGEMBANGAN SISTEM PENJADWALAN PENGISIAN  
DAYA BATERAI DUA ARAH DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN TINGKAT SOC DAN HARGA  
ENERGI**

Oleh  
**GHIOK NANDA ALIVSKY**  
**NIM: 23222338**  
**(Program Studi Magister Teknik Elektro)**

Teknologi Kendaraan Listrik (EV) telah berkembang untuk memungkinkan aliran daya dua arah, sehingga EV tidak hanya mengonsumsi energi tetapi juga dapat memasoknya kembali ke jaringan listrik. Namun, penelitian mengenai pola pengisian dan pengosongan daya berbasis waktu masih terbatas, terutama di Indonesia, di mana tarif listrik tetap konstan sepanjang hari. Studi ini mengusulkan strategi kontrol berbasis waktu dengan asumsi adanya harga dinamis, di mana tarif lebih tinggi selama jam sibuk, guna menciptakan manfaat bersama bagi pengguna EV dan utilitas listrik. Sistem ini mengintegrasikan mekanisme manajemen State of Charge (SoC) dan pengendali Proporsional-Derivatif (PD) untuk mengoptimalkan kinerja baterai serta aliran energi. Pengujian pada tingkat SoC awal sebesar 25%, 55%, dan 85% menunjukkan bahwa kombinasi parameter  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$  menghasilkan kesalahan terendah, memastikan kontrol yang efisien. Strategi ini mendorong pengguna EV untuk menjual energi selama jam sibuk, memberikan keuntungan finansial sekaligus membantu utilitas listrik dalam menyeimbangkan permintaan energi pada periode kritis. .

Kata kunci: Electrical Vehicle, Charging-Discharging, Converter AC-DC, Converter DC-AC, Bidirectional Charger.

## **ABSTRACT**

### ***DEVELOPMENT OF BIDIRECTIONAL BATTERY CHARGING SCHEDULING SYSTEM CONSIDERING SOC LEVEL AND ENERGY PRICE***

*By*

**GHIOK NANDA ALIVSKY**

**NIM: 23222338**

**(Master's Program in Electrical Engineering)**

*Electric Vehicle (EV) technology has advanced to allow bidirectional power flow, enabling EVs to not only consume energy but also supply it back to the grid. However, research on time-based charging and discharging patterns is limited, particularly in Indonesia, where electricity tariffs remain constant throughout the day. This study proposes a time-based control strategy, assuming dynamic pricing with higher rates during peak hours, to create mutual benefits for EV users and utilities. The system integrates a State of Charge (SoC) management mechanism and a Proportional-Derivative (PD) controller to optimize battery performance and energy flow. Tests at initial SoC levels of 25%, 55%, and 85% reveal that the parameter combination  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$  achieves the lowest error, ensuring efficient control. This strategy encourages EV users to sell energy during peak hours, providing financial rewards while helping utilities balance energy demand during critical periods.*

*Keywords:* Electrical Vehicle, Charging-Discharging, Converter AC-DC, Converter DC-AC, Bidirectional Charger.

Koleksi digital milik UPT Perpustakaan ITB untuk keperluan pendidikan dan penelitian

# PENGEMBANGAN SISTEM PENJADWALAN PENGISIAN DAYA BATERAI DUA ARAH DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TINGKAT SOC DAN HARGA ENERGI

Oleh  
**GHIOK NANDA ALIVSKY**  
**NIM: 23222338**  
**(Program Studi Magister Teknik Elektro)**

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui  
Tim Pembimbing

Tanggal .....

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Tri Desmana Rachmildha, S.T,  
M.T.  
NIP. 197512142008121001

Dr. Ir. Arwindra Rizqian, S.T, M.T.  
NIP. 198508102015041002

## PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis Magister yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Situs hasil penelitian Tesis ini dapat ditulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Alivsky, GN. (2024): *Pengembangan Sistem Penjadwalan Pengisian Daya Baterai Dua Arah Dengan Mempertimbangkan Tingkat SoC Dan Harga Energi*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Alivsky, GN. (2024): *Development Of Bidirectional Battery Charging Scheduling System Considering SoC Level And Energy Price*, Master's Thesis, Institut Teknologi Bandung.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Dekan Sekolah Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

Dokumen Asii

*Tesis ini saya dedikasikan kepada orang tua, isteri, dan anak yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan doa tanpa henti, serta kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi semangat sepanjang perjalanan akademik saya.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta’ala, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul “Pengembangan Sistem Penjadwalan Pengisian Daya Baterai Dua Arah Dengan Mempertimbangkan Tingkat SOC Dan Harga Energi”. Tak lupa, shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad shalallahu ‘alaihi wa sallam. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dalam Program Studi Magister Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung. Selain itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik dalam bentuk pemikiran, dukungan finansial, maupun semangat selama proses penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Dr. Tri Desmana Rachmilda, ST., MT. selaku dosen pembimbing pertama yang selalu memberikan ilmu, arahan, dan masukan terkait pilihan topik dalam penyelesaian tesis ini.
2. Dr. Ir. Arwindra Rizqianwan, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan ilmu, arahan, dan masukan terkait pengembangan topik dalam penyelesaian tesis ini.
3. Ir. Pradita Octoviandiningrum Hadi, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingan selama menjalani perkuliahan S2 ini.
4. Para pengajar dan staf Program Studi Magister Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, atas ilmu, bimbingan, dan pengetahuan yang telah diberikan.
5. PT PLN (Persero) yang telah mendukung selama perkuliahan ini dan serta memberikan izin dan akses data yang sangat penting untuk kelancaran penelitian ini.
6. Keluarga tercinta, yang telah memberikan doa, motivasi, dan semangat tanpa henti selama perjalanan studi ini.

7. Rekan-rekan PBJJ PLN dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam berbagai bentuk selama penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan, sehingga penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi yang berarti bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik elektro.

Sebagai penutup, penulis berharap bahwa tesis ini dapat memberikan wawasan serta pengetahuan yang bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak yang berkepentingan.

Bandung, Januari 2025

Penulis

Dokumen Asli

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI .....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....	xii
Bab I      Pendahuluan .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Tujuan Penelitian .....	2
I.4 Pembatasan Masalah .....	2
I.5 Kontribusi Penelitian .....	3
I.6 Alur dan Tahapan Penelitian .....	3
I.7 Sistematika Penulisan .....	3
Bab II     Tinjauan Pustaka .....	5
II.1 Pengisian Dua Arah .....	5
II.2 Buck Converter .....	6
II.3 Boost Converter .....	7
II.4 Kontrol PID .....	8
II.5 Baterai LiFePO4 .....	9
II.6 SoC Baterai .....	9
Bab III    Metodologi Penelitian .....	11
III.1 Deskripsi Penelitian .....	11
III.1.1 Deskripsi Umum .....	11
III.1.2 Deskripsi Objek Penelitian .....	14
III.2 Metode Penelitian .....	16
III.3 Parameter Baterai Electric Vehicle .....	20
III.4 Konfigurasi Baterai Charger .....	20
III.5 Algoritma Penelitian .....	22
Bab IV    Pengujian dan Analisis .....	32
IV.1 Skenario Pengujian Algoritma .....	32
IV.2 Pengujian EV Ketika Digunakan .....	32
IV.3 Pengujian EV Ketika Tidak Digunakan dan Dampaknya Terhadap Beban Rumah Tangga .....	41
Kesimpulan dan Saran .....	49
V.1 Kesimpulan .....	49
V.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	50
LAMPIRAN .....	51

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Paper IGSC (Development of Bidirectional Battery Charging Schedulling System Considering SOC Level and Energy Price) .....51

Dokumen Asii

## DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar I. Diagram alur metode yang diusulkan .....	17
Gambar II. Konfigurasi Baterai Charger.....	20
Gambar III. The SoC performance with initialization = 85%.....	33
Gambar IV. The SoC performance with initialization = 55% .....	34
Gambar V. The SoC performance with initialization = 25%.....	36
Gambar VI. (a) Kinerja SoC 25% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan $K_p = 0,02$ dan $K_d = 1$ .....	39
Gambar VII. (a) Kinerja SoC 55% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan $K_p = 0,02$ dan $K_d = 1$ .....	39
Gambar VIII. (a) Kinerja SoC 85% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan $K_p = 0,02$ dan $K_d = 1$ .....	40
Gambar IX. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 25% .....	43
Gambar IV. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 55% .....	44
Gambar IV. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 85% .....	44

Dokumen Asli

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>	1
V2H	<i>Vehicle to Home</i>	1
SOC	<i>State of Charge</i>	1
KWH	<i>Kilo Watt Hours</i>	3
SPKLU	Sistem Pengisian Kendaraan Listrik Umum	3
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i>	3
WBP	Waktu Beban Puncak	11
LWBP	Luar Waktu Beban Puncak	11

Dokumen Asii

## Bab I Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi energi terbarukan dan kendaraan listrik telah mengalami kemajuan pesat. Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi adalah efisiensi dalam proses pengisian dan pengosongan daya baterai. Sistem pengisian daya baterai yang tidak terjadwal dengan baik dapat menyebabkan pemborosan energi, degradasi baterai yang lebih cepat, serta peningkatan biaya operasional.

Seiring dengan meningkatnya adopsi kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi berbasis baterai, konsep pengisian daya dua arah (bidirectional charging) semakin mendapat perhatian. Teknologi ini memungkinkan baterai tidak hanya berfungsi sebagai penyimpan energi untuk kendaraan, tetapi juga sebagai sumber daya bagi jaringan listrik (grid) melalui mekanisme Vehicle-to-Grid (V2G). Dengan adanya teknologi ini, kendaraan listrik dapat membantu menyeimbangkan beban listrik pada jaringan, mengurangi puncak permintaan energi, serta meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

Namun, penerapan sistem pengisian daya dua arah masih menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah bagaimana mengoptimalkan penjadwalan pengisian dan pengosongan daya agar tetap efisien dan ekonomis. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penjadwalan ini mencakup tingkat State of Charge (SOC) baterai, yang menentukan seberapa besar energi yang masih tersimpan, serta harga energi yang fluktuatif, yang dipengaruhi oleh permintaan dan ketersediaan listrik pada waktu tertentu.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penjadwalan pengisian daya baterai dua arah yang mempertimbangkan tingkat SOC dan harga energi. Dengan adanya sistem yang optimal, diharapkan penggunaan energi dapat lebih efisien, umur baterai dapat diperpanjang, serta biaya operasional dapat diminimalkan. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam mendukung infrastruktur jaringan listrik yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Dengan demikian, pengembangan sistem penjadwalan ini tidak hanya memberikan manfaat bagi pengguna kendaraan listrik, tetapi juga berpotensi membantu stabilitas jaringan listrik secara keseluruhan. Kajian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam implementasi teknologi pengisian daya baterai yang lebih cerdas dan efisien di masa depan.

## I.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara kita menjadwalkan pengisian dan pengosongan baterai pada kendaraan listrik ?
2. Bagaimana cara membuat bidirectional charger bekerja secara optimal dan efisien ?
3. Bagaimana pengaruh bidirectional charger terhadap beban rumah tangga ?

## I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Merancang penjadwalan sistem pengisian dan pengosongan baterai berdasarkan perubahan harga listrik pada saat beban puncak dan luar beban puncak.
2. Merancang sebuah sistem pengisian dan pengosongan baterai berdasarkan SoC optimal baterai LiFePO4.
3. Mengetahui pengaruh suplai baterai kendaraan listrik pada data beban rumah tangga (*Grid*).

## I.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, pemodelan dan analisis terbatas pada beberapa hal, yaitu:

1. Simulasi pengisian dan pengosongan baterai menggunakan Matlab Simulink.
2. Spesifikasi baterai menggunakan template baterai pada Matlab Simulink.
3. Perubahan harga pada beban puncak dan luar beban puncak ditentukan berdasarkan asumsi.
4. Besar beban rumah tangga ditentukan berdasarkan asumsi.

## **I.5 Kontribusi Penelitian**

Tesis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem pengisian baterai kendaraan listrik di Indonesia secara umum, serta di PT PLN (Persero) secara khusus, yang mengoperasikan SPKLU di berbagai wilayah. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi nilai tambah bagi PT PLN (Persero), terutama dalam pengembangan bisnis di luar penjualan kWh.

## **I.6 Alur dan Tahapan Penelitian**

Alur dan tahapan penelitian tesis ini sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur dari paper, jurnal, serta referensi lainnya yang berkaitan dengan pengisian dan pengosongan baterai secara dua arah.
2. Mengumpulkan data-data yang diperlukan pada penelitian tesis ini.
3. Melakukan simulasi tesis dengan menggunakan Matlab Simulink untuk mendesain sistem pengisian baterai dua arah dengan penjadwalan optimal menurut penulis.
4. Mengevaluasi dari hasil simulasi.
5. Memberikan kesimpulan dari hasil evaluasi.

## **I.7 Sistematika Penulisan**

Pada dokumen tesis ini, terdapat beberapa bab yang disusun dengan struktur sebagai berikut:

### a) Bab I: Pendahuluan

Bab I mencakup beberapa bagian utama, yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi penelitian, alur dan tahapan penelitian, serta sistematika penulisan.

### b) Bab II: Dasar Teori

Bab II terdiri dari landasan teori mengenai pengisian dua arah, Buck Converter, Boost Converter, PID kontrol, baterai LiFePO<sub>4</sub>, dan SoC baterai.

### c) Bab III: Metodologi Penelitian

Bab III ini membahas mengenai deskripsi penelitian, software dan instrumentasi yang digunakan sebagai penunjang penelitian, pelaksanaan penelitian, data parameter dan asumsi penelitian, pemodelan algoritma dan metode penelitian.

d) Bab IV: Pengujian dan Analisis

Bab IV ini membahas hasil dan analisa dari optimasi menggunakan software Matlab terhadap algoritma Proportional-Derivative (PD) dan Proportional-Integral-Derivative (PID) yang akan diuji keakuratan dan efisiensi terhadap pola charge-discharge dengan mempertimbangkan management State of Charge (SoC) battery.

e) Bab V: Kesimpulan dan Saran

Bab ini merangkum hasil penelitian dan memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya serta langkah-langkah yang dapat diambil untuk perbaikan kedepan.

f) Daftar Pustaka

Bagian ini mencantumkan semua referensi yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk buku, jurnal ilmiah, artikel konferensi, dan sumber lain yang relevan.

## Bab II Tinjauan Pustaka

### II.1 Pengisian Dua Arah

Bidirectional charging adalah teknologi pengisian daya yang memungkinkan arus listrik mengalir dalam dua arah, baik dari sumber listrik ke baterai maupun dari baterai kembali ke jaringan atau perangkat lain. Teknologi ini berbeda dari pengisian daya konvensional yang hanya memungkinkan arus mengalir dalam satu arah, yaitu dari sumber daya ke baterai. Bidirectional charging umumnya diterapkan dalam sistem kendaraan listrik (EV - Electric Vehicle) dan sistem penyimpanan energi berbasis baterai (BESS - Battery Energy Storage System). Teknologi ini memungkinkan kendaraan listrik tidak hanya mengisi daya dari jaringan listrik tetapi juga berfungsi sebagai penyedia daya cadangan atau penyeimbang beban listrik dalam sistem grid.

Dalam implementasinya, bidirectional charging memiliki beberapa mode operasi, termasuk Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Home (V2H), dan Vehicle-to-Load (V2L). Pada mode V2G, kendaraan listrik dapat mengembalikan energi yang tersimpan di baterainya ke jaringan listrik saat permintaan listrik tinggi, membantu stabilisasi sistem tenaga listrik dan memungkinkan pemilik kendaraan memperoleh kompensasi finansial. Sementara itu, dalam mode V2H, energi dari baterai kendaraan dapat digunakan untuk menyuplai daya ke rumah, berfungsi sebagai sumber daya cadangan saat terjadi pemadaman listrik. Sedangkan pada mode V2L, kendaraan listrik dapat digunakan untuk menyuplai daya ke perangkat elektronik atau alat-alat listrik secara langsung, yang bermanfaat dalam kondisi darurat atau saat berada di lokasi tanpa akses listrik.

Bidirectional charging memiliki banyak keuntungan, terutama dalam mendukung efisiensi energi, reduksi biaya listrik, dan penggunaan energi terbarukan secara lebih optimal. Dengan teknologi ini, kendaraan listrik tidak hanya berfungsi sebagai alat transportasi, tetapi juga sebagai komponen aktif dalam sistem energi pintar (smart grid), yang dapat membantu mengurangi beban jaringan listrik saat permintaan tinggi dan menyimpan kelebihan energi saat produksi listrik berlebih,

misalnya dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya atau angin. Namun, tantangan dalam penerapan teknologi ini mencakup kebutuhan akan infrastruktur pengisian daya yang kompatibel, standar komunikasi yang seragam, serta manajemen baterai yang optimal untuk mencegah degradasi akibat siklus pengisian dan pengosongan yang lebih sering. Dengan perkembangan teknologi dan dukungan kebijakan energi yang tepat, bidirectional charging berpotensi menjadi salah satu solusi kunci dalam transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan dan efisien.

## II.2 Buck Converter

Buck converter merupakan salah satu jenis DC-DC converter yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari sumber daya ke tingkat yang lebih rendah dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Cara kerja buck converter mengandalkan saklar elektronik (MOSFET atau IGBT), induktor, dioda, dan kapasitor untuk mengontrol aliran energi. Saat saklar berada dalam posisi ON, arus listrik mengalir dari sumber daya ke induktor dan beban, di mana induktor akan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Sebaliknya, ketika saklar OFF, induktor melepaskan energi yang telah disimpannya ke beban melalui dioda, sehingga arus tetap mengalir. Dengan menerapkan teknik Pulse Width Modulation (PWM), buck converter mengatur duty cycle untuk menyesuaikan tegangan keluaran, yang selalu lebih rendah daripada tegangan masukan. Dibandingkan dengan regulator linier yang kurang efisien, buck converter mampu mencapai efisiensi lebih dari 90% karena menggunakan metode switching yang dapat mengurangi pemborosan daya dalam bentuk panas.

Buck converter banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi elektronik modern, seperti regulator daya untuk mikroprosesor, sistem tenaga surya, kendaraan listrik, serta catu daya switching (SMPS). Keunggulan utama dari buck converter terletak pada efisiensinya yang tinggi, ukuran yang lebih ringkas dibandingkan regulator linier dengan kapasitas daya yang sama, serta kemampuannya dalam menangani arus besar dengan desain yang tepat. Meskipun demikian, penggunaan buck converter juga memiliki beberapa tantangan, seperti ripple pada tegangan output, potensi gangguan elektromagnetik (EMI) akibat frekuensi switching yang tinggi,

serta kebutuhan akan kontroler yang presisi agar tegangan keluaran tetap stabil. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam bidang daya dan elektronika, buck converter terus mengalami peningkatan dalam kinerja dan efisiensi, menjadikannya salah satu solusi unggulan dalam pengaturan tegangan untuk berbagai aplikasi industri dan elektronik.

### **II.3 Boost Converter**

Boost converter adalah sebuah DC-DC converter yang digunakan untuk menaikkan tegangan DC dari sumber daya agar mencapai level yang lebih tinggi. Cara kerja boost converter memanfaatkan saklar elektronik (MOSFET atau IGBT), induktor, dioda, dan kapasitor untuk mengontrol aliran energi. Saat saklar dalam keadaan ON, arus listrik mengalir melalui induktor, yang kemudian menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Ketika saklar beralih ke kondisi OFF, energi yang tersimpan dalam induktor dilepaskan dan dikombinasikan dengan tegangan dari sumber, sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibandingkan tegangan masukan. Boost converter menggunakan Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur duty cycle, sehingga tegangan keluaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Berkat metode switching yang digunakan, boost converter memiliki efisiensi yang tinggi, sering kali melebihi 90%, jika dibandingkan dengan regulator linier yang cenderung kurang efisien karena banyaknya daya yang hilang dalam bentuk panas.

Boost converter banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang elektronik dan sistem tenaga, seperti catu daya untuk perangkat elektronik, sistem tenaga surya, kendaraan listrik, serta pengaturan tegangan pada baterai atau superkapasitor. Salah satu kelebihan utama dari boost converter adalah kemampuannya untuk meningkatkan tegangan tanpa perlu menggunakan transformator, sehingga memungkinkan desain yang lebih ringkas dan ringan. Meskipun demikian, ada beberapa tantangan dalam penggunaannya, seperti ripple pada tegangan keluaran, gangguan elektromagnetik (EMI) akibat frekuensi switching yang tinggi, serta kebutuhan akan sistem kontrol yang presisi untuk menjaga stabilitas tegangan. Seiring dengan kemajuan teknologi daya dan elektronika, boost converter terus mengalami peningkatan dalam efisiensi dan kestabilan, menjadikannya solusi

utama dalam berbagai aplikasi yang memerlukan tegangan lebih tinggi dari sumber daya yang tersedia.

#### **II.4 Kontrol PID**

Kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah salah satu metode pengendalian yang paling umum digunakan dalam sistem otomatisasi untuk memastikan kestabilan dan kinerja suatu sistem tetap optimal. PID bekerja dengan menyesuaikan keluaran berdasarkan perbedaan antara nilai setpoint (nilai yang diinginkan) dan nilai aktual yang diperoleh dari umpan balik, yang disebut sebagai error. Metode ini terdiri dari tiga elemen utama, yaitu proporsional (P), integral (I), dan derivatif (D). Komponen proporsional (P) merespons error saat ini dengan mengalikannya dengan suatu konstanta, sehingga membantu sistem mencapai setpoint dengan lebih cepat. Komponen integral (I) bertugas menghilangkan error jangka panjang dengan menjumlahkan error dari waktu ke waktu, mencegah kesalahan yang terus berlangsung. Sementara itu, komponen derivatif (D) berfungsi untuk mengantisipasi perubahan error dengan menghitung laju perubahannya, yang membantu mengurangi osilasi dan meningkatkan kestabilan sistem.

Kontrol PID banyak diterapkan dalam berbagai sektor industri, seperti pengendalian suhu, regulasi kecepatan motor, kontrol tekanan, pengaturan aliran fluida, dan sistem robotika. Keunggulan utama dari kontrol PID adalah kemampuannya untuk memberikan respon yang cepat, stabil, dan akurat terhadap perubahan kondisi sistem. Namun, untuk mencapai performa yang optimal, parameter PID ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) harus dituning dengan baik agar sesuai dengan karakteristik sistem yang dikendalikan. Beberapa metode tuning yang sering digunakan meliputi trial and error, metode Ziegler-Nichols, serta optimasi berbasis algoritma. Meskipun kontrol PID tergolong sederhana, efektivitasnya membuatnya tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi teknik, terutama dalam sistem yang membutuhkan kestabilan tinggi dan respons cepat terhadap gangguan atau perubahan lingkungan.

## **II.5 Baterai LiFePO<sub>4</sub>**

Baterai LiFePO<sub>4</sub> adalah salah satu jenis baterai lithium-ion yang dapat diisi ulang, dengan menggunakan besi fosfat (FePO<sub>4</sub>) sebagai material katoda. Singkatan LiFePO<sub>4</sub> berasal dari Lithium Iron Phosphate, yang juga dikenal sebagai baterai LFP. Dibandingkan dengan baterai lithium-ion lainnya serta baterai timbal-asam, baterai LiFePO<sub>4</sub> memiliki masa pakai yang lebih panjang, tingkat keamanan yang lebih tinggi, tidak memerlukan perawatan khusus, serta memiliki efisiensi pengisian dan pelepasan daya yang lebih baik.

Sebagai inovasi dalam teknologi baterai, LiFePO<sub>4</sub> menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan baterai lithium-ion konvensional. Baterai ini memiliki kapasitas tinggi, tingkat toksitas yang rendah, serta lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi. Selain itu, baterai ini dapat beroperasi dengan baik dalam lingkungan bersuhu tinggi dan memiliki daya tahan siklus yang baik, baik dalam mode pengisian maupun pengosongan daya. Keunggulan lainnya adalah ketersediaan bahan baku yang melimpah, menjadikannya pilihan yang efisien dan berkelanjutan untuk berbagai aplikasi energi modern.

## **II.6 SoC Baterai**

State of Charge (SOC) pada baterai merupakan parameter yang menggambarkan persentase kapasitas energi yang tersisa dalam baterai dibandingkan dengan kapasitas penuhnya. SOC berperan penting dalam memantau kondisi baterai di berbagai aplikasi, seperti kendaraan listrik (EV - Electric Vehicle), sistem penyimpanan energi (ESS - Energy Storage System), serta perangkat elektronik portabel. Fungsi SOC dapat dianalogikan sebagai indikator bahan bakar pada kendaraan, yang memberikan informasi mengenai jumlah energi yang masih tersedia sebelum baterai perlu diisi ulang. Perhitungan SOC dapat dilakukan dengan berbagai metode, di antaranya coulomb counting, pengukuran tegangan terbuka (Open Circuit Voltage/OCV), serta pendekatan berbasis model matematis.

Menentukan SOC secara akurat sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja baterai, mencegah pengosongan daya yang berlebihan (over-discharge), dan

menghindari pengisian daya yang berlebihan (overcharge), yang dapat mempercepat degradasi baterai. Dalam kendaraan listrik, SOC memiliki peran krusial dalam manajemen energi dan perhitungan jarak tempuh, karena menentukan sejauh mana kendaraan dapat beroperasi sebelum perlu diisi ulang. Selain itu, dalam sistem penyimpanan energi berbasis baterai, SOC digunakan untuk mengelola strategi pengisian dan pengosongan agar efisiensi serta umur baterai tetap terjaga. Meskipun SOC merupakan parameter yang sangat penting, akurasi pengukurannya bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, tingkat degradasi baterai, serta perubahan arus pengisian dan pengosongan. Oleh karena itu, teknologi pemantauan SOC terus dikembangkan dengan algoritma yang lebih canggih untuk meningkatkan keakuratan dan keandalan dalam berbagai aplikasi energi modern.

## Bab III Metodologi Penelitian

BAB III ini membahas mengenai deskripsi penelitian, software dan instrumentasi yang digunakan sebagai penunjang penelitian, pelaksanaan penelitian, data parameter dan asumsi penelitian, pemodelan algoritma dan metode penelitian.

### III.1 Deskripsi Penelitian

Pada penelitian ini terdapat dua deskripsi penelitian yang dipaparkan oleh penulis yaitu deskripsi penelitian secara umum dan deskripsi objek penelitian.

#### III.1.1 Deskripsi Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penjadwalan pengisian dan pelepasan daya baterai kendaraan listrik (EV) secara dua arah dengan mempertimbangkan State of Charge (SOC) dan harga energi. Teknologi ini memungkinkan aliran daya dua arah antara baterai EV dan jaringan listrik (Vehicle-to-Grid atau V2G), menjadikan EV tidak hanya sebagai beban listrik tetapi juga sebagai penyimpanan energi yang dapat mengembalikan daya ke jaringan sesuai kebutuhan.

Sistem ini dirancang untuk:

1. Optimalisasi tarif listrik: Memanfaatkan perbedaan tarif antara jam beban puncak (WBP) dan di luar jam beban puncak (LWBP) untuk menciptakan jadwal pengisian dan pelepasan daya yang efisien secara ekonomi.
2. Manfaat bagi pengguna dan utilitas listrik: Memberikan penghematan biaya bagi pengguna EV melalui strategi penjadwalan berbasis harga energi dan meningkatkan stabilitas jaringan dengan dukungan energi dari EV selama periode kritis.
3. Pengelolaan SOC: Memastikan kapasitas baterai yang cukup untuk kebutuhan pengguna sekaligus memungkinkan kontribusi optimal ke jaringan.

Dengan pendekatan ini, sistem bertujuan untuk menciptakan manfaat ekonomi yang maksimal baik bagi pengguna EV maupun utilitas listrik, sambil mendukung integrasi energi terbarukan dan efisiensi operasional jaringan.

Penelitian ini mencakup perancangan siklus manajemen State of Charge (SOC) untuk memastikan baterai kendaraan listrik (EV) beroperasi dalam kisaran SOC yang optimal, baik saat pengisian daya (charging) maupun pelepasan daya (discharging). Pendekatan ini bertujuan untuk memaksimalkan umur baterai sekaligus mendukung efisiensi energi. Selain itu, penelitian ini mengembangkan kontroler Proportional-Derivative (PD) yang dirancang untuk mengatur transisi secara dinamis antara proses pengisian dan pelepasan daya. Desain kontroler ini memastikan perubahan antarproses berlangsung dengan halus dan efisien, sesuai dengan kebutuhan energi jaringan dan pengguna EV. Inovasi ini menawarkan solusi optimal terhadap tantangan pengelolaan energi pada EV, terutama dalam menghadapi fluktuasi harga energi yang tinggi pada waktu tertentu. Dengan desain manajemen SOC yang cermat dan kontroler PD yang responsif, sistem ini memberikan pendekatan terpadu untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan energi, penghematan biaya, serta keandalan operasional EV sebagai penyimpanan energi yang fleksibel.

Penelitian ini mengintegrasikan pola perilaku pengguna kendaraan listrik (EV) sebagai bagian dari pengembangan sistem manajemen pengisian dan pelepasan daya baterai. Dengan mempertimbangkan waktu aktivitas harian pengguna, sistem ini dirancang untuk memanfaatkan energi baterai EV secara optimal dalam mendukung kebutuhan energi rumah tangga dan jaringan listrik, terutama selama jam-jam dengan permintaan energi tinggi. Sebaliknya, proses pengisian daya direncanakan pada waktu dengan permintaan energi rendah, seperti di luar jam beban puncak (LWPB). Pendekatan ini bertujuan untuk menghindari lonjakan beban pada jaringan, sekaligus mengurangi biaya energi bagi pengguna EV dengan memanfaatkan tarif listrik yang lebih rendah.

Dengan menyesuaikan strategi pengisian dan pelepasan daya berdasarkan pola penggunaan harian, sistem ini mampu:

- Mengurangi permintaan beban pada jaringan listrik selama periode beban tinggi.
- Mengoptimalkan penghematan biaya melalui pengisian daya pada waktu dengan tarif rendah.
- Meningkatkan efisiensi energi dengan memastikan EV berfungsi sebagai penyimpanan energi yang fleksibel untuk kebutuhan rumah tangga dan jaringan.

Pendekatan berbasis perilaku ini memberikan kontribusi penting dalam menciptakan sistem manajemen energi yang adaptif, efisien, dan ramah lingkungan.

Metodologi penelitian ini mencakup simulasi kinerja sistem untuk mengevaluasi efektivitas kontroler Proportional-Derivative (PD) dalam mengelola pengisian dan pelepasan daya baterai kendaraan listrik (EV). Simulasi dilakukan pada tiga kondisi awal State of Charge (SOC), yaitu 25%, 55%, dan 85%, untuk menguji kinerja sistem dalam berbagai skenario penggunaan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kombinasi parameter kontrol PD dengan nilai:  $K_p = 0.02$  (gain proporsional), dan  $K_d = 1$  (gain derivatif), menghasilkan Mean Squared Error (MSE) terendah, yang mencerminkan kinerja optimal kontroler dalam mengatur pola pengisian dan pelepasan daya baterai secara dinamis. Hasil ini mengindikasikan bahwa kontroler mampu menjaga stabilitas sistem dan memastikan pengelolaan SOC yang efisien dalam berbagai kondisi operasi.

Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa teknologi pengisi daya dua arah yang dioptimalkan melalui sistem penjadwalan dapat mendorong pengguna EV untuk:

- Menjual energi yang tersimpan dalam baterai ke jaringan listrik selama jam beban puncak (WBP), sehingga memberikan manfaat ekonomi langsung kepada pengguna.
- Membantu utilitas listrik menyeimbangkan beban jaringan, dengan memanfaatkan energi yang disuplai dari EV untuk mendukung stabilitas jaringan selama periode permintaan tinggi.

Dengan demikian, teknologi ini memberikan manfaat sinergis bagi pengguna EV dan utilitas listrik melalui peningkatan efisiensi energi, stabilitas jaringan, dan penghematan biaya. Sistem ini juga mendukung integrasi energi terbarukan dan pengelolaan jaringan yang lebih cerdas untuk masa depan.

### **III.1.2 Deskripsi Objek Penelitian**

Objek penelitian ini adalah sistem manajemen baterai kendaraan listrik (EV) yang mengimplementasikan teknologi pengisian daya dua arah untuk mengatur aliran energi antara baterai EV dan jaringan listrik (Vehicle-to-Grid atau V2G). Sistem ini dirancang untuk memanfaatkan baterai EV sebagai penyimpanan energi fleksibel yang dapat mendukung kebutuhan energi rumah tangga, jaringan listrik, dan pengguna EV itu sendiri.

Fokus utama penelitian adalah merancang algoritma penjadwalan berbasis waktu, dengan mempertimbangkan:

- Variasi harga energi berdasarkan jam operasi (jam beban puncak dan di luar jam beban puncak).
- Perilaku pengguna EV, termasuk waktu aktivitas harian yang memengaruhi ketersediaan baterai EV untuk proses pengisian atau pelepasan daya.

Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk:

- Meningkatkan efisiensi energi dengan memaksimalkan penggunaan baterai pada waktu yang strategis.
- Mengurangi biaya energi bagi pengguna EV melalui optimasi waktu pengisian daya.
- Memperpanjang umur baterai EV dengan menjaga pengoperasian baterai dalam kisaran State of Charge (SOC) yang optimal.

Pendekatan ini memberikan solusi praktis untuk mengatasi tantangan dalam pengelolaan energi EV sekaligus mendukung stabilitas jaringan listrik dan integrasi energi terbarukan.

Salah satu aspek utama yang diteliti dalam penelitian ini adalah pengelolaan State of Charge (SOC) baterai kendaraan listrik (EV) melalui mekanisme kontrol yang dirancang untuk menjaga baterai tetap berada dalam rentang SOC yang aman (30% - 90%). Sistem ini memastikan bahwa:

- Pengisian daya dilakukan selama periode di luar jam beban puncak (LWBP) dengan tarif listrik lebih rendah.
- Pelepasan daya dilakukan selama periode jam beban puncak (WBP) untuk memanfaatkan tarif listrik yang lebih tinggi, sesuai dengan pola aktivitas harian pengguna EV.

Pendekatan ini dirancang untuk memaksimalkan manfaat ekonomi bagi pengguna EV dan mendukung stabilitas jaringan listrik, sekaligus mempertahankan efisiensi operasional baterai.

Keunggulan utama dari penelitian ini terletak pada penerapan kontrol Proportional-Derivative (PD) yang telah disesuaikan untuk mengatur transisi dinamis antara mode pengisian dan pelepasan daya. Kontroler PD ini bekerja dengan:

1. Menganalisis kesalahan antara arus referensi yang diinginkan dan arus aktual.
2. Menghasilkan sinyal kontrol yang mengatur proses pengisian dan pelepasan daya secara efisien.

Dengan parameter optimal:  $K_p = 0.02$  (gain proporsional), dan  $K_d = 1$  (gain derivatif), kontroler ini mampu meminimalkan Mean Squared Error (MSE), menunjukkan kinerja optimal dalam menjaga transisi yang stabil dan efisien. Kombinasi parameter ini belum diterapkan sebelumnya dalam penelitian terkait, sehingga menjadi kontribusi baru dalam pengelolaan energi EV. Penelitian ini memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi energi, penghematan biaya, dan umur baterai EV, sekaligus mendukung pengelolaan jaringan listrik yang lebih cerdas dan adaptif.

Penelitian ini juga memperkenalkan mekanisme waktu operasi yang spesifik untuk setiap aktivitas pengelolaan energi:

- Pelepasan daya dilakukan pada pukul 17.00-21.00 selama jam beban puncak (WBP), ketika permintaan energi tinggi dan tarif listrik lebih mahal.
- Pengisian daya dilakukan pada pukul 21.00-06.00 selama jam di luar beban puncak (LWBP), ketika tarif listrik lebih rendah.

Pendekatan ini secara langsung mengintegrasikan aspek teknis dan perilaku pengguna EV, seperti pola aktivitas harian, dalam desain sistem manajemen energi yang efisien dan berbasis waktu.

Dengan pendekatan yang dirancang, penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa teknologi pengisi daya dua arah memberikan sejumlah manfaat signifikan, termasuk:

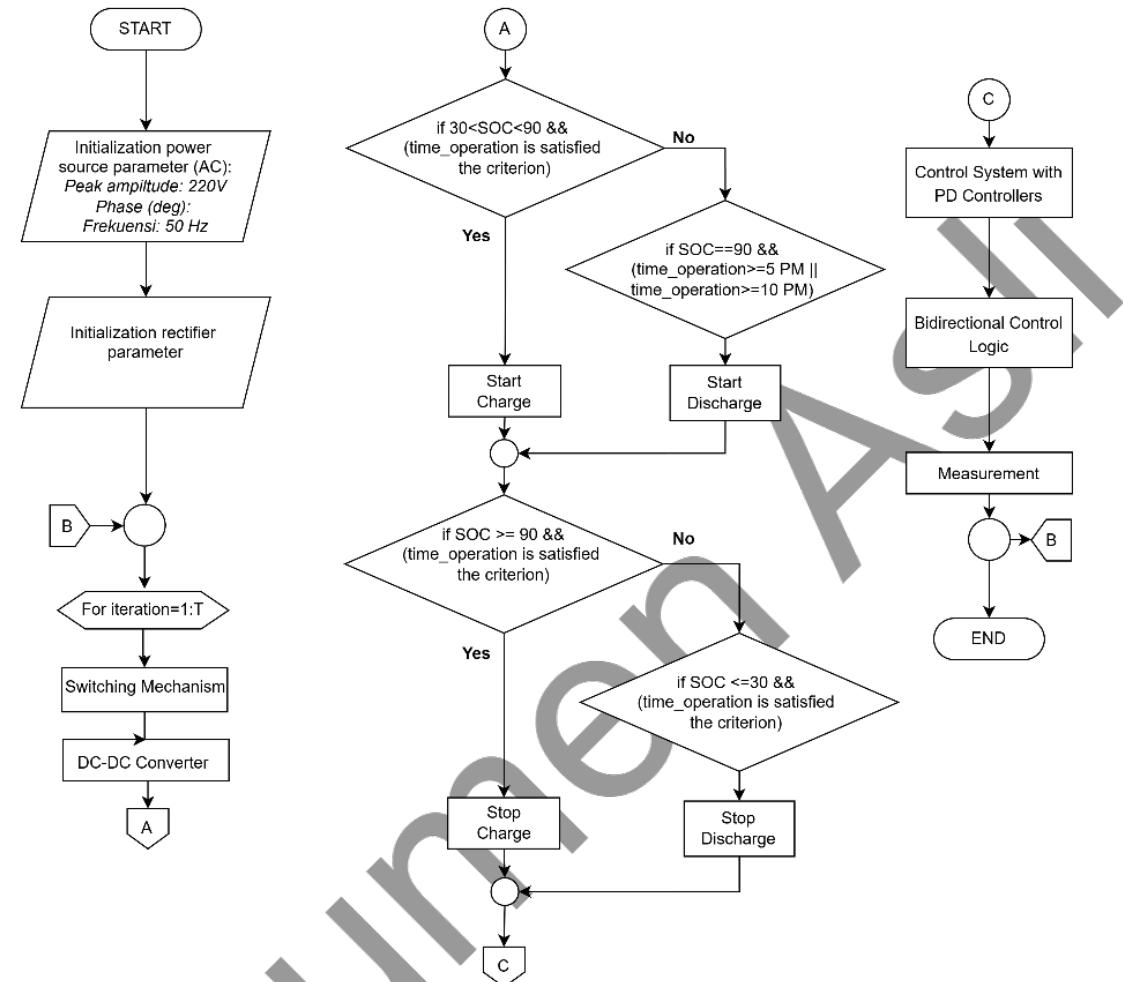
1. Integrasi energi terbarukan: Memanfaatkan baterai EV sebagai penyimpanan energi yang fleksibel untuk mendukung kestabilan jaringan, terutama dengan penetrasi energi terbarukan.
2. Pengelolaan beban jaringan: Mengurangi tekanan pada jaringan listrik selama WBP dengan energi yang disuplai oleh EV, sekaligus menghindari lonjakan beban selama proses pengisian daya.
3. Optimalisasi biaya energi: Mengurangi pengeluaran energi pengguna EV dengan memanfaatkan perbedaan tarif listrik berdasarkan waktu operasi.

Dengan menggabungkan inovasi teknis dan pola perilaku pengguna, penelitian ini berhasil menciptakan sistem manajemen energi yang inovatif, praktis, dan dapat diandalkan untuk aplikasi di masa depan, terutama dalam mendukung transisi ke sistem energi yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

### **III.2 Metode Penelitian**

Metode yang diusulkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar I. Diagram alur ini menggambarkan alur kerja sistem pengisian dan pengosongan baterai yang dirancang untuk mengoptimalkan kinerja, keamanan, dan masa pakai baterai.

Sistem ini menggunakan parameter utama, yaitu State of Charge (SoC) dan waktu operasi, untuk mengontrol kapan baterai diisi atau dikosongkan. Tujuan utamanya adalah memastikan baterai beroperasi dalam rentang SoC yang aman dan efisien sekaligus meminimalkan dampak degradasi.



Gambar I. Diagram alur metode yang diusulkan

Sistem dimulai dengan tahap inisialisasi, di mana parameter sumber daya, seperti tegangan puncak (220V), frekuensi operasi (50 Hz), dan fase (dalam derajat), diatur untuk memastikan kompatibilitas dengan sumber daya eksternal. Selain itu, parameter penyearah juga disiapkan untuk mengonversi AC menjadi DC, yang diperlukan dalam proses pengisian baterai.

Selanjutnya, sistem memasuki proses iterasi yang berlangsung dari iterasi pertama hingga iterasi ke- $T$ . Pada setiap iterasi, mekanisme switching yang didukung oleh

DC-DC Converter digunakan untuk menentukan mode operasi, apakah sistem akan mengisi daya atau mengosongkan daya. DC-DC Converter berperan penting dalam mengatur arus dan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan baterai, memastikan operasi yang efisien.

Kriteria Waktu Operasi yang Diusulkan:

1. Pukul 17.00-21.00: Pengosongan daya (Discharging)
2. Pukul 21.00-06.00: Pengisian daya (Charging)
3. Pukul 06.00-07.00: Pengosongan daya (Discharging)
4. Pukul 07.00-16.00: Pengisian daya (Charging)
5. Pukul 16.00-17.00: Pengosongan daya (Discharging)

Dalam skema yang diusulkan, pukul 17.00-21.00 ditetapkan untuk pengosongan daya karena periode ini adalah waktu beban puncak konsumsi listrik. Permintaan energi dari jaringan listrik sangat tinggi karena aktivitas rumah tangga dan komersial sedang pada puncaknya, sehingga baterai digunakan untuk mendukung kebutuhan energi ini. Selain itu, pukul 06.00-07.00 juga dirancang untuk pengosongan daya karena periode ini merupakan waktu kendaraan mulai digunakan untuk aktivitas harian seperti bepergian ke tempat kerja atau sekolah. Hal yang sama berlaku pada pukul 16.00-17.00, yang merupakan waktu persiapan untuk aktivitas sore hari ketika kendaraan kembali mulai digunakan. Pengaturan ini memastikan energi yang tersimpan di dalam baterai dimanfaatkan secara efisien pada waktu-waktu penting yang membutuhkan pasokan daya tinggi.

Logika kendali utama dalam sistem ini bergantung pada State of Charge (SOC) dan waktu operasi. Pada tahap awal, sistem mengevaluasi apakah baterai perlu diisi daya atau dikosongkan berdasarkan kondisi berikut:

1. Pengisian Daya (Start Charge)  
Jika SOC berada antara 30% hingga kurang dari 90% dan waktu operasi memenuhi kriteria tertentu, sistem akan memulai pengisian daya. Hal ini dirancang untuk menjaga baterai tetap berada dalam rentang SOC yang aman dan optimal.
2. Pengosongan Daya (Start Discharge)

Jika SOC telah mencapai 90% dan waktu operasi berada di luar rentang ideal untuk pengisian daya, sistem akan memulai pengosongan daya. Ini dilakukan untuk mencegah pengisian berlebih (overcharging) dan memanfaatkan daya yang tersimpan di dalam baterai.

Ketika SOC mencapai batas tertentu, sistem akan secara otomatis menghentikan pengisian atau pengosongan daya:

1. Pengisian Daya (Stop Charge)

Pengisian dihentikan jika SOC telah mencapai 90% dan waktu operasi masih berada dalam kriteria yang ditentukan. Ini mencegah pengisian berlebih yang dapat merusak baterai.

2. Pengosongan Daya (Stop Discharge)

Pengosongan dihentikan ketika SOC turun hingga 30% atau lebih rendah, untuk menghindari pengosongan berlebihan yang dapat merusak kapasitas baterai.

Sistem ini didukung oleh beberapa subsistem utama, yaitu:

1. Sistem Kendali PD Controller

Berfungsi untuk menjaga stabilitas selama proses pengisian dan pengosongan daya.

2. Logika Kendali Bidirectional

Memungkinkan sistem untuk beralih secara efisien antara mode pengisian dan pengosongan daya.

3. Sistem Pengukuran

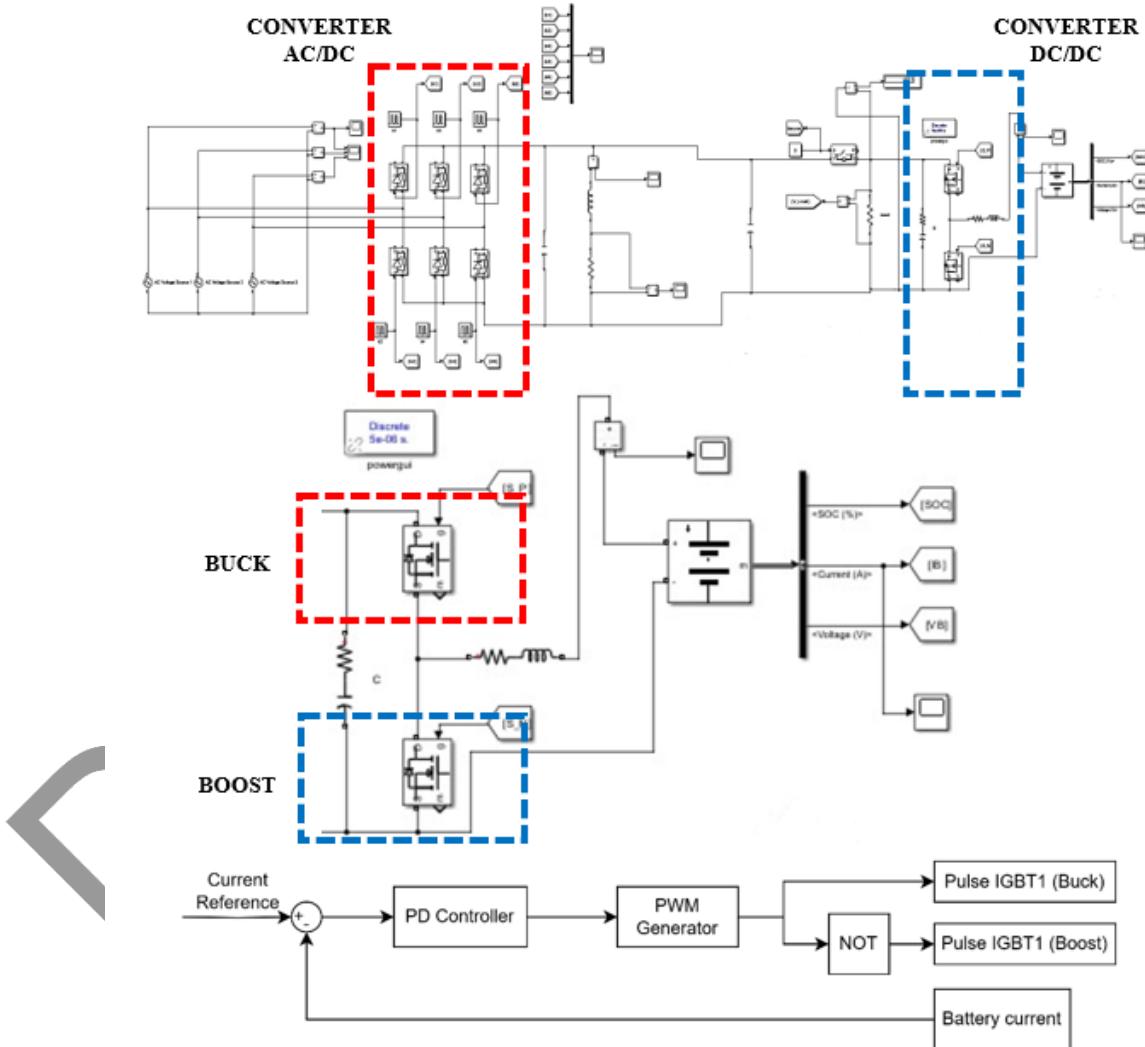
Memantau parameter utama seperti tegangan, arus, dan SOC secara real-time untuk memastikan keandalan dan keamanan operasional.

Proses berakhir setelah semua kondisi terpenuhi, dan sistem akan secara otomatis berhenti beroperasi untuk memastikan baterai tetap berada dalam kondisi optimal. Dengan pendekatan ini, sistem dapat diimplementasikan dalam berbagai aplikasi, mulai dari kendaraan listrik hingga penyimpanan energi skala besar. Logika dan kendali yang diusulkan memungkinkan operasi baterai yang cerdas, hemat energi, dan aman.

### III.3 Parameter Baterai Electrical Vehicle

Type : Wuling Air EV  
Kapasitas : 17,3 kWh  
Tegangan : 115 Volt  
Charger : 17 A

### III.4 Konfigurasi Baterai Charger



Gambar II. Konfigurasi Baterai Charger

Gambar II menggambarkan arah aliran arus yang merepresentasikan kontrol aliran daya pada konverter bidirectional yang digunakan untuk aplikasi Vehicle-to-Grid (V2G). Sistem ini menggunakan teknik pengendalian arus DC dengan dua sakelar MOSFET/IGBT yang dikendalikan oleh sinyal kontrol untuk memungkinkan pengisian daya (Grid-to-Vehicle, G2V) dan pengosongan daya (Vehicle-to-Grid, V2G).

### Mode Operasi Konverter Bidirectional

#### 1. Mode Pengisian Daya (Buck):

- Sakelar atas (IGBT 1) digunakan untuk menurunkan tegangan guna mengisi baterai.
- Ketika IGBT 1 ON, arus mengalir melalui induktor menuju baterai.
- Ketika IGBT 1 OFF, arus kembali mengalir melalui dioda sakelar bawah (IGBT 2).

#### 2. Mode Pengosongan Daya (Boost):

- Sakelar bawah (IGBT 2) digunakan untuk meningkatkan tegangan baterai ke bus DC.
- Ketika IGBT 2 ON, arus mengalir melalui induktor dan dioda IGBT 1, memungkinkan pengiriman daya dari baterai ke jaringan listrik.

Sistem kontrol menggunakan mekanisme pulse-width modulation (PWM):

- a. Tegangan referensi dibandingkan dengan tegangan aktual baterai.
- b. Kesalahan yang dihasilkan diproses oleh Proportional-Integral (PI) Controller untuk menghasilkan referensi arus.
- c. Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller kemudian menyesuaikan siklus kerja PWM untuk memodulasi sakelar, memastikan operasi baterai yang aman dan efisien.

### Spesifikasi Model Sistem

- Jaringan: Tegangan 220V, frekuensi 50Hz.
- Induktor:  $5,76 \times 10^{-4}$  H.

- Kapasitor:  $1000 \times 10^{-6}$  F.
- Baterai Lithium-ion: Tegangan nominal 22V, kapasitas 232 Ah.

Sistem ini mengadopsi kontrol PI dan kontrol PID untuk secara dinamis mengelola transisi antara pengisian dan pengosongan daya. Metode yang diusulkan mencakup dua tahap utama:

1. Siklus Manajemen State of Charge (SoC):

Memastikan baterai beroperasi dalam rentang SoC yang optimal untuk meningkatkan efisiensi dan memperpanjang masa pakai.

2. Desain Kontrol Proportional-Derivative (PD):

Mengatur secara dinamis transisi antara pengisian dan pengosongan daya, menjaga stabilitas sistem dan menyesuaikan kondisi baterai yang berubah.

Pendekatan ini mengoptimalkan kinerja baterai dengan langkah-langkah berikut:

- Membandingkan tegangan referensi dan arus aktual untuk menyesuaikan sinyal kontrol PWM secara dinamis.
- Menghindari pengisian daya berlebih (overcharging) atau pengosongan daya yang terlalu dalam (deep discharging).

Metode ini memastikan pengelolaan baterai yang andal dan efisien selama transisi pengisian dan pengosongan daya, memberikan solusi yang aman dan cerdas untuk aplikasi V2G dan penyimpanan energi skala besar.

### **III.5 Algoritma Penelitian**

#### **A. Algoritma Pertama**

Algoritma 1 dirancang untuk mengelola State of Charge (SOC) baterai selama periode simulasi 24 jam. Simulasi dimulai dengan menetapkan parameter utama yang menjadi dasar perhitungan. SOC awal baterai ditentukan, misalnya sebesar 85%, sebagai kondisi awal kapasitas energi yang tersedia. Selain itu, laju pengisian daya (ChargeRate) dan laju pengosongan daya (DischargeRate) ditentukan untuk merepresentasikan kecepatan perubahan SOC dalam satu jam. Durasi total simulasi diatur selama 24 jam, dengan setiap langkah simulasi dilakukan berdasarkan

interval waktu tertentu yang ditentukan oleh SamplingTime. Ambang batas SOC juga didefinisikan, di mana SOC minimum sebesar 30% digunakan untuk mencegah pengosongan daya di bawah batas aman, dan SOC maksimum sebesar 90% digunakan untuk menghindari pengisian daya yang berlebihan.

Dalam simulasi ini, operasi baterai dibagi ke dalam beberapa interval waktu yang berbeda. Antara pukul 17:00 hingga 21:00, baterai diarahkan untuk melepas daya guna memenuhi kebutuhan energi, di mana SOC akan menurun hingga mencapai batas minimum 30%. Sebaliknya, pada pukul 21:00 hingga 06:00, baterai diarahkan untuk mengisi daya hingga SOC mencapai batas maksimum 90%. Pada jam-jam tertentu, seperti pukul 06:00 hingga 07:00 dan 16:00 hingga 17:00, baterai kembali melepas daya. Sedangkan pada pukul 07:00 hingga 16:00, baterai diarahkan untuk mengisi daya. Pola waktu ini merepresentasikan kondisi pengisian dan pengosongan baterai sesuai dengan kebutuhan energi pada berbagai waktu.

Simulasi berjalan dalam loop selama 24 jam, di mana setiap langkah waktu dihitung secara berulang. Pada setiap iterasi, algoritma memeriksa interval waktu saat ini untuk menentukan apakah baterai harus mengisi daya, melepas daya, atau berada dalam kondisi idle. Jika baterai berada dalam interval pengisian daya, SOC akan meningkat sesuai dengan laju pengisian daya yang dihitung berdasarkan ChargeRate dan waktu sampling. Sebaliknya, jika baterai berada dalam interval pelepasan daya, SOC akan menurun sesuai dengan laju pengosongan daya yang dihitung berdasarkan DischargeRate dan waktu sampling. Namun, jika SOC telah mencapai batas minimum atau maksimum, baterai akan memasuki kondisi idle, di mana SOC tidak berubah untuk menjaga keamanan dan keandalan operasi.

Setelah perhitungan pada setiap langkah waktu, nilai SOC diperbarui dan disimpan untuk mencatat kondisi baterai selama simulasi berlangsung. Nilai SOC ini juga diperiksa agar tetap berada dalam rentang aman, yaitu antara 0% dan 100%. Jika nilai SOC keluar dari rentang ini, algoritma akan menyesuaikannya agar sesuai dengan batas yang telah ditetapkan.

Ketika waktu simulasi mencapai durasi yang telah ditentukan, proses simulasi berhenti. Data yang telah dikumpulkan selama simulasi dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti memvisualisasikan perubahan SOC atau mengevaluasi efisiensi pengisian dan pelepasan daya baterai. Algoritma ini memberikan

pendekatan yang sistematis dan aman untuk mengelola SOC baterai, memastikan operasi yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan sistem tanpa melampaui batas keamanan.

---

### Algoritma 1. Manajemen SOC Selama 24 Jam

---

Input:

- Initial\_SOC: Persentase awal SOC (contoh: 85%).
- DischargeRate: Laju penurunan SOC per jam (contoh: 10%).
- ChargeRate: Laju peningkatan SOC per jam (contoh: 8%).
- SimulationTime: Durasi total simulasi (contoh: 24 jam).
- SamplingTime: Interval waktu dalam simulasi (contoh: 1 detik).
- SOC\_Limits: Ambang batas SOC:
  - Minimum\_SOC = 30% (SOC masuk kondisi idle jika pelepasan daya turun di bawah level ini).
  - Maximum\_SOC = 90% (SOC beralih ke pelepasan daya jika pengisian daya melebihi level ini).

Output:

- SOC(t): Nilai SOC selama waktu simulasi.

---

#### Tentukan interval waktu:

- **17:00 - 21:00 (Pelepasan Daya):**  
SOC menurun hingga  $SOC \leq 30\%$ .
- **21:00 - 06:00 (Pengisian Daya):**  
SOC meningkat hingga  $SOC \geq 90\%$ .
- **06:00 - 07:00 (Pelepasan Daya):**  
SOC menurun hingga  $SOC \leq 30\%$ .
- **07:00 - 16:00 (Pengisian Daya):**  
SOC meningkat hingga  $SOC \geq 90\%$ .
- **16:00 - 17:00 (Pelepasan Daya):**  
SOC menurun hingga  $SOC \leq 30\%$ .

---

#### Loop Simulasi:

Untuk setiap langkah waktu ( $t$ ) dalam **SimulationTime**:

1. Tentukan periode waktu saat ini:

- Jika **17:00 - 21:00:**
  - Jika **Current\_SOC > Minimum\_SOC:**  
Kurangi SOC sebesar
$$\Delta SOC = \frac{\text{DischargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$
  - Jika tidak:  
Pertahankan SOC konstan (kondisi idle).
- Jika **21:00 - 06:00:**

- Jika **Current\_SOC < Maximum\_SOC**:

Tingkatkan SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{ChargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika tidak:

Beralih ke pelepasan daya: Kurangi SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{DischargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika **06:00 - 07:00**:

- Jika **Current\_SOC > Minimum\_SOC**:

Kurangi SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{DischargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika tidak:

Pertahankan SOC konstan (kondisi idle).

- Jika **07:00 - 16:00**:

- Jika **Current\_SOC < Maximum\_SOC**:

Tingkatkan SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{ChargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika tidak:

Beralih ke pelepasan daya: Kurangi SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{DischargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika **16:00 - 17:00**:

- Jika **Current\_SOC > Minimum\_SOC**:

Kurangi SOC sebesar

$$\Delta SOC = \frac{\text{DischargeRate}}{3600} \times \text{SamplingTime}$$

- Jika tidak:

Pertahankan SOC konstan (kondisi idle).

## 2. Konsistensi SOC:

Pastikan **Current\_SOC** tetap dalam rentang [0%,100%][0\%,100\%][0%,100%].

## 3. Rekam SOC:

Simpan nilai SOC untuk langkah waktu saat ini.

### Akhiri Simulasi:

Ketika ttt mencapai akhir **SimulationTime**, hentikan.

## B. Algoritma Kedua

Algoritma 2 dirancang untuk mensimulasikan pengendalian arus baterai menggunakan pengontrol PD (Proportional-Derivative) selama periode 24 jam.

Tujuan utamanya adalah untuk mengatur pengisian dan pengosongan baterai secara efisien berdasarkan kondisi waktu tertentu, sambil memastikan stabilitas operasional baterai. Simulasi ini melibatkan beberapa tahap, yang dimulai dengan inisialisasi parameter hingga visualisasi hasilnya.

Simulasi diawali dengan menetapkan parameter-parameter penting. Kapasitas baterai, tegangan, dan State of Charge (SoC) awal ditentukan sebagai dasar kondisi awal sistem. Nilai SoC awal diatur sebesar 55% untuk menggambarkan kapasitas awal baterai. Parameter pengontrol PD, yaitu gain proporsional ( $K_p$ ) dan derivatif ( $K_d$ ), juga didefinisikan untuk memastikan bahwa pengendalian arus dilakukan dengan respons yang cepat dan stabil. Selain itu, vektor waktu dibuat untuk merepresentasikan periode simulasi selama 24 jam dengan interval sampling tertentu, memungkinkan perhitungan arus dan SoC pada setiap langkah waktu.

Selanjutnya, model baterai diinisialisasi dengan membuat vektor untuk menyimpan nilai arus baterai, arus referensi, dan SoC pada setiap jam simulasi. Langkah ini penting untuk melacak dinamika sistem selama simulasi berlangsung.

Dalam proses simulasi, setiap langkah waktu diproses dalam sebuah loop. Pada setiap iterasi, error antara arus referensi dan arus aktual baterai dihitung. Error ini kemudian digunakan oleh pengontrol PD untuk menghasilkan keluaran kontrol. Komponen proporsional dan derivatif dihitung berdasarkan error saat ini dan perubahan error dari langkah sebelumnya. Hasil dari pengontrol ini digunakan untuk mengatur arus baterai, yang akan memengaruhi SoC sesuai dengan kondisi operasi baterai.

Kondisi operasi baterai ditentukan berdasarkan waktu. Baterai diarahkan untuk mengisi daya (charging) pada jam-jam tertentu, seperti saat beban rendah pada malam hari, dan mengosongkan daya (discharging) pada jam-jam dengan beban tinggi, seperti sore hingga malam hari. Ketika baterai tidak aktif, sistem akan berada dalam mode idle. SoC dan arus baterai diperbarui pada setiap langkah waktu,

dengan memastikan bahwa nilai SoC tetap berada dalam batas yang aman, yaitu antara 0% hingga 100%.

Setelah simulasi selesai, hasilnya divisualisasikan dalam bentuk grafik. Grafik pertama menunjukkan perubahan SoC selama 24 jam, memberikan gambaran tentang pengisian dan pengosongan baterai sepanjang hari. Grafik kedua membandingkan arus referensi dengan arus aktual baterai, yang membantu mengevaluasi efektivitas pengontrol PD dalam menjaga kestabilan sistem. Terakhir, nilai Mean Squared Error (MSE) antara arus referensi dan arus aktual dihitung dan ditampilkan, sebagai metrik untuk menilai kinerja pengendalian arus. Dengan pendekatan ini, algoritma memberikan wawasan yang mendalam tentang bagaimana baterai dapat dioperasikan secara efisien dan stabil dalam sistem tenaga listrik, sekaligus menunjukkan peran pengontrol PD dalam menjaga performa sistem.

---

### **Algorithm 2: PD Controller**

---

#### **Inisialisasi:**

- **Tetapkan Parameter Simulasi:**
    - Tentukan parameter seperti kapasitas baterai, tegangan, State of Charge (SoC), parameter pengontrol PD ( $K_p$  dan  $K_d$ ), penanda waktu, serta laju pengisian dan pengosongan.
  - **Definisikan Waktu Simulasi:**
    - Buat vektor waktu  $t$  yang merepresentasikan periode 24 jam, dengan interval sampling sesuai kebutuhan simulasi.
  - **Inisialisasi Model Baterai:**
    - Tetapkan SoC awal sebesar 55%.
    - Inisialisasi vektor untuk arus baterai, arus referensi, dan SoC untuk menyimpan nilai pada setiap langkah waktu.
  - **Inisialisasi Pengontrol PID:**
    - Tetapkan nilai gain proporsional ( $K_p$ ) dan derivatif ( $K_d$ ) untuk pengontrol PD.
-

### Loop Simulasi:

- Untuk setiap langkah waktu, hitung error sebagai selisih antara arus referensi dan arus aktual baterai.
- Perbarui komponen PID:
  1. Tambahkan error saat ini ke komponen integral.
  2. Hitung turunan error.
  3. Hitung keluaran PD menggunakan nilai **K<sub>p</sub>** dan **K<sub>d</sub>**.
- Tentukan kondisi operasi baterai (pengisian, pengosongan, atau idle) berdasarkan waktu saat ini.
- Perbarui SoC dan arus baterai berdasarkan kondisi operasi dan keluaran PD.
- Pastikan SoC dan arus tetap berada dalam batas-batas yang ditentukan.

---

### Hasil Plot:

- Plotkan SoC selama periode 24 jam.
  - Plotkan perbandingan antara arus referensi dan arus aktual baterai.
  - Hitung dan tampilkan nilai Mean Squared Error (MSE) antara arus referensi dan arus aktual.
- 

## C. Algoritma Ketiga

Algoritma 3 berisi tentang simulasi yang bertujuan untuk menggambarkan perilaku pengisian dan pengosongan baterai dalam sistem tenaga listrik selama periode 24 jam. Proses ini melibatkan penggunaan kontrol PID untuk mengatur arus baterai agar tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan daya pada berbagai waktu.

Simulasi dimulai dengan menetapkan parameter utama. Tegangan baterai, kapasitas, dan waktu sampling ditentukan untuk mencerminkan kondisi fisik sistem. Selain itu, nilai parameter kontrol PID, yaitu K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, dan K<sub>d</sub>, diinisialisasi untuk memastikan respons kontrol yang tepat. Pada awal simulasi, State of Charge (SOC) baterai juga didefinisikan, memberikan gambaran kapasitas baterai saat simulasi dimulai. Sebagai bagian dari masukan, pola beban daya nyata selama 24 jam digunakan untuk menggambarkan kebutuhan energi yang harus dipenuhi.

Selama simulasi, algoritma menentukan apakah baterai akan mengisi daya (charging), mengosongkan daya (discharging), atau tetap dalam kondisi idle, berdasarkan waktu tertentu. Pada jam-jam dengan beban tinggi, seperti antara pukul 17:00 hingga 21:00, baterai diarahkan untuk mengosongkan daya untuk memenuhi

kebutuhan energi. Sebaliknya, pada jam-jam dengan beban rendah, seperti pukul 21:00 hingga 06:00, baterai diarahkan untuk mengisi daya. Batas SOC juga diperhatikan untuk mencegah pengisian melebihi 90% atau pengosongan di bawah 30%, sehingga baterai tetap dalam kondisi aman dan efisien.

Untuk menjaga stabilitas arus baterai, kontrol PID digunakan. Pada setiap iterasi, kontrol PID menghitung error berdasarkan selisih antara arus referensi dan arus aktual. Komponen integral dan derivatif dari error ini digunakan untuk menghasilkan keluaran PID yang menyesuaikan arus baterai. Dengan cara ini, arus baterai dapat dikontrol secara presisi agar sesuai dengan kebutuhan sistem.

Seiring waktu, SOC baterai diperbarui berdasarkan laju pengisian atau pengosongan yang telah ditentukan. Selain itu, kontribusi baterai terhadap beban daya dihitung dalam bentuk data semu. Data ini menunjukkan bagaimana baterai memengaruhi pola daya nyata, baik saat aktif maupun saat idle.

Hasil simulasi divisualisasikan dalam tiga grafik. Grafik pertama menunjukkan perubahan SOC selama 24 jam, memberikan gambaran tentang kinerja pengisian dan pengosongan baterai. Grafik kedua membandingkan arus referensi dengan arus aktual baterai, yang membantu mengevaluasi efektivitas kontrol PID. Grafik ketiga memperlihatkan data semu dan daya nyata untuk mengevaluasi kontribusi baterai terhadap sistem tenaga.

Secara keseluruhan, simulasi ini memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana baterai dapat diintegrasikan ke dalam sistem tenaga listrik. Dengan kontrol PID yang tepat dan perencanaan pengisian serta pengosongan berdasarkan waktu, baterai dapat dioptimalkan untuk mendukung kebutuhan energi secara efisien sambil menjaga performa dan keamanan operasinya. Visualisasi hasil simulasi juga memberikan wawasan yang berharga untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja sistem di masa depan.

### Algoritma 3:

#### 1. Inisialisasi Parameter

##### - Parameter Simulasi:

- Frekuensi switching, frekuensi sumber AC, tegangan DC link, tegangan baterai, kapasitas baterai, dan waktu sampling.

##### - Parameter PID:

- Tetapan  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  untuk kontrol PID.
- Inisialisasi error integral (`integral_error`) dan error sebelumnya (`previous_error`).

##### - Model Baterai:

- Inisialisasi SOC awal, arus baterai, arus referensi, dan status idle baterai.

#### 2. Definisikan Pola Beban Daya Nyata

- Input beban daya nyata selama 24 jam dalam array `daya_nyata_data`.

#### 3. Konstanta Pengisian dan Pengosongan

- Tentukan laju pengurangan SOC saat discharging (`DischargeRate`) dan laju peningkatan SOC saat charging (`ChargeRate`).

#### 4. Loop Simulasi untuk Setiap Jam (2 hingga 24)

##### 4. Hitung Error PID:

- Error = (Arus referensi - Arus baterai sebelumnya).
- Perbarui error integral dan hitung turunan error.
- Hitung keluaran PID (`PID_output`).

##### 5. Tentukan Logika Pengisian atau Pengosongan Berdasarkan Waktu:

- Jika waktu 17:00–21:00: **Discharging**
  - Jika SOC > 30%, kurangi SOC sesuai `DischargeRate`.
  - Hitung arus baterai dengan mempertimbangkan keluaran PID.
- Jika waktu 21:00–06:00: **Charging**
  - Jika SOC < 90%, tambah SOC sesuai `ChargeRate`.
  - Hitung arus baterai dengan mempertimbangkan keluaran PID.
- Jika waktu 06:00–07:00 atau 16:00–17:00: **Discharging**
  - Sama seperti discharging lainnya.
- Jika waktu 07:00–16:00: **Charging**
  - Sama seperti charging lainnya.

##### 6. Hitung Data Semu (`data_semu`):

- Jika baterai tidak idle (`idle_state == 0`), gunakan daya nyata.

- Jika idle, tambahkan kontribusi daya dari arus baterai ke daya nyata.

**7. Batasan SOC:**

- Pastikan SOC tetap berada dalam rentang 0% hingga 100%.

**5. Kalkulasi Tambahan untuk **data\_semu****

- Koreksi data semu untuk jam tertentu dengan rumus tambahan.

**6. Visualisasi Hasil**

**1. Plot SOC:**

- a. Tampilkan grafik perubahan SOC selama 24 jam.

**2. Plot Arus Referensi dan Arus Baterai:**

- a. Bandingkan arus referensi dengan arus aktual baterai.

**3. Plot Data Semu dan Daya Nyata:**

- a. Bandingkan grafik data semu dengan daya nyata untuk evaluasi.

Dokumen ASII

## Bab IV Pengujian dan Analisis

BAB IV ini membahas hasil dan analisa dari optimasi menggunakan software Matlab terhadap algoritma Proportional-Derivative (PD) dan Proportional-Integral-Derivative (PID) yang akan diuji keakuratan dan efisiensi terhadap pola charge-discharge dengan mempertimbangkan management State of Charge (SoC) battery.

### IV.1 Skenario Pengujian Algoritma

Pada penelitian ini penulis melakukan 2 skenario pengujian yaitu ketika electrical vehicle digunakan (berdasarkan lifestyle manusia) dan ketika electrical vehicle tidak digunakan

### IV.2 Pengujian EV Ketika Digunakan

Pengujian pertama dilakukan untuk memeriksa bagian Manajemen SoC dengan tiga studi kasus, yaitu:

4. SoC 25%
5. SoC 55%
6. SoC 85%

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, analisis dapat dilakukan terhadap dinamika pengisian dan pengosongan daya baterai berdasarkan perubahan SoC selama periode tertentu. Grafik menunjukkan fluktuasi SoC yang jelas antara periode pengisian daya (ditandai dengan area berwarna hijau) dan periode pengosongan daya (ditandai dengan area berwarna merah). SoC menurun selama proses pengosongan daya dan meningkat selama proses pengisian daya, yang sesuai dengan pola operasional baterai.

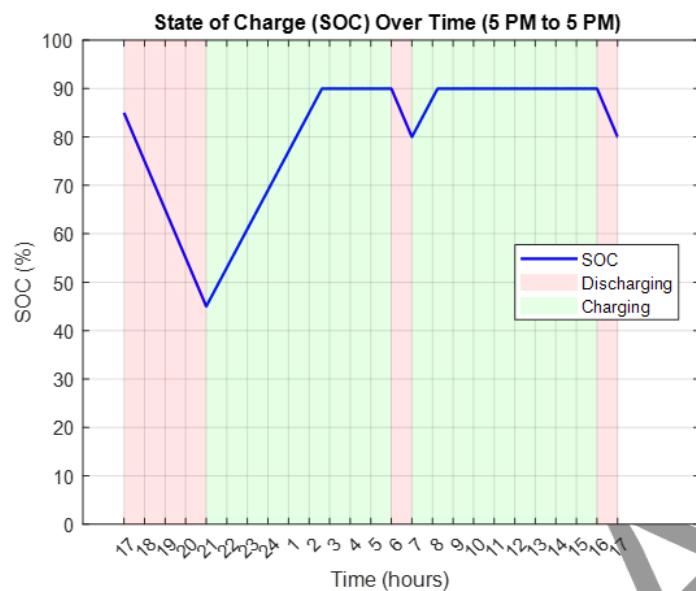
#### Periode Pengosongan Daya:

SoC menurun secara signifikan selama proses pengosongan daya, terutama pada siklus awal, di mana SoC turun di bawah 50%. Hal ini dapat menunjukkan adanya beban yang signifikan atau aliran arus yang tinggi selama proses pengosongan daya.

#### Periode Pengisian Daya:

Sementara itu, selama periode pengisian daya, SoC menunjukkan peningkatan yang konsisten. Namun, proses pengisian daya tidak selalu mengembalikan SoC ke

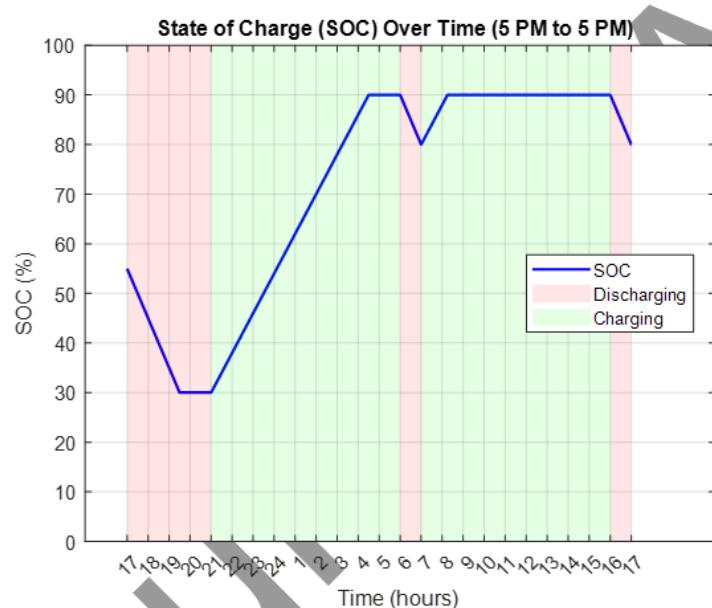
kapasitas penuh (100%), yang dapat mengindikasikan pengisian daya yang kurang optimal atau adanya degradasi pada baterai.



Gambar III. The SoC performance with initialization = 85%

Pada Gambar III, penulis mengasumsikan SoC awal baterai sebesar 85%, di mana pola pengisian dan pengosongan daya dimulai pada pukul 17:00 sesuai dengan perilaku kehidupan manusia. Hasil menunjukkan bahwa selama periode beban puncak (WBP) dari pukul 17:00 hingga 21:00, baterai berada dalam kondisi pengosongan daya karena tarif listrik yang tinggi. Sebagai konsekuensinya, pengguna kendaraan listrik (EV) menjual listrik ke jaringan utilitas untuk mendapatkan keuntungan, dan kondisi ini juga menguntungkan pihak utilitas karena menyediakan pasokan energi tambahan untuk memenuhi permintaan tinggi selama periode beban puncak. Selama proses pengosongan daya, SoC baterai yang tersisa pada pukul 21:00 masih berada dalam rentang yang diizinkan, yaitu  $30\% \leq \text{SoC} \leq 90\%$ , dengan nilai sekitar 45%. Dengan demikian, proses pengisian dapat dilakukan hingga pukul 02:00, pada saat itu baterai mencapai SoC penuh (90%). Proses pengisian kemudian dihentikan untuk meminimalkan degradasi baterai, sehingga memastikan umur baterai yang lebih panjang. Antara pukul 02:00 hingga 06:00, EV tetap tidak aktif, dan tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya yang terjadi. Mulai pukul 06:00 hingga 07:00, EV digunakan untuk perjalanan ke tempat kerja, yang menghasilkan proses pengosongan daya, sehingga SoC baterai tersisa

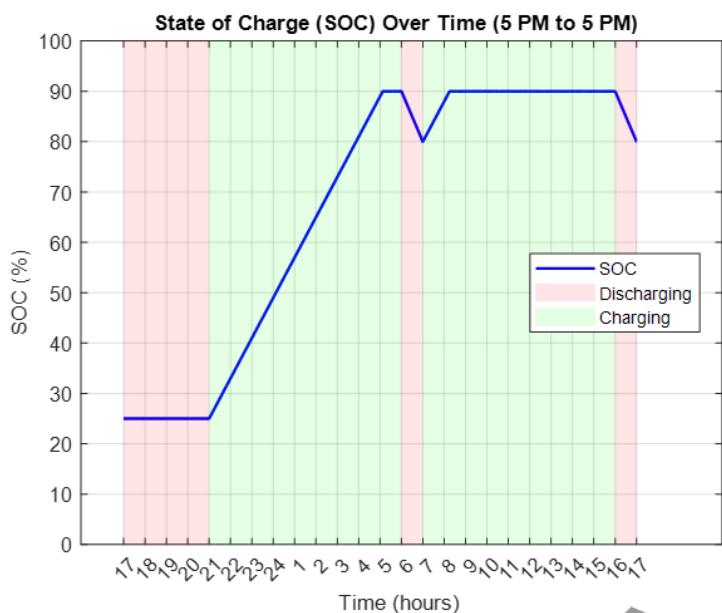
sebesar 80%. Karena SoC baterai masih berada dalam rentang yang diperbolehkan, proses pengisian kembali dilanjutkan saat EV diparkir di tempat kerja pengguna hingga mencapai SoC maksimum sebesar 90%. Setelah batas maksimum tercapai dan EV tidak digunakan, tidak ada proses pengisian atau pengosongan daya yang terjadi. Kemudian, EV kembali digunakan oleh pengguna dari pukul 16:00 hingga 17:00, yang menghasilkan proses pengosongan daya lainnya dengan SoC tersisa sebesar 80%. Selama periode beban rendah (LWBP), pengguna EV tidak menjual listrik ke jaringan utilitas karena tarif yang lebih rendah tidak memberikan manfaat ekonomi. Sebaliknya, listrik digunakan untuk konsumsi pribadi atau disimpan dalam baterai untuk kebutuhan di masa mendatang.



Gambar IV. The SoC performance with initialization = 55%

Pada Gambar IV, penulis mengasumsikan State of Charge (SoC) awal baterai sebesar 55%, dengan pola pengisian dan pengosongan daya yang dimulai pada pukul 17:00 sesuai dengan perilaku kehidupan manusia. Hasil menunjukkan bahwa selama periode beban puncak (WBP) dari pukul 17:00 hingga 21:00, baterai mengalami proses pengosongan daya akibat tarif listrik yang tinggi. Pengguna kendaraan listrik (EV) menjual listrik ke jaringan utilitas untuk memperoleh keuntungan, yang juga menguntungkan pihak utilitas karena mendapatkan pasokan energi tambahan guna memenuhi permintaan tinggi selama periode beban puncak.

Pada pukul 19:00, SoC baterai mencapai sekitar 30%, yang merupakan batas minimum SoC yang diizinkan. Pada titik ini, proses pengosongan daya tidak dapat dilanjutkan, dan pengguna EV tidak lagi dapat menjual listrik ke jaringan utilitas. Antara pukul 19:00 hingga 21:00, yang masih termasuk periode beban puncak (WBP), tidak ada proses pengisian daya yang terjadi karena tarif listrik yang tinggi. Dengan demikian, tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya selama rentang waktu ini. Pengguna EV dapat melanjutkan proses pengisian daya pada periode beban rendah (LWBP), di mana pengisian daya berlangsung antara pukul 21:00 hingga 04:00. Selama waktu ini, baterai mencapai batas maksimum SoC sebesar 90%, dan proses pengisian daya dihentikan untuk mencegah degradasi baterai. Antara pukul 04:00 hingga 05:00, EV tidak digunakan, sehingga tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya, dengan baterai tetap berada pada SoC 90%. Pada pukul 06:00 hingga 07:00, EV digunakan untuk perjalanan ke tempat kerja, yang menghasilkan proses pengosongan daya dengan SoC baterai tersisa sebesar 80%. Karena SoC ini masih berada dalam rentang yang diizinkan, proses pengisian daya dilanjutkan saat EV diparkir di tempat kerja hingga SoC kembali mencapai batas maksimum sebesar 90%. Setelah batas maksimum tercapai, dan EV tidak digunakan, tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya yang terjadi. Selanjutnya, EV kembali digunakan oleh pengguna antara pukul 16:00 hingga 17:00, yang memulai proses pengosongan daya lainnya, dengan SoC tersisa sebesar 80%. Selama periode beban rendah (LWBP), pengguna EV tidak menjual listrik ke jaringan utilitas karena tarif yang lebih rendah tidak memberikan manfaat ekonomi. Sebaliknya, listrik digunakan untuk konsumsi pribadi atau disimpan dalam baterai untuk kebutuhan di masa depan. Analisis ini menggambarkan strategi pengelolaan energi baterai yang efisien berdasarkan pola tarif listrik dan perilaku pengguna. Pengelolaan SoC dalam rentang yang diperbolehkan, serta optimalisasi pengisian daya selama periode beban rendah, memastikan keseimbangan antara manfaat ekonomi, keandalan sistem, dan umur pakai baterai.



Gambar V. The SoC performance with initialization = 25%

Pada Gambar V, penulis mengasumsikan State of Charge (SoC) awal baterai sebesar 25%, dengan pola pengisian dan pengosongan daya dimulai pada pukul 17:00, sesuai dengan perilaku kehidupan manusia. Hasil menunjukkan bahwa selama periode beban puncak (WBP) dari pukul 17:00 hingga 21:00, tidak terjadi proses pengisian maupun pengosongan daya karena SoC baterai berada di bawah ambang minimum yang diperbolehkan, yaitu 30%. Akibatnya, pengguna kendaraan listrik (EV) tidak dapat menjual listrik ke jaringan utilitas selama periode ini. Memasuki periode beban rendah (LWBP) pada pukul 21:00, pengguna EV dapat memulai proses pengisian daya. Proses ini berlangsung hingga baterai mencapai SoC maksimum sebesar 90% pada pukul 04:00. Setelah SoC mencapai batas maksimum, proses pengisian dihentikan untuk mencegah degradasi baterai, memastikan umur pakai yang lebih panjang. Antara pukul 04:00 hingga 05:00, EV tidak digunakan, sehingga tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya, dengan baterai tetap berada pada SoC 90%. Pada pukul 06:00 hingga 07:00, EV digunakan untuk perjalanan ke tempat kerja, yang memulai proses pengosongan daya dengan SoC baterai tersisa sebesar 80%. Karena SoC ini masih berada dalam rentang yang diperbolehkan, proses pengisian kembali dilakukan saat EV diparkir di tempat kerja hingga SoC mencapai batas maksimum 90%. Setelah SoC maksimum tercapai, dan EV tidak digunakan, tidak ada proses pengisian maupun pengosongan daya yang terjadi. Selanjutnya, EV kembali digunakan oleh pengguna

pada pukul 16:00 hingga 17:00, yang menyebabkan proses pengosongan daya lainnya, dengan SoC tersisa sebesar 80%. Selama periode beban rendah (LWBP), pengguna EV tidak menjual listrik ke jaringan utilitas karena tarif yang lebih rendah tidak memberikan manfaat ekonomi. Sebaliknya, listrik digunakan untuk konsumsi pribadi atau disimpan dalam baterai untuk kebutuhan masa depan. Analisis ini menyoroti pentingnya pengelolaan energi yang efisien, terutama dalam memanfaatkan waktu pengisian daya selama periode beban rendah untuk memastikan baterai tetap dalam rentang operasi yang optimal. Strategi ini tidak hanya menjaga keandalan sistem, tetapi juga memaksimalkan umur baterai dengan meminimalkan risiko degradasi.

#### A. Proportional-Derivative (PD)

Pengujian kedua mengenai Propotional-Derivative Controller dimana Tabel I menunjukkan hasil perbandingan kinerja Proportional-Derivative Controller (PD Controller) pada berbagai kondisi awal State of Charge (SoC), yaitu 25%, 55%, dan 85%. Kinerja pengendali dievaluasi berdasarkan nilai Mean Squared Error (MSE), yang menggambarkan tingkat rata-rata kesalahan kuadrat sistem. Beberapa kombinasi parameter pengendali  $K_p$ ,  $K_d$ , dan  $K_i$  diuji untuk menilai efektivitas kontrol.

##### 1. Kombinasi Parameter $K_p = 0,02$ , $K_d = 1$

Pada kombinasi ini, nilai MSE menunjukkan hasil yang relatif kecil pada semua kondisi SoC, dengan nilai terendah pada SoC 85% sebesar 0,195255. Hal ini menunjukkan bahwa parameter ini cukup efektif dalam mengendalikan sistem pada berbagai tingkat SoC.

##### 2. Kombinasi Parameter $K_p = 0,02$ , $K_d = 0,9$

Kombinasi ini menghasilkan peningkatan nilai MSE dibandingkan dengan  $K_d = 1$ . Nilai MSE tertinggi tercatat pada SoC 85% sebesar 0,336407. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan nilai  $K_d$  mengurangi kinerja pengendali dalam meminimalkan kesalahan.

##### 3. Kombinasi Parameter $K_p = 0,1$ , $K_d = 1$

Dengan peningkatan nilai  $K_p$  menjadi 0,1, nilai MSE sedikit lebih besar dibandingkan kombinasi  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$ . Nilai MSE tertinggi tercatat pada SoC 25% sebesar 0,250718, sedangkan nilai terendah pada SoC 85%

sebesar 0,210818. Ini menunjukkan bahwa peningkatan Kp hanya memberikan efek positif yang terbatas dalam mengurangi kesalahan.

#### 4. Kombinasi Parameter $K_p = 0,2$ , $K_d = 1$

Pada nilai  $K_p$  yang lebih besar, yaitu 0,2, nilai MSE meningkat secara signifikan pada semua kondisi SoC. Nilai MSE tertinggi tercatat pada SoC 25% sebesar 0,341187, sedangkan nilai terendah pada SoC 85% sebesar 0,252096. Hal ini menunjukkan bahwa parameter  $K_p$  yang terlalu besar dapat menyebabkan pengendali menjadi kurang optimal.

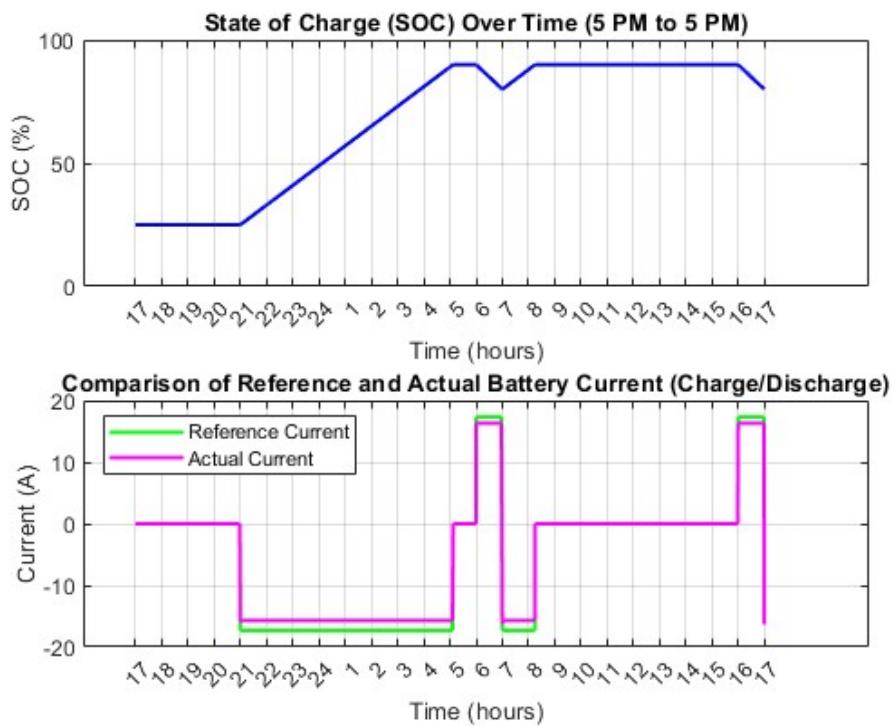
#### 5. Kombinasi Parameter $K_p = 0,02$ , $K_i = 0,01$ , $K_d = 1$

Penambahan elemen integral ( $K_i$ ) secara signifikan meningkatkan nilai MSE pada semua kondisi SoC. Nilai MSE tertinggi tercatat pada SoC 25% sebesar 3,106336. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter ini tidak efektif dalam meminimalkan kesalahan, bahkan menyebabkan penurunan kinerja pengendali.

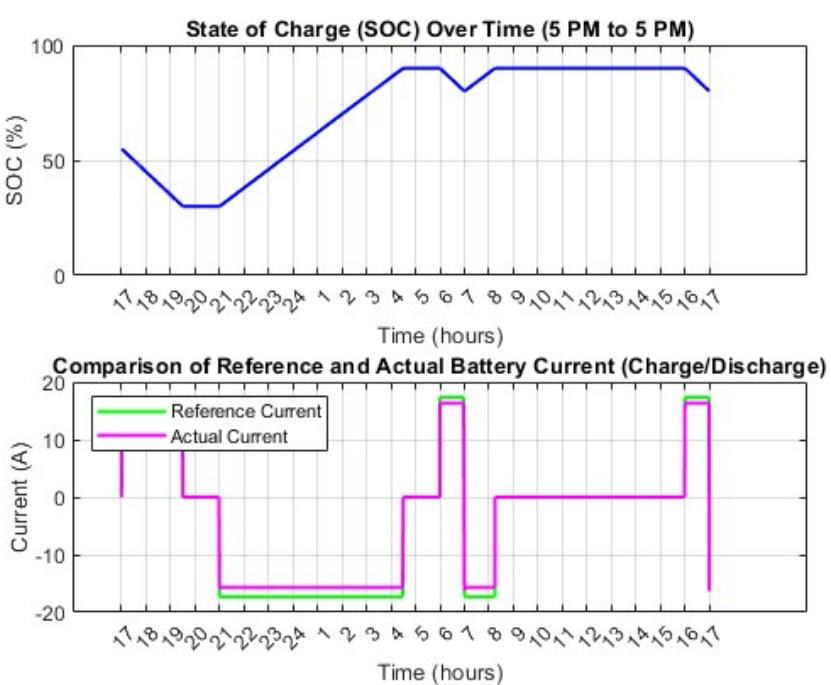
Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi parameter  $K_p=0.02$  dan  $K_d=1$  menghasilkan kinerja terbaik dengan nilai MSE terendah pada semua kondisi SoC. Penurunan nilai  $K_d$  atau peningkatan nilai  $K_p$  cenderung meningkatkan nilai MSE, sehingga membuat pengontrol kurang efektif. Penambahan elemen integral ( $K_i$ ) justru menurunkan kinerja secara signifikan, yang mengindikasikan bahwa pengontrol PD tanpa elemen integral lebih cocok untuk sistem ini. Temuan ini mendukung bahwa pengontrol PD yang sederhana dapat memberikan stabilitas dan efisiensi terbaik untuk aplikasi manajemen SoC baterai.

Tabel I. Performance comparison of PD controller

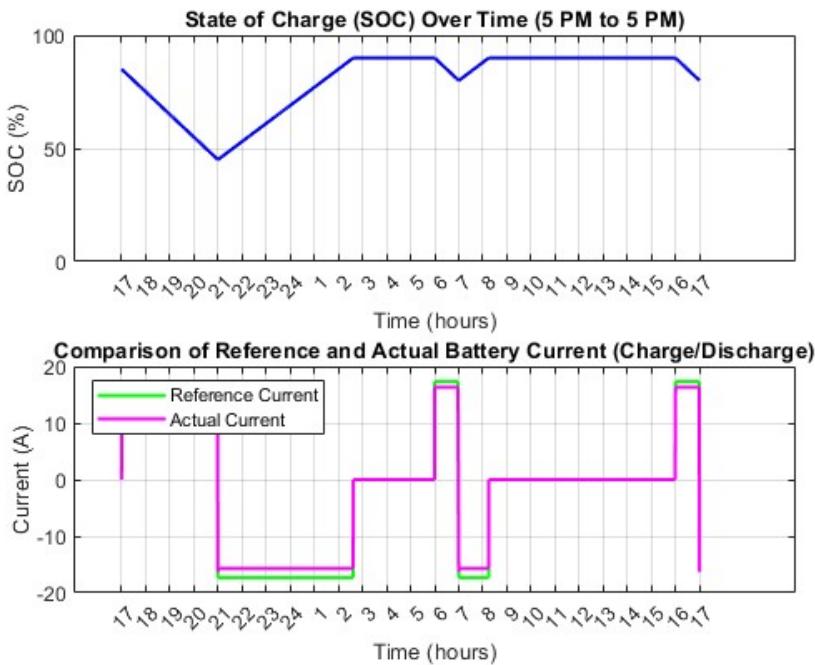
<b>SoC initial condition</b>	<b>SoC = 25%</b>	<b>SoC = 55%</b>	<b>SoC = 85%</b>
<b><math>K_p = 0.02</math>; <math>K_d = 1</math>;</b>			
MSE	0.185716	0.207647	0.195255
<b><math>K_p = 0.02</math>; <math>K_d = 0.9</math>;</b>			
MSE	0.234374	0.314329	0.336407
<b><math>K_p = 0.1</math>; <math>K_d = 1</math>;</b>			
MSE	0.250718	0.249669	0.210818
<b><math>K_p = 0.2</math>; <math>K_d = 1</math>;</b>			
MSE	0.341187	0.319548	0.252096
<b><math>K_p = 0.02</math>; <math>K_i = 0.01</math>; <math>K_d = 1</math></b>			
MSE	3.106336	2.226128	1.239318



Gambar VI. (a) Kinerja SoC 25% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$



Gambar VII. (a) Kinerja SoC 55% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$



Gambar VIII. (a) Kinerja SoC 85% (b) Perbandingan antara Arus Referensi dan Arus Baterai Aktual dengan  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$

Gambar VI hingga Gambar VIII menggambarkan hasil simulasi pengelolaan State of Charge (SoC) dan respons arus baterai selama periode 24 jam dengan kondisi awal SoC masing-masing 25%, 55%, dan 85%. Simulasi ini menggunakan pengendali Proportional-Derivative (PD) dengan parameter  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$ . Grafik ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu perubahan SoC terhadap waktu pada grafik atas, serta perbandingan arus referensi dengan arus aktual pada grafik bawah. Pada Gambar VI(a) hingga Gambar VIII(a), SoC baterai menunjukkan dinamika sesuai dengan siklus manajemen SoC yang dirancang. Di awal simulasi, SoC dimulai dari 25% dan mengalami penurunan signifikan selama fase pengosongan daya (discharging). Penurunan ini diikuti oleh peningkatan SoC secara konsisten selama fase pengisian daya (charging), mendekati nilai maksimum 90%. Setelah itu, SoC kembali menurun pada fase pengosongan daya berikutnya, mencerminkan siklus operasi baterai yang telah ditentukan.

Gambar VI(b) hingga Gambar VIII(b) menunjukkan perbandingan antara arus referensi (ditandai dengan garis hijau) dan arus aktual baterai (ditandai dengan garis magenta). Selama simulasi, arus aktual menunjukkan respons yang mendekati nilai

referensi, meskipun terdapat sedikit deviasi pada beberapa fase transisi antara pengisian dan pengosongan daya. Deviasi ini menggambarkan pengaruh parameter kontrol  $K_p = 0,02$  dan  $K_d = 1$  dalam menjaga kesesuaian antara arus aktual dan referensi. Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa pengendali PD mampu mengatur arus baterai dengan baik dan menjaga SoC dalam rentang yang diinginkan selama simulasi. Meskipun performa cukup memadai, deviasi kecil antara arus referensi dan aktual menunjukkan bahwa optimisasi lebih lanjut pada parameter pengendali dapat dilakukan untuk meningkatkan presisi dan stabilitas sistem.

Kondisi arus baterai dapat diamati dengan merujuk pada SoC baterai. Selama proses pengisian daya, arus berkurang (diwakili sebagai nilai negatif), sedangkan selama proses pengosongan daya, arus meningkat (diwakili sebagai nilai positif). Namun, arus menjadi nol ketika tidak ada proses pengisian atau pengosongan daya.

#### **IV.3 Pengujian Dampaknya EV Terhadap Beban Rumah Tangga**

Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh EV terhadap beban rumah tangga dengan kondisi EV tidak digunakan (full di rumah). Pengujian EV saat tidak digunakan bertujuan untuk memahami bagaimana kondisi EV memengaruhi kinerja sistem penyimpanan energi, termasuk dampaknya terhadap beban rumah tangga. Ketika EV tidak digunakan, interaksi kendaraan dengan beban listrik rumah tangga tetap ada, terutama melalui koneksi pengisian daya atau dalam kasus rumah tangga dengan sistem Vehicle-to-Grid (V2G).

Dalam penelitian ini penulis melakukan simulasi dampak Electrical Vehicle terhadap beban rumah tangga dengan melihat profil beban rumah tangga sebelum dan setelah Electrical Vehicle masuk dengan menggunakan scenario awal SoC yaitu 25%, 55% dan 85%.

Dari ketiga hasil simulasi menunjukkan dampak masuknya kendaraan listrik (Electric Vehicle, EV) terhadap sistem tenaga listrik, terutama terkait penurunan beban puncak (WBP) dan penambahan beban rumah tangga pada saat LWBP.

## 1. Penurunan Beban Puncak (WBP)

Waktu Beban Puncak (WBP) adalah periode ketika konsumsi listrik mencapai nilai tertinggi dalam sehari, biasanya terjadi pada sore hingga malam hari. Pada saat ini, utility (penyedia listrik) harus menghasilkan atau membeli daya tambahan untuk memenuhi permintaan.

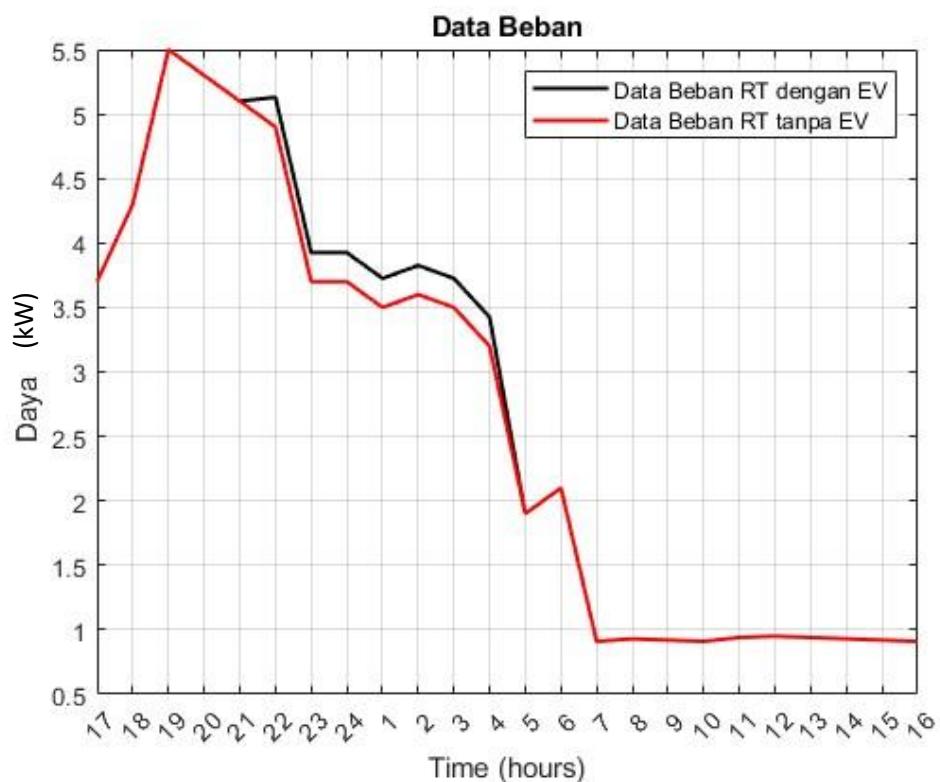
- Peran EV dalam Penurunan Beban Puncak: Dengan teknologi Vehicle-to-Grid (V2G), kendaraan listrik dapat mengembalikan energi listrik ke grid pada saat WBP. Proses ini bekerja sebagai berikut:
  - a. EV yang sebelumnya diisi pada waktu dengan beban rendah (LWBP) memiliki energi cadangan di baterainya.
  - b. Saat WBP, EV yang terhubung ke grid dapat memasok sebagian daya kembali ke sistem.
  - c. Penurunan permintaan daya ini mengurangi beban pada pembangkit listrik, terutama pembangkit peaker yang biasanya lebih mahal dan kurang efisien.
- Keuntungan bagi Utility dan Konsumen:
  - a. Utility diuntungkan karena biaya operasional pembangkitan lebih rendah, stabilitas grid meningkat, dan emisi karbon dapat dikurangi.
  - b. Konsumen diuntungkan karena mereka dapat memperoleh insentif finansial dengan menjual kembali energi ke grid saat tarif tinggi (WBP).

## 2. Penambahan Beban Rumah Tangga pada LWBP

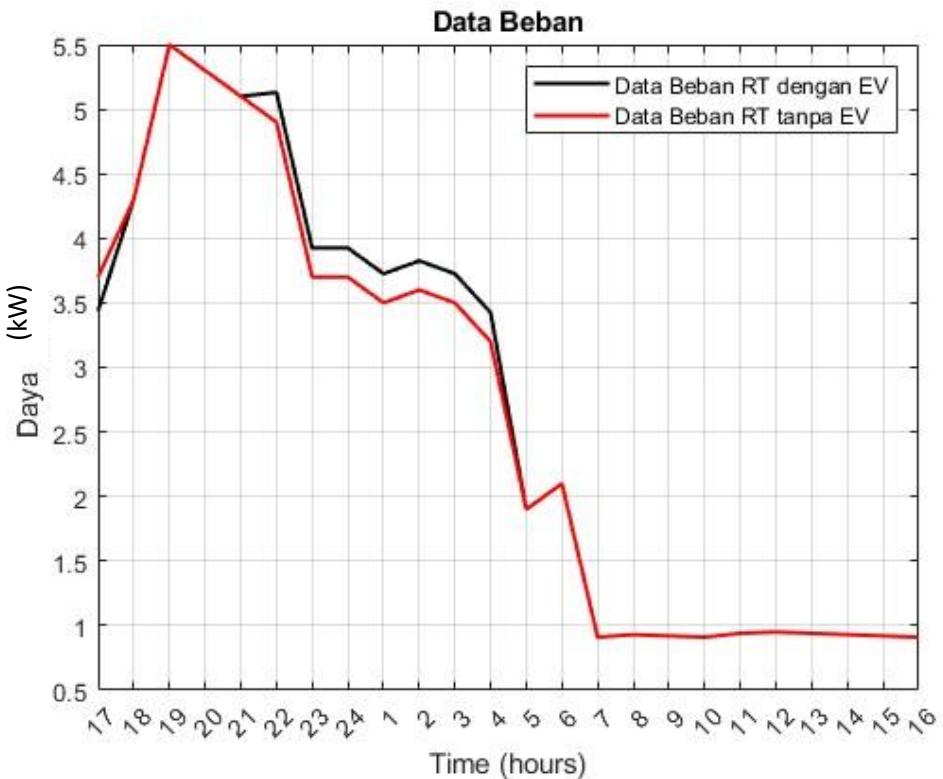
LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) adalah periode dengan konsumsi listrik yang lebih rendah, biasanya terjadi pada malam hingga dini hari. Pada periode ini, tarif listrik biasanya lebih murah untuk mendorong konsumsi.

- Dampak EV pada LWBP: Ketika baterai EV berada dalam kondisi State of Charge (SoC) rendah, misalnya di bawah 30%, EV secara otomatis akan mengisi daya. Proses ini biasanya dilakukan pada waktu LWBP karena:
  - a. Tarif listrik lebih murah, menguntungkan bagi konsumen.

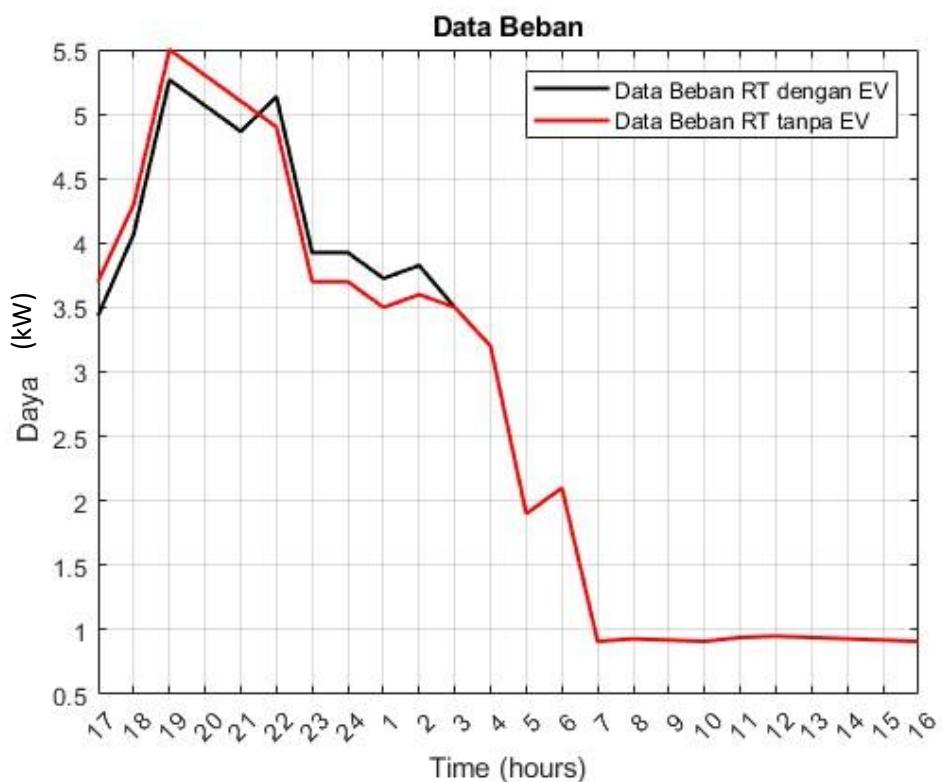
- Koleksi digital milik UPT Perpustakaan ITB untuk keperluan pendidikan dan penelitian
- b. Sebagian besar pemilik EV mengisi daya di rumah saat malam hari.
  - Kenaikan Beban Rumah Tangga: Jika banyak EV yang diisi daya secara bersamaan, hal ini dapat menciptakan penambahan beban signifikan pada sistem kelistrikan rumah tangga dan jaringan distribusi lokal, terutama di kawasan perumahan. Tanpa pengelolaan yang baik, hal ini dapat menyebabkan:
    - a. Penurunan efisiensi distribusi.
    - b. Peningkatan risiko beban puncak lokal di malam hari.



Gambar IX. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 25%



Gambar X. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 55%



Gambar XI. Pengaruh Terhadap Beban Rumah Tangga dengan SoC 85%

Ketiga Gambar IX, Gambar X, dan Gambar XI menampilkan hasil simulasi manajemen State of Charge (SOC) baterai selama 24 jam, terbagi dalam tiga subplot yang saling berkaitan. Setiap subplot memberikan wawasan unik tentang performa pengelolaan baterai dalam sistem tenaga listrik. Analisis ini bertujuan untuk menilai efektivitas kontrol baterai dalam mendukung jaringan listrik, menjaga kesehatan baterai, dan meningkatkan efisiensi sistem.

### 1. Subplot Pertama

Penjelasan Grafik: Subplot pertama menunjukkan perubahan SOC baterai, diukur dalam persentase (%), yang menggambarkan kapasitas energi baterai relatif terhadap kapasitas maksimumnya.

Pola SoC:

- Pengisian Daya: SOC meningkat signifikan antara pukul 21:00 hingga 06:00, menunjukkan baterai dalam mode charging selama periode beban rendah (off-peak).
- Pelepasan Daya: SOC menurun antara pukul 17:00 hingga 21:00, saat baterai digunakan untuk mendukung beban jaringan selama waktu beban puncak (peak load).

Analisis Manajemen SoC: grafik ini menunjukkan keberhasilan manajemen SOC yang menjaga baterai tetap dalam rentang aman, yaitu antara 30% hingga 90%. Rentang ini ditetapkan berdasarkan prinsip State of Health (SoH) baterai, di mana pengisian daya yang berlebihan (di atas 90%) atau pengosongan daya yang terlalu rendah (di bawah 30%) dapat mempercepat degradasi baterai dan mengurangi umurnya (B. Scrosati et al., Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications, 2013, Wiley).

### 2. Subplot Kedua

Subplot kedua memperlihatkan perbandingan antara arus referensi dan arus aktual baterai selama simulasi. Arus referensi mencerminkan nilai arus yang diinginkan berdasarkan kebutuhan sistem, sedangkan arus aktual adalah arus yang dihasilkan oleh baterai setelah melalui kontrol PD. Pada grafik, terlihat bahwa arus aktual mengikuti arus referensi dengan baik, meskipun terdapat sedikit deviasi pada momen tertentu, seperti saat transisi dari

pengisian daya ke pelepasan daya (misalnya sekitar pukul 22:00). Deviasi ini menunjukkan keterbatasan kontrol PD dalam merespons perubahan cepat pada kondisi sistem. Kontrol PD bekerja dengan menghitung keluaran berdasarkan error saat ini (komponen proporsional) dan perubahan error (komponen derivatif). Namun, karena kontrol PD tidak memiliki komponen integral, ia tidak dapat sepenuhnya mengeliminasi error steady-state, terutama pada transisi dinamis (referensi: K. Ogata, *Modern Control Engineering*). Meskipun demikian, secara keseluruhan, kontrol PD cukup efektif dalam menjaga kestabilan arus baterai.

### 3. Subplot Ketiga

Subplot ini membandingkan pola beban daya nyata (garis merah) dengan data semu (garis hitam). Garis merah merepresentasikan konsumsi daya aktual dari jaringan PLN, yang lebih tinggi pada sore hingga malam hari (17:00–22:00), menunjukkan waktu beban puncak. Pada waktu ini, baterai berperan melepas daya untuk mendukung jaringan, sehingga garis hitam (data semu) menunjukkan pengurangan beban akibat kontribusi baterai.

Analisis grafik ini menunjukkan bahwa baterai berhasil mendukung jaringan listrik dengan mengurangi beban selama waktu puncak dan menyerap daya selama waktu beban rendah (off-peak). Hal ini sesuai dengan teori load leveling, di mana baterai digunakan untuk meratakan beban jaringan listrik guna meningkatkan efisiensi operasi pembangkit listrik (referensi: A. Khaligh & O. C. Onar, *Energy Harvesting: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems*). Pengurangan beban puncak juga membantu mengurangi tekanan pada pembangkit listrik dan menghindari biaya tambahan akibat penggunaan pembangkit listrik cadangan

Simulasi ini menunjukkan keberhasilan strategi manajemen baterai dalam mendukung operasi jaringan listrik. Baterai dikelola dengan baik sehingga mampu:

- a. Menjaga State of Charge (SOC) dalam batas aman

SOC berada dalam rentang 30% hingga 90%, yang sesuai dengan prinsip State of Health (SoH) untuk memperpanjang umur baterai dan mengurangi risiko degradasi akibat pengisian daya berlebih atau pengosongan daya ekstrem.

- b. Memastikan stabilitas arus baterai melalui kontrol PD

Kontrol PD menjaga arus baterai agar mengikuti arus referensi dengan deviasi minimal, meskipun terdapat tantangan dalam menangani transisi cepat. Hal ini menunjukkan performa yang cukup stabil dalam menjaga operasi sistem tenaga listrik.

- c. Mengurangi beban puncak jaringan melalui mekanisme load levelling

Baterai mendukung jaringan selama waktu beban puncak dengan melepas daya dan menyerap daya saat beban rendah. Strategi ini meningkatkan efisiensi operasi pembangkit listrik, mengurangi tekanan pada jaringan, dan meminimalkan kebutuhan pembangkit cadangan.

Pendekatan ini sangat relevan untuk mendukung integrasi energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, yang cenderung memiliki output yang fluktuatif. Baterai dapat berfungsi sebagai penyimpanan energi, menyerap kelebihan energi saat produksi tinggi, dan menyediakan daya selama produksi rendah untuk menyeimbangkan kebutuhan sistem secara real-time.

Untuk meningkatkan performa manajemen baterai dalam sistem tenaga listrik, disarankan:

1. Menggunakan kontrol yang lebih canggih:

Implementasi kontrol PID atau kontrol adaptif dapat meningkatkan akurasi sistem dan mengoptimalkan respons terhadap perubahan kondisi jaringan.

2. Strategi manajemen SOC berbasis algoritma optimasi:

Algoritma seperti Model Predictive Control (MPC) dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi secara dinamis, memungkinkan manajemen SOC yang lebih efisien dan memperpanjang umur baterai.

- Koleksi digital milik UPT Perpustakaan ITB untuk keperluan pendidikan dan penelitian
3. Pengembangan lebih lanjut pada simulasi dan eksperimen:
    - Menambahkan komponen simulasi yang mencerminkan skenario dunia nyata, termasuk variasi beban dan integrasi energi terbarukan.
    - Melakukan pengujian eksperimental untuk memvalidasi performa algoritma kontrol dalam kondisi operasional sebenarnya.
    - Pendekatan ini akan membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik berbasis energi terbarukan, menjadikannya solusi yang lebih berkelanjutan.

Dokumen ASII

## BAB V Kesimpulan dan Saran

### V.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mekanisme manajemen State of Charge (SOC) berbasis waktu dan merancang kontroler Proportional-Derivative (PD) guna mengoptimalkan proses pengisian dan pengosongan baterai dengan mengacu pada perilaku kendaraan listrik (EV - Electric Vehicle). Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama. Tahap pertama melibatkan pengembangan siklus manajemen SOC untuk memastikan baterai beroperasi dalam rentang SOC yang optimal. Tahap kedua melibatkan perancangan kontroler Proportional-Derivative (PD) guna mengatur secara dinamis mekanisme switching antara proses pengisian dan pengosongan daya.

Pengujian dilakukan pada tiga kondisi awal SOC, yaitu 25%, 55%, dan 85%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi parameter  $K_p = 0.02$  dan  $K_d = 1$  menghasilkan nilai Mean Squared Error (MSE) terendah, yang menunjukkan kinerja kontroler paling optimal. Implementasi sistem penjadwalan EV berbasis waktu berpotensi menarik pengguna EV untuk mengekspor energi yang tersimpan dalam baterai mereka ke jaringan listrik selama periode beban puncak. Bagi penyedia utilitas listrik, energi yang diekspor ini dapat berfungsi sebagai suplai tambahan untuk menangani permintaan daya selama beban puncak, sehingga teknologi pengisian daya dua arah (bidirectional charging) menguntungkan kedua belah pihak.

### V.2 Saran

Namun, penelitian ini menghadapi tantangan terkait arus listrik, karena arus referensi dan arus aktual tidak sepenuhnya sesuai akibat proses tuning yang masih bergantung pada penyesuaian parameter Proportional-Derivative (PD). Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk merancang kontroler PID (Proportional-Integral-Derivative) secara teoritis guna mencapai nilai error yang lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. M. Tan, V. K. Ramachandaramurthy, and J. Y. Yong, "Bidirectional battery charger for electric vehicle," in 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA), 2014, pp. 406–411.
- [2] V. G. Khedekar, N. Anandh, L. R. S. Paragond, and P. Kulkarni, "Bidirectional on-board EV battery charger with V2H application," in 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), vol. 1, 2019, pp. 1–5.
- [3] H. N. De Melo, J. P. F. Trovao, P. G. Pereirinha, H. M. Jorge, and C. H. Antunes, "A controllable bidirectional battery charger for electric vehicles with vehicle-to-grid capability," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 1, pp. 114–123, 2017.
- [4] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distribution systems and utility interfaces," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 28, no. 12, pp. 5673–5689, Dec. 2013
- [5] M. Bayati, A. Salmani, M. Abedi, and G. B. Gharepetian, "Control of EV/PHEV bidirectional battery chargers in AC microgrids," in 2015 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC), 2015, pp. 1–6.
- [6] E. Sortomme and M. A. El-Sharkawi, "Optimal combined bidding of vehicle-to-grid ancillary services," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 70-79, Mar. 2012
- [7] Z. Wang and S. Wang, "Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 28, no. 3, pp. 1822-1829, Jul. 2013
- [8] K. Bao, S. Li, and H. Zheng, "Battery charge and discharge control for energy management in EV and utility integration," in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-8.
- [9] D. B. Richardson, "Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration," *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 247-254, Mar. 2013.

## LAMPIRAN 1 – BUKTI PAPER

### Development of Bidirectional Battery Charging Scheduling System Considering SOC Level and Energy Price

Ghiok Nanda Alivsky<sup>1,2</sup>, Tri Desmana Rachmilda<sup>1</sup> & Arwindra Rizqianwan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung

<sup>2</sup> PT. PLN (Persero)

Email: ghiok.nanda@pln.co.id

**Abstract.** Electric Vehicle (EV) technology has advanced to allow bidirectional power flow, enabling EVs to not only consume energy but also supply it back to the grid. However, research on time-based charging and discharging patterns is limited, particularly in Indonesia, where electricity tariffs remain constant throughout the day. This study proposes a time-based control strategy, assuming dynamic pricing with higher rates during peak hours, to create mutual benefits for EV users and utilities. The system integrates a State of Charge (SoC) management mechanism and a Proportional-Derivative (PD) controller to optimize battery performance and energy flow. Tests at initial SoC levels of 25%, 55%, and 85% reveal that the parameter combination  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$  achieves the lowest error, ensuring efficient control. This strategy encourages EV users to sell energy during peak hours, providing financial rewards while helping utilities balance energy demand during critical periods.

**Keywords:** Electrical Vehicle, Charging-Discharging, Converter AC-DC, Converter DC-AC, Bidirectional Charger.

#### 1 Introduction

Electric vehicles (EVs) are paving the way for a sustainable future by reducing emissions and revolutionizing energy use through Vehicle-to-Grid (V2G) technology. V2G empowers EVs to act as mobile energy storage units, balancing grid demand, reducing peak loads, and enhancing stability. With intelligent two-way charging systems and schedules tailored to user habits and energy costs, EVs are no longer just vehicles—they are key to building a cleaner, smarter energy system.

Recent studies on bidirectional chargers for EVs highlight their potential for enabling Vehicle-to-Grid (V2G) technology but also reveal key limitations: Bidirectional Charger Technology [1], supports fast and slow charging but neglects battery degradation, user behavior, and scheduling. G2V, V2G, V2H Technologies [2], explores multiple modes but inefficient transitions and high costs limit practicality. Controllable Charger for V2G [3], ensures stability with PI control but heavily depends on EMS accuracy. Bidirectional DC-DC

---

Received \_\_\_\_\_ Revised \_\_\_\_\_ Accepted for publication \_\_\_\_\_  
Copyright © xxxx Published by ITB Journal Publisher, ISSN: xxxx-xxxx, DOI: 10.5614/xxxx

D

2 Ghiok Nanda Alivsky, Tri Desmana Rachmilda & Arwindra Rizqjawan

Converter [4], handles motoring and regenerative braking but struggles with transients and ignores capacity degradation. Charger Control in Microgrids [5], regulates power in microgrids but lacks analysis of charging patterns, impacting battery health. The conclusion is while advancements are evident, challenges like battery degradation, user behavior, and cost-effectiveness remain.

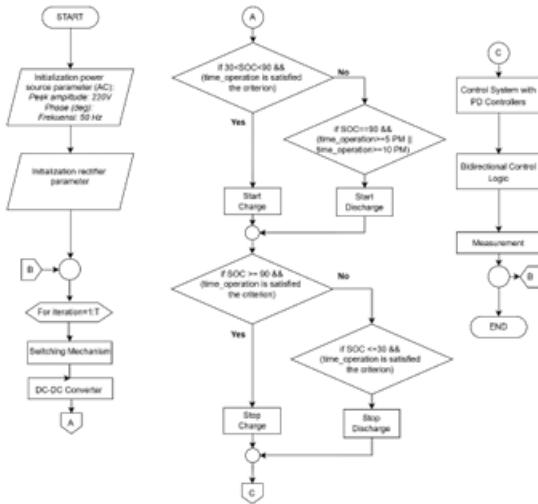
Research on V2G (Vehicle-to-Grid) and G2V (Grid-to-Vehicle) highlights key advancements in energy management: V2G Impact on Grids [6], enhances grid stability with smart charging, avoiding peak load risks. Battery Model [7], SoC-based dynamic model but overlooks thermal effects and self-discharge. Bidirectional Charger [8], ensures current stability, addressing harmonics and self-discharge. EV Grid Integration [9], proposes a 70% SoC limit for stable grid interaction using Opal-RT simulations. The conclusion is advances in smart charging and modeling are promising, but gaps like battery degradation, user behavior, and dynamic pricing require further attention for practical V2G adoption.

The studies reveal a gap in managing EV battery SoC with user behavior and tariffs. The proposed time-based scheduling integrates SoC control and dynamic pricing, encouraging EV users to sell energy during peak hours. This benefits users financially, supports utilities during peak demand, and optimizes bidirectional charger use.

The structure of this paper is as follows: SECTION II: Describes the proposed SoC control strategy. SECTION III: Details the Proportional-Derivative (PD) control testing methodology. SECTION IV: Presents the results and discussion of the testing in detail. SECTION V: Concludes with the key findings of the study.

## 2 Proposed Method

The method proposed in this study is shown in Figure 1. This flowchart illustrates the workflow of a battery charging and discharging system designed to optimize battery performance, safety, and lifespan. The system uses key parameters, namely State of Charge (SoC) and operating time, to control when the battery is charged or discharged. The main goal is to ensure the battery operates within a safe and efficient SoC range while minimizing the impact of degradation.



**Figure 1** The flowchart of proposed method

The system starts with an initialization stage, setting power source parameters such as peak voltage (220V), operating frequency (50 Hz), and phase to ensure compatibility with the external source. Rectifier parameters are also configured to convert AC to DC for battery charging. The system then enters an iterative process from iteration 1 to T, where a switching mechanism, supported by a DC-DC converter, determines whether to charge or discharge. The DC-DC converter regulates current and voltage to meet the battery's requirements, ensuring efficient operation. Time operation criterion that proposed in this research are below:

1. 5PM-9PM: Discharging
2. 9PM-6AM: Charging
3. 6AM-7AM: Discharging
4. 7AM-4PM: Charging
5. 4PM-5PM: Discharging

The proposed system schedules specific times for battery discharging to meet high energy demand periods. From 5 PM to 9 PM, the battery discharges to support peak electricity usage during household and commercial activities. Similarly, discharging from 6 AM to 7 AM supports morning commutes, while 4 PM to 5 PM covers afternoon energy needs and vehicle preparation. This strategy maximizes the use of stored energy during critical times, with the system's control

logic based on the battery's SoC levels and predefined time slots. The system operates as follows: Charging starts when the SoC is between 30% and less than 90%, provided the time is suitable for charging. Discharging starts when the SoC reaches 90% during non-charging periods, ensuring energy is used effectively while avoiding overcharging. Charging stops automatically at 90% SoC, and discharging halts at 30% SoC to protect the battery from overcharging or excessive discharge. Key subsystems support this process, including a Proportional-Derivative (PD) Controller for stable charging and discharging, bidirectional control logic for seamless mode switching, and a real-time measurement system to monitor voltage, current, and SoC. Once the conditions are met, the system stops to keep the battery in an optimal state. This smart and efficient approach can be applied to electric vehicles and large-scale energy storage systems, ensuring safe and reliable battery management.

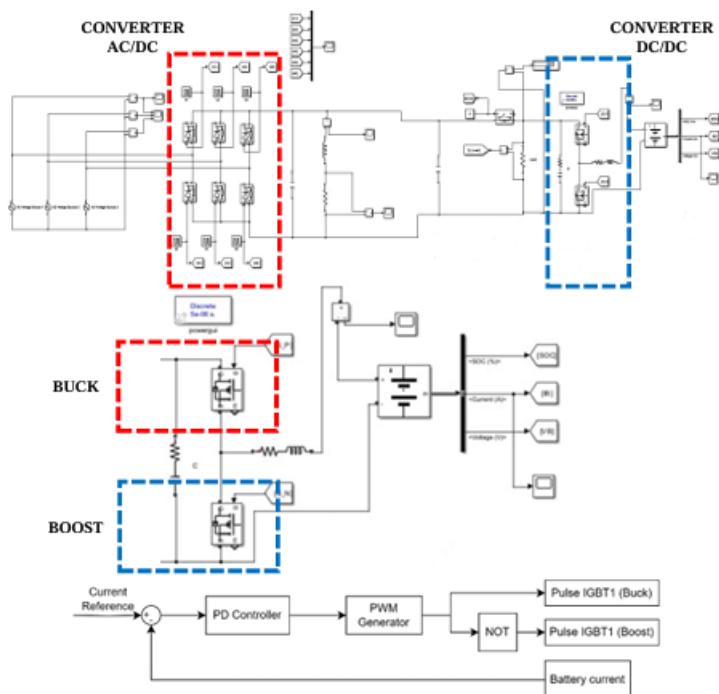


Figure 2 The battery charger configuration

Figure 2 illustrates the current flow direction, representing power flow control in a bidirectional converter used for Vehicle-to-Grid (V2G) applications. The system utilizes a DC current control technique with two MOSFET/IGBT switches managed by control signals to enable charging (G2V) and discharging (V2G). In charging mode (buck), the upper switch (IGBT 1) reduces the voltage for battery charging. When IGBT 1 is ON, current flows through the inductor to the battery. When OFF, current flows back via the lower switch diode (IGBT 2). In discharging mode (boost), the lower switch (IGBT 2) boosts the battery voltage to the DC bus. When IGBT 2 is ON, current flows through the inductor and the diode of IGBT 1, enabling power delivery from the battery to the grid. The control block diagram demonstrates a pulse-width modulation (PWM) mechanism. A voltage reference is compared to the actual battery voltage, and a Proportional-Integral (PI) controller processes the error to generate a current reference. A Proportional-Integral-Derivative (PID) controller then adjusts the PWM duty cycle to modulate the switches, ensuring safe and efficient battery operation. The system is modeled with a 220V, 50Hz grid, a 5.76e-4 H inductor, and a 1000e-6 F capacitor. A lithium-ion battery with a nominal voltage of 22V and 232 Ah capacity is used in the simulation. The control strategy employs a PI and PID controller to dynamically manage charging and discharging transitions. The proposed method has two key stages: (1) State of Charge (SoC) Management Cycle: Ensures the battery operates within an optimal SoC range to improve efficiency and extend its lifespan. (2) Proportional-Derivative (PD) Controller Design: Dynamically regulates switching between charging and discharging, maintaining system stability and accommodating changes in battery conditions. This approach optimizes battery performance, ensuring reliable and efficient management during transitions while preventing overcharging or deep discharging. The method is detailed in the control algorithm using reference voltage and current comparisons to dynamically adjust the PWM control signals.

#### A. SOC Management Cycle

This study examines the charging and discharging patterns of EV batteries over 24 hours, following a schedule that aligns charging with off-peak hours (LWBP) and discharging with peak hours (WBP). The test is based on daily human activities, where the EV is typically outside the home from 6:00 AM to 5:00 PM for work or other needs and returns home in the evening at 5:00 PM. During off-peak hours, the EV charges if the battery's SoC is below 90%. Charging stops automatically when the SoC reaches its maximum limit of 90%, meaning no further charging or discharging occurs. Conversely, during peak hours, if the battery's SoC drops to 30%, the EV discharges to provide energy to the grid, helping reduce the load during high-demand periods between 5:00 PM and 10:00 PM. This method optimizes battery use, prevents overloading the grid during

DOKU

6 Ghiok Nanda Alivsky, Tri Desmana Rachmilda & Arwindra Rizqiawan

peak times, and supports efficient energy management. The process is detailed in Algorithm 1.

**Algorithm 1. SOC Management Over 24 Hours**

Input:

- Initial\_SOC: Starting SOC percentage (e.g., 85%)
- DischargeRate: SOC decrease rate per hour (e.g., 10%)
- ChargeRate: SOC increase rate per hour (e.g., 8%)
- SimulationTime: Total simulation duration (e.g., 24 hours)
- SamplingTime: Time step for simulation (e.g., 1 second)

SOC\_Limits: SOC thresholds:

- Minimum\_SOC = 30% (SOC enters idle when discharging drops below this level)
- Maximum\_SOC = 90% (SOC switches to discharging if charging exceeds this level)

Output:

- SOC(t): SOC values over the simulation time.

Algorithm Steps:

Define time intervals:

**5:00 PM - 9:00 PM (Discharging):**

SOC decreases until  $SOC \leq 30\%$ .

**9:00 PM - 6:00 AM (Charging):**

SOC increases until  $SOC \geq 90\%$ .

**6:00 AM - 7:00 AM (Discharging):**

SOC decreases until  $SOC \leq 30\%$ .

**7:00 AM - 4:00 PM (Charging):**

SOC increases until  $SOC \geq 90\%$ .

**4:00 PM - 5:00 PM (Discharging):**

SOC decreases until  $SOC \leq 30\%$ .

Simulation Loop:

For each time step ( $t$ ) in SimulationTime:

Determine the current time period:

If 5:00 PM - 9:00 PM:

If Current\_SOC > Minimum\_SOC:

Reduce SOC by  $(DischargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

Else:

Keep SOC constant (idle state).

If 9:00 PM - 6:00 AM:

If Current\_SOC < Maximum\_SOC:

Increase SOC by  $(ChargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

Else:

Switch to discharging: Reduce SOC by  $(DischargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

If 6:00 AM - 7:00 AM:

If Current\_SOC > Minimum\_SOC:

Reduce SOC by  $(DischargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

Else:

Keep SOC constant (idle state).

If 7:00 AM - 4:00 PM:

If Current\_SOC < Maximum\_SOC:

Increase SOC by  $(ChargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

Else:

Switch to discharging: Reduce SOC by  $(DischargeRate / 3600) \times SamplingTime$ .

If 4:00 PM - 5:00 PM:

---

```
If Current_SOC > Minimum_SOC:  
Reduce SOC by (DischargeRate / 3600) × SamplingTime.  
Else:  
Keep SOC constant (idle state).  
SOC Constraints:  
Ensure Current_SOC remains within [0%, 100%].  
Record SOC:  
Save the SOC value for the current time step.  
End Simulation:  
When t reaches the end of SimulationTime, stop.
```

---

### B. Proportional-Derivative (PD) Control

The Proportional-Derivative (PD) controller is designed to manage the transition between charging and discharging processes in batteries, ensuring smooth and stable operation. It works by comparing the reference current with the actual current, using this error to adjust the system. The K<sub>p</sub> (proportional gain) addresses the current error directly, while the K<sub>d</sub> (derivative gain) reduces oscillations by considering how the error changes over time. In battery management, the PD controller adjusts the charging and discharging process based on the battery's State of Charge (SoC). With well-tuned parameters, it keeps the actual current close to the reference, helping to optimize charging, extend battery life, and prevent discharging beyond safe limits. PD controllers are often preferred because they are simple to implement and effective at handling transitions between modes. This makes them a practical and cost-efficient choice for managing battery energy systems. The steps for implementing the PD controller are shown in Algorithm 2.

#### **Algorithm 2:** Proportional-Derivative (PD) Controller

##### Initialization:

- Set the simulation parameters such as battery capacity, voltage, SOC, PID controller parameters, time markers, and discharge/charge rates.
- Define Simulation Time: Create a time vector t representing 24 hours, sampled at the desired simulation interval.
- Battery Model Initialization:
- Set initial SOC to 55%.
- Initialize vectors for battery current, reference current, and SOC.
- PID Controller Initialization:
- Set proportional, integral, and derivative gains (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, and K<sub>d</sub>).

##### Simulation Loop:

- For each time step, calculate the error as the difference between the reference and actual battery current.
- Update the PID terms:
  - Add the current error to the integral term.
  - Calculate the derivative of the error.
  - Compute the PID output using K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, and K<sub>d</sub>.
- Determine the battery's operating state (charging/discharging/idle) based on the current time.



DOKU

- 
- Update SOC and currents based on the operating state and PID output.
  - Ensure SOC and currents are bounded between their respective limits.
- 

**Plot Results:**

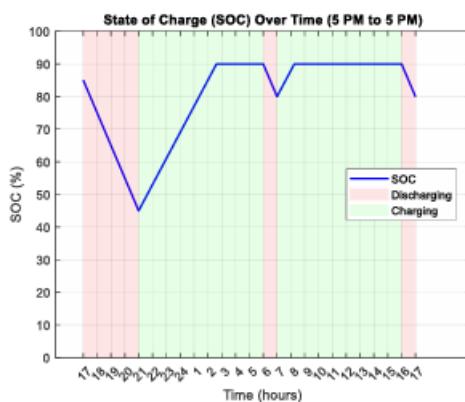
- Plot the SOC over the 24-hour period.
  - Plot the comparison of reference and actual battery currents.
  - Calculate and display the mean squared error (MSE) between the reference and actual currents.
- 

### 3 Result and Discussion

A. The first test conducted was to examine the SOC Management section With three case studies, namely:

- SOC 25%
- SOC 55%
- SOC 85%

The graphs show how the battery's SoC changes during charging and discharging periods. Charging periods, marked in green, show a steady increase in SoC, while discharging periods, marked in red, show a decrease, following the expected behavior of the battery. During discharging, the SoC drops significantly, especially in the early cycles, where it falls below 50%. This indicates a high energy demand or large current draw. In charging, the SoC rises consistently but doesn't always reach full capacity (100%). This could be due to less efficient charging or signs of battery wear. These patterns highlight the need to optimize charging methods to improve battery performance and lifespan.



**Figure 3** The Soc performance with initialization = 85%



Figure 3 demonstrates battery SoC management starting at 85%, aligned with human activity patterns. During the peak load period (17:00–21:00), the battery discharges, allowing EV users to sell electricity to the utility for profit while supporting high demand. By 21:00, the SoC remains within the allowable range at approximately 45%. Charging resumes during the off-peak period, reaching the maximum SoC of 90% by 02:00, after which charging stops to prevent battery degradation. From 02:00 to 06:00, the EV remains inactive with no charge-discharge processes. During the morning commute (06:00–07:00), the battery discharges to 80%. Charging resumes at the workplace, restoring the SoC to 90%. In the evening (16:00–17:00), the EV is used again, reducing the SoC back to 80%. During off-peak periods, electricity is used for personal needs, as low tariffs make selling to the utility uneconomical. This pattern reflects efficient battery management that balances user needs and system longevity.

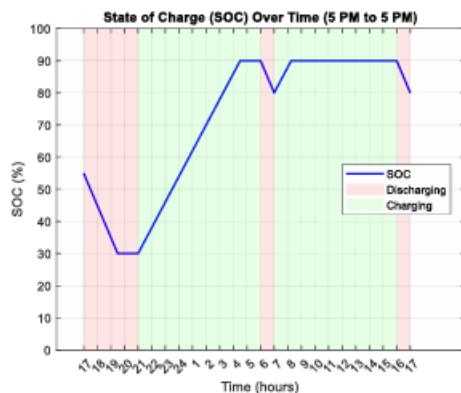
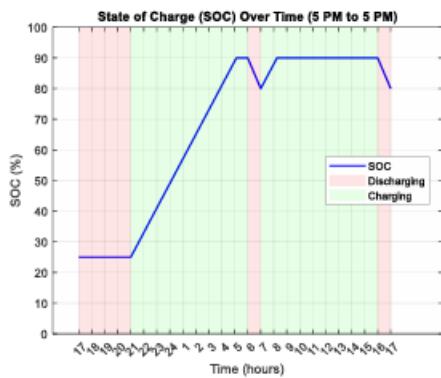


Figure 4 The Soc performance with initialization = 55%

Figure 4 illustrates battery SoC management starting at 55%, aligned with daily user patterns. During the peak load period (17:00–21:00), the battery discharges, allowing EV users to sell electricity to the utility for profit, while supporting high demand. By 19:00, the SoC reaches the minimum threshold of 30%, halting further discharge. From 19:00 to 21:00, no charge-discharge occurs due to high tariffs. In the off-peak period (21:00–04:00), the battery charges to 90%, then remains idle until 05:00. During morning use (06:00–07:00), the EV discharges to 80%, followed by charging at work to restore SoC to 90%. Evening use (16:00–17:00) reduces the SoC to 80%. Off-peak electricity is reserved for personal use, as selling to the utility during low tariffs is not economically beneficial.



**Figure 5** The Soc performance with initialization = 25%

Figure 5 shows battery SoC management starting at 25%, following daily user patterns. During peak load (17:00–21:00), no charge-discharge occurs as the SoC is below 30%, preventing electricity sales to the utility. In the off-peak period (21:00–04:00), the battery charges to 90%, then remains idle until 05:00. Morning use (06:00–07:00) discharges the battery to 80%, followed by charging at work back to 90%. Evening use (16:00–17:00) reduces the SoC to 80%. Off-peak electricity is stored for personal use, as low tariffs make sales to the utility uneconomical.

#### A. Propotional-Derivative Controller

Table 1 summarizes the performance of the Proportional-Derivative (PD) controller across various initial State of Charge (SoC) conditions (25%, 55%, and 85%) using Mean Squared Error (MSE) as a metric. Among the tested configurations,  $K_p = 0.02$ ,  $K_d = 1$  achieved the best performance, with the lowest MSE across all SoC levels, particularly at 85% SoC ( $MSE = 0.195255$ ). Reducing  $K_d$  to 0.9 increased MSE, with the highest value at 85% SoC ( $MSE = 0.336407$ ), indicating decreased controller performance. Increasing  $K_p$  to 0.1 resulted in slightly higher MSE values, with the highest at 25% SoC ( $MSE = 0.250718$ ), showing limited benefit. A larger  $K_p$  of 0.2 further degraded performance, producing the worst MSE at 25% SoC ( $MSE = 0.341187$ ). Adding an integral element ( $K_i = 0.01$ ) drastically increased MSE, with the highest value at 25% SoC ( $MSE = 3.106336$ ), significantly reducing controller effectiveness. The findings conclude that the combination of  $K_p = 0.02$ ,  $K_d = 1$  is the most effective, delivering the lowest MSE. Adjusting  $K_d$  or  $K_p$  negatively impacts performance, and incorporating  $K_i$  leads to substantial degradation. A PD controller without an integral element is optimal for this system.

**Table 1 Performance comparison of PD controller**

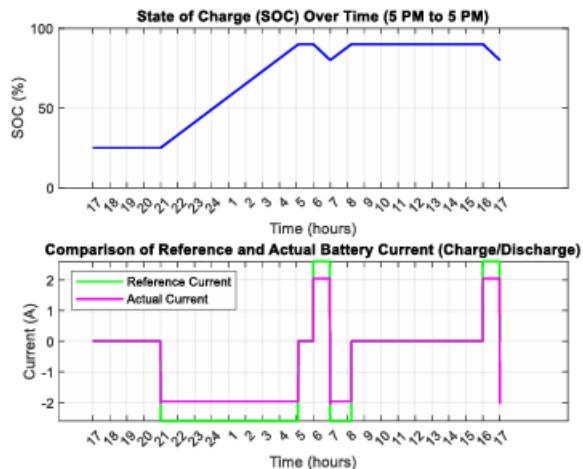
Soc initial condition	Soc = 25%	Soc = 55%	Soc = 85%
Kp = 0.02; Kd = 1;			
MSE	0.185716	0.207647	0.195255
Kp = 0.02; Kd = 0.9;			
MSE	0.234374	0.314329	0.336407
Kp = 0.1; Kd = 1;			
MSE	0.250718	0.249669	0.210818
Kp = 0.2; Kd = 1;			
MSE	0.341187	0.319548	0.252096
Kp = 0.02; Ki = 0.01; Kd = 1			
MSE	3.106336	2.226128	1.239318

The upper graph in Figure 4(a) depicts the SoC changes over a 24-hour period, showing an increase during charging and a decrease during discharging phases. The lower graph in Figure 4(b) compares the reference current (green line) with the actual battery current (magenta line), demonstrating the system's response to switching between charging and discharging processes. The actual current closely follows the reference current, with minor deviations due to the control parameters. These results highlight the PD controller's effectiveness in maintaining system stability and reliability.

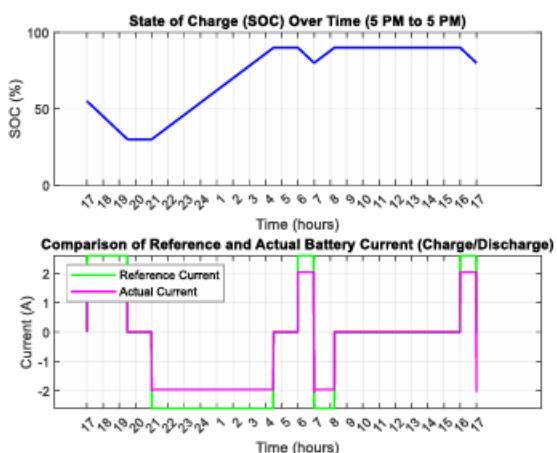
Figures 6 to 8 present the simulation results of State of Charge (SoC) management and battery current response over 24 hours with initial SoC levels of 25%, 55%, and 85%. The simulation uses a Proportional-Derivative (PD) controller with  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$ . Each figure includes two parts: (a) the SoC variation over time in the upper graph and (b) the comparison of reference current (green line) with actual current (magenta line) in the lower graph. In Figures 6(a) to 8(a), the SoC changes dynamically based on the designed management cycle. Starting from initial SoC levels, such as 25%, the SoC significantly decreases during the discharging phase, then steadily increases during charging, approaching 90%. This cycle repeats, reflecting the planned operating pattern of the battery. Figures 6(b) to 8(b) show the reference and actual current comparison. The actual current closely follows the reference, with minor deviations during transitions between charging and discharging. These deviations are influenced by the PD controller parameters ( $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$ ). Overall, the PD controller effectively regulates battery current and maintains SoC within the desired range, though further parameter optimization could enhance precision and stability. Battery current behavior corresponds to the SoC. During charging, the current decreases (negative), while it increases (positive) during discharging. The current drops to zero when no charging or discharging occurs.

DOKU'

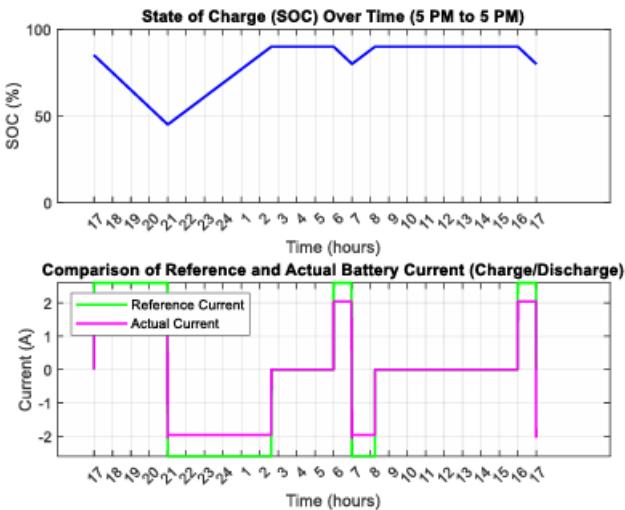
12 Ghiok Nanda Alivsky, Tri Desmana Rachmilda & Arwindra Rizqjawan



**Figure 6** (a) Soc 25%'s performance (b) The comparison of Reference and Actual Baterry Current with the  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$



**Figure 7** (a) Soc 55%'s performance (b) The comparison of Reference and Actual Battery Current with the  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$



**Figure 8** (a) Soc 85%’s performance (b) The comparison of Reference and Actual Battery Current with the  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$

#### 4 Conclusion And Future Work

This research focuses on developing a time-based State of Charge (SOC) management system and designing a Proportional-Derivative (PD) controller to optimize battery charging and discharging based on EV usage patterns. The study has two main stages: (1) creating an SOC management cycle to maintain the battery within an optimal range, and (2) designing a PD controller to regulate the switching between charging and discharging dynamically. Tests were conducted with initial SOC levels of 25%, 55%, and 85%. Results showed that using  $K_p = 0.02$  and  $K_d = 1$  achieved the lowest Mean Squared Error (MSE), indicating optimal controller performance. Time-based EV scheduling encourages users to export stored energy during peak utility demand, benefiting both EV owners and utilities. However, challenges arose from mismatched reference and actual currents due to PD parameter tuning. Future research should explore a theoretically designed PID controller to further reduce errors.