

## Skema Kendali Baterai-Superkapasitor Sebagai Sumber Energi Listrik Hibrida Berbasis *Fuzzy Logic Control*

Muhammad Reihan Iskandar<sup>1</sup>, Adnan Rafi Al Tahtawi<sup>2</sup>, Dedi Aming<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [muhammad.reihan.toi18@polban.ac.id](mailto:muhammad.reihan.toi18@polban.ac.id)

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [adnan.raf@polban.ac.id](mailto:adnan.raf@polban.ac.id)

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail : [deam2k@yahoo.com](mailto:deam2k@yahoo.com)

### ABSTRAK

Bahan bakar fosil menjadi penyebab utama pemanasan global dan menyebabkan efek pada berbagai aktivitas sehari-hari di seluruh dunia. Pemanfaatan *Energy Storage System* (EES) sebagai sumber energi dapat menangani permasalahan pada bahan bakar fosil. Penelitian terkait EES yang ramah lingkungan pun masih terus dilakukan, salah satunya yaitu pemanfaatan energi listrik hibrida. Penelitian ini bertujuan untuk merancang skema kendali baterai-superkapasitor sebagai sumber energi listrik hibrida menggunakan *Fuzzy Logic Control* (FLC). Pemanfaatan topologi HESS aktif sebagai sistem penyimpanan energi ganda dan pensaklaran dalam menstabilkan tegangan keluaran yang dibutuhkan dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). Penggunaan FLC model Takagi-Sugeno-Kang (TSK) diterapkan sebagai kendali utama pengaturan besarnya arus keluaran baterai-superkapasitor dan kendali *Proportional Integral* (PI) sebagai kendali bantu dalam menjaga arus terpenuhi melalui sinyal PWM. Pengujian dilakukan menggunakan simulasi MATLAB/Simulink dengan berbagai skenario pembebanan yang akan dirancang. Hasil pengujian menunjukkan skema kendali baterai-superkapasitor menggunakan FLC dan PI telah berjalan baik dalam mengendalikan arus baterai-superkapasitor dengan berbagai skenario pembebanan yang telah dirancang. Kedua sumber dapat bekerja sama dengan baik dengan karakteristik yang saling melengkapi. Kerapatan daya yang dimiliki superkapasitor dapat menutupi kekurangan pada baterai sehingga pemakaian baterai pada setiap perubahan daya dapat tetap terjaga.

### Kata Kunci

*Sistem Penyimpanan Energi Hibrida, Baterai, Superkapasitor, Arus, Fuzzy Logic Control*

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia teknologi telah berkembang dengan pesat. Pemanfaatan EES sebagai sumber energi dan penyimpanan dapat menangani permasalahan pada bahan bakar fosil. ESS yang sampai saat ini masih menjadi objek penelitian adalah penggunaan HESS. HESS masih menjadi objek penelitian karena penggunaan perangkat yang bervariasi, karakteristik sumber penyimpanan, dan kendali yang berbeda-beda. Karakteristik yang berbeda ini menjadi tantangan bagi para

peneliti untuk dapat mengembangkan *Energy Management System* (EMS) pada berbagai aplikasi dengan kendali dan optimasi yang berbeda sesuai kebutuhan para peneliti.

Salah satu permasalahan pada pemanfaatan energi listrik hibrida adalah keterbatasan penggunaan baterai. Baterai memiliki keterbatasan pada kepadatan daya yang kecil, *drive cycle* yang tidak konstan, dan *lifetime* dari baterai [1]. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu cara yang dapat ditempuh

adalah dengan menambahkan sumber energi listrik tambahan sehingga *lifetime* dari baterai dapat diperpanjang. Dikarenakan superkapasitor memiliki kepadatan daya yang baik, maka pemanfaatan baterai-superkapasitor dapat dijadikan solusi untuk membentuk *Hybrid Energy Storage System* (HESS). Superkapasitor memiliki kapasitansi yang lebih besar, sehingga dapat menyimpan muatan listrik lebih besar pula. Jika dibandingkan dengan baterai, superkapasitor memiliki waktu pengisian dan pengosongan yang lebih cepat.

Penggunaan baterai-superkapasitor secara hibrida tentu saja membutuhkan suatu skema kendali agar bekerja dengan optimal. Salah satu skema kendali yang dapat digunakan adalah FLC. Pada HESS penggunaan metode FLC terdapat dua jenis, yaitu Mamdani dan TSK. Namun FLC model TSK lebih cocok diterapkan pada sistem HESS dikarenakan kendali mampu digunakan dengan baik pada beban-beban yang berubah secara non-linear [2].

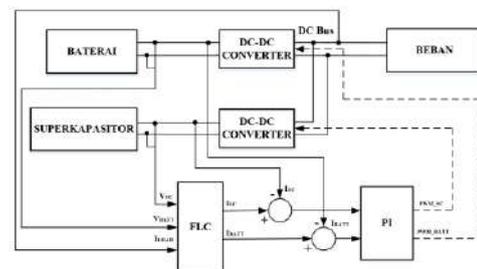
Penelitian yang menggunakan FLC sebagai manajemen energi sudah dilakukan. Strategi manajemen energi dengan variasi kebutuhan daya telah dipaparkan pada [3]. Kemudian, manajemen energi dengan memperhatikan profil dan skenario pembebanan telah dibahas pada [4]. Selain itu, pemanfaatan HESS memperhatikan tegangan pada baterai-superkapasitor dibahas pada [5 & 6].

Pada makalah ini, akan dirancang skema sistem kendali baterai-superkapasitor sebagai sumber energi listrik hibrida menggunakan FLC. Perbedaan dari penelitian sebelumnya adalah pemanfaatan dua sumber energi listrik dengan strategi pengendalian arus yang diuji dalam berbagai skenario pembebanan. Penggunaan konverter dc-dc bekerja sebagai sistem penyimpanan energi ganda dan pensaklaran dalam menstabilkan tegangan keluaran yang dibutuhkan dengan metode *Pulse Width Modulation* (PWM). FLC model TSK sebagai kendali utama dirancang untuk mengatur besarnya arus yang diperlukan baterai-superkapasitor. Kendali PI sebagai kendali bantu dalam menjaga arus keluaran baterai-superkapasitor terpenuhi melalui sinyal PWM. Pengendalian tersebut bertujuan memperpanjang masa pakai atau siklus hidup

kedua perangkat dan upaya untuk mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang. Skema kendali akan diuji menggunakan MATLAB/Simulink dengan berbagai skenario pembebanan yang akan dirancang.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan kendali baterai-superkapasitor dirancang guna memberikan kendali yang dapat diimplementasikan sebagai sumber energi listrik hibrida. Perancangan yang dilakukan dengan memodelkan setiap komponen, seperti pada baterai, superkapasitor, konverter dc-dc dan kendali FLC baterai-superkapasitor. Diagram blok perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

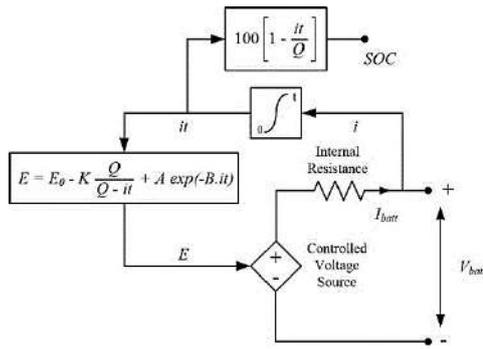


Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Sistem dirancang dengan masukan baterai dan superkapasitor yang difungsikan sebagai HESS aktif. Dua konverter dc-dc dirancang sebagai sistem pengaturan tegangan yang dikendalikan dengan kendali FLC dan PI. FLC digunakan dalam menentukan arus keluaran baterai-superkapasitor. Arus keluaran akan menjadi *set point* dan masukan arus baterai-superkapasitor akan menjadi *feedback* dengan keluaran yang dikontrol kembali oleh kendali PI. Kendali PI akan menghasilkan dan menyesuaikan nilai keluaran berupa PWM yang digunakan untuk mengatur konverter dc-dc sehingga arus baterai-superkapasitor yang diperlukan sesuai dengan arus referensi.

### 2.12 Model Baterai

Penggunaan baterai digunakan sebagai sumber energi utama. Model baterai yang digunakan terdiri dari sumber tegangan variabel dan resistansi internal yang tersusun seri. Model yang digunakan dengan menambahkan variabel *State of Charge* (SOC) yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Baterai

Baterai dimodelkan menggunakan sumber tegangan terkontrol sederhana. Besarnya nilai yang mengatur sumber tegangan variabel dan tegangan baterai diperoleh berdasarkan [7] sebagai berikut:

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q-it} + A \exp(-B.it) \quad (1)$$

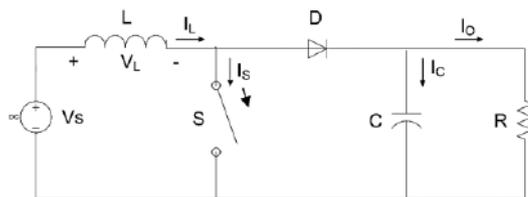
$$V_{batt} = E - Ri \quad (2)$$

dimana  $E$  adalah tegangan variabel (V),  $E_0$  adalah tegangan konstan baterai (V),  $K$  adalah tegangan polar (V),  $Q$  adalah kapasitas baterai (Ah),  $A$  adalah amplitudo daerah eksponensial (V),  $B$  adalah invers konstanta waktu daerah eksponensial (Ah)<sup>-1</sup>.  $V_{batt}$  adalah tegangan

#### 2.14 Model Konverter DC-DC

*Dc-dc converter* adalah rangkaian elektronika yang berfungsi mengkonversi masukan tegangan dc menjadi tegangan dc keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukan [8]. Pada penelitian ini konverter yang digunakan adalah tipe *boost* dengan tegangan masukan sumber yang diperoleh dari baterai dan superkapasitor.

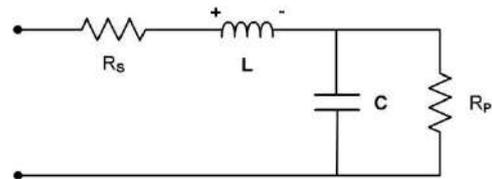
Konverter *boost* adalah jenis pada konverter yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar dibanding tegangan masukannya [9]. Komponen yang digunakan pada konverter ini adalah saklar, induktor, kapasitor, dioda. Konverter *boost* akan bekerja dalam membuka dan menutup. Model konverter *boost* ditunjukkan pada Gambar 4.



aktual baterai (V),  $R$  adalah resistansi ( $\Omega$ ) dan  $i$  adalah arus (A).

#### 2.13 Model Superkapasitor

Superkapasitor pada penelitian ini terdiri dari empat komponen elektronika, yaitu sebuah kapasitor (C) yang ditambahkan resistansi seri ( $R_s$ ), induktansi seri (L) dan resistansi paralel ( $R_p$ ). Rangkaian ekivalen superkapasitor yang dirancang adalah seperti Gambar 3.



Gambar 3. Model Superkapasitor

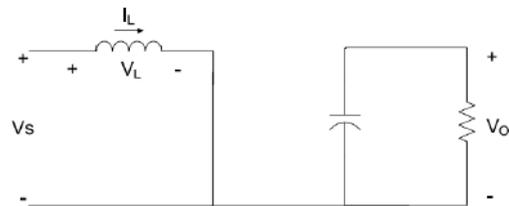
Pada Gambar 3, nilai C dan L bergantung pada setiap jenis konstruksi superkapasitor.  $R_s$  merupakan resistansi internal yang menyebabkan tegangan jatuh saat pengisian-pengosongan muatan.  $R_p$  merupakan resistansi yang menyebabkan adanya pengosongan sendiri (*self-discharge*) pada superkapasitor.

Variabel SOC pada model superkapasitor ini didefinisikan sebagai berikut:

$$SOC(\%) = \frac{V_{out}}{V_{max}} \times 100 \quad (3)$$

Gambar 4. Model Konverter Boost

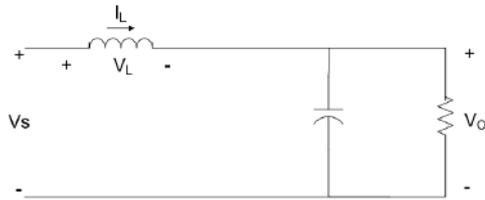
Prinsip kerja pada konverter ini memiliki dua mode, yaitu mode saklar tertutup (ON) dan mode saklar terbuka (OFF). Pada saat mode saklar tertutup (ON), tegangan pada induktor dan tegangan masukan sama. Arus akan mengalir dari dari sumber ke induktor sehingga arus akan tersimpan di induktor. Rangkaian saklar mode ON ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Saklar Tertutup

Pada saat mode saklar terbuka (OFF), polaritas pada bagian kiri induktor akan bernilai negatif. Hal tersebut menyebabkan berkurangnya arus pada induktor sehingga arus akan mengalir searah menuju dioda untuk mengisi kapasitor dan beban. Hal ini yang

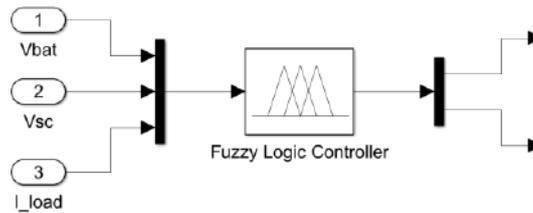
menjadikan tegangan keluaran lebih besar dari pada tegangan masukan. Rangkaian saklar mode OFF ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Saklar Terbuka

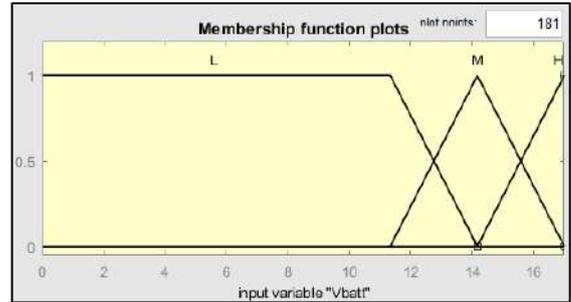
### 2.15 Kendali Baterai-Superkapasitor

Penelitian ini menggunakan metode FLC model TSK, dimana keluaran sistem adalah persamaan linear. Masukan dari pengendali ini adalah tegangan baterai ( $V_{batt}$ ), tegangan superkapasitor ( $V_{sc}$ ) dan arus beban ( $I_{load}$ ), sedangkan dari keluarannya adalah arus baterai ( $I_{bat\_ref}$ ) dan arus superkapasitor ( $I_{sc\_reff}$ ). Blok diagram FLC ditunjukkan pada Gambar 7.

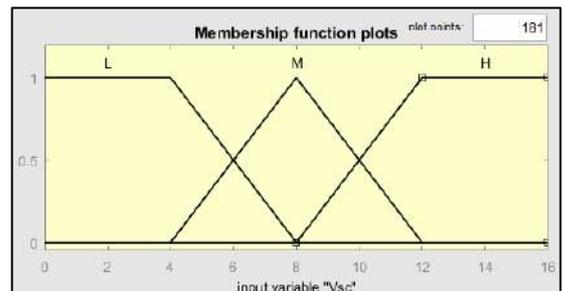


Gambar 7. Blok Diagram FLC

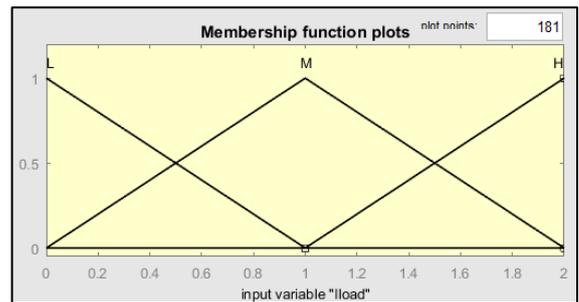
Fungsi keanggotaan variabel masukan FLC ditunjukkan pada Gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Masukan  $V_{batt}$

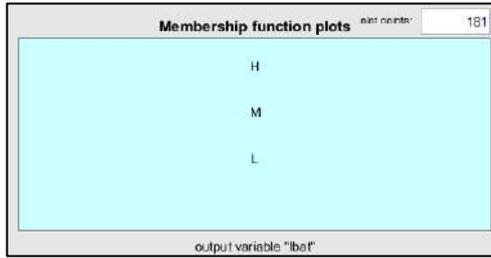


Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Masukan  $V_{sc}$

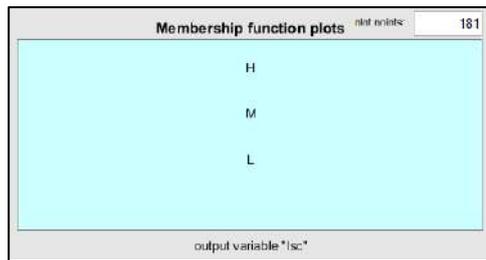


Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Masukan  $I_{load}$

Fungsi keanggotaan variabel keluaran pada FLC ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.

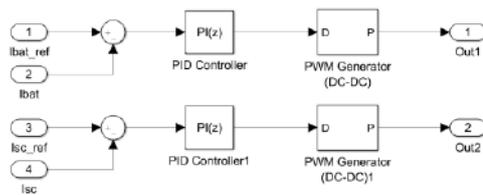


Gambar 11. Fungsi Keanggotaan Keluaran Ibat\_ref

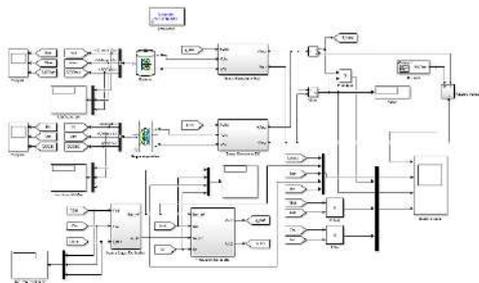


Gambar 12. Fungsi Keanggotaan Keluaran Isc\_ref

Setelah mendapatkan keluaran FLC, dilakukan pengontrolan menggunakan kendali PI sebagai kendali pendukung dalam menjaga dan menyesuaikan nilai keluaran agar terpenuhi melalui PWM. Kendali ini memiliki konsep pensaklaran dimana kondisinya diatur berdasarkan dinamika arus terhadap arus keluaran. Diagram blok kendali PI ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram Blok PI



Gambar 14. Model Simulasi MATLAB/Simulink

Pemilihan nilai parameter  $K_p$  dan  $K_i$  pada arus baterai dan superkapasitor dilakukan secara *trial and error* dimana nilai tersebut langsung ditentukan dan apabila belum sesuai respon maka dilakukan penyesuaian untuk nilai tersebut sampai mendapatkan hasil yang sesuai. Penentuan parameter untuk arus baterai dan superkapasitor pada ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter PI

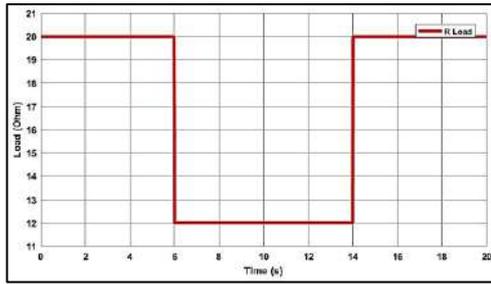
No	Parameter PI	
	$K_p$	$K_i$
1	1,5	2
2	1	0,5
3	3	2

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji hasil dari sistem, maka dilakukan pemodelan simulasi pada MATLAB/Simulink seperti pada Gambar 14. Tipe simulasi yang digunakan adalah tipe *discrete* dan *solver ode23* (Bogacki-Shampine). Pada simulasi dilakukan pengujian dengan menggunakan beban  $R$  variabel ( $\Omega$ ) dan parameter PI guna mengetahui respon perubahan beban apabila parameter PI diatur variabel. Terdapat tiga kondisi pengaturan parameter PI yang telah dirancang pada Tabel 1.

Pada simulasi, beban variabel diatur menggunakan fungsi *signal builder* pada MATLAB/Simulink. Sistem dirancang dengan beban  $R_1$  sebesar  $20 \Omega$  dan  $R_2$  sebesar  $12 \Omega$ . Kondisi pertama dilakukan pada kondisi konstan selama 6 detik dengan kondisi beban  $R_1$  sebesar  $20 \Omega$ . Kondisi kedua dilakukan pada 8 detik selanjutnya dimana beban berubah menjadi  $12 \Omega$ . Kondisi tersebut menyebabkan perpindahan beban dari kondisi pertama sebesar  $20 \Omega$  kemudian turun menjadi  $12 \Omega$ . Kondisi ketiga pada 6 detik selanjutnya beban akan kembali pada  $R$  sebesar  $20 \Omega$ . Hasil simulasi menampilkan respon berupa grafik pada tegangan bus ( $V_{bus}$ ) dan arus dengan lima parameter, yaitu arus beban ( $I_{Load}$ ), arus baterai keluaran FLC ( $I_{Bat\_reff}$ ), arus baterai pada sumber ( $I_{Bat}$ ), arus superkapasitor keluaran FLC ( $I_{SC\_reff}$ ) dan arus superkapasitor pada sumber ( $I_{SC}$ ).

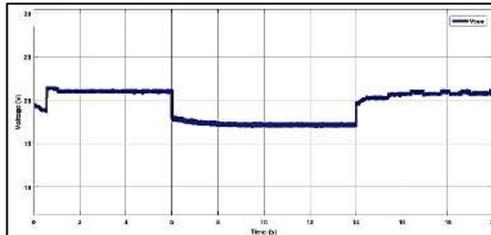
Skenario beban R variabel ditunjukkan pada Gambar 15



Gambar 15. Beban R Konstan

### 3.1 Pengujian Beban R Variabel Parameter Kp 1,5 Ki 2

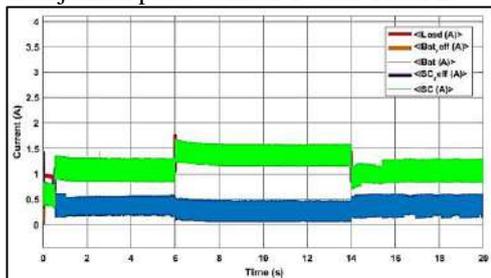
Pengujian pertama dilakukan dengan mengatur nilai Kp sebesar 1,5 dan Ki sebesar 2. Grafik Vbus pengujian simulasi ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 16. Grafik Vbus Pengujian Simulasi Kp 1,5 Ki 2

Pada Gambar 13, Vbus pada kondisi pertama dengan beban R 20  $\Omega$  menghasilkan tegangan sekitar 21,5 V. Pada kondisi kedua dengan beban R berubah menjadi 12  $\Omega$ , Vbus menghasilkan tegangan sekitar 18 V. Kondisi ini akan mengalami perubahan bersamaan dengan perubahan beban. Vbus akan menurun berbanding lurus dengan beban. Pada kondisi ketiga saat beban kembali pada R 20  $\Omega$ , tegangan akan kembali pada keadaan seperti kondisi pertama.

Grafik dan hasil pengujian arus simulasi ditunjukkan pada Gambar 17 dan Tabel 2.



Gambar 17. Grafik Vbus Pengujian Simulasi Kp 1,5 Ki 2

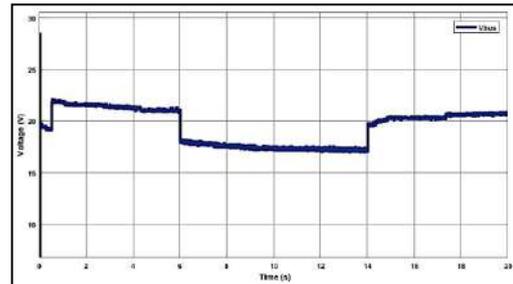
Tabel 2. Hasil Pengujian Arus Kp 1,5 Ki 2

Parameter	Arus Beban R 20 $\Omega$ (A)	Arus Beban R 12 $\Omega$ (A)
Iload	1,1	1,55
ISC	0,85	1,29
ISC_reff	0,82	1,35
Ibat	0,25	0,27
IBat_reff	0,28	0,20

Pada tabel hasil pengujian menunjukkan kondisi pertama dimana nilai R sebesar 20  $\Omega$ , terlihat bahwa arus beban akan merespon dengan cepat diikuti dengan ISC\_reff dan ISC. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa saat beban R mengalami penurunan, maka kebutuhan arus akan semakin besar.

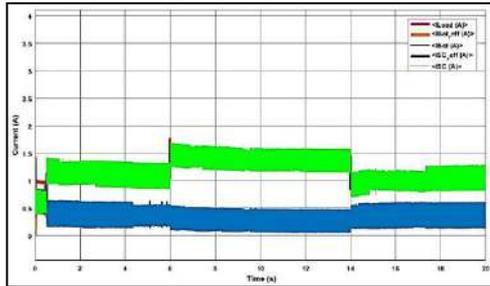
### 3.2 Pengujian Beban R Variabel Kp 1 Ki 0,5

Pengujian selanjutnya menggunakan beban yang sama namun parameter PI dirubah dengan nilai Kp sebesar 1 dan Ki sebesar 0,5. Grafik Vbus pengujian simulasi ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik Vbus Pengujian Simulasi Kp 1 Ki 0,5

Pada Gambar 15, Vbus pada kondisi pertama dengan beban R 20  $\Omega$  menghasilkan tegangan sekitar 23 V. Pada kondisi kedua dengan beban R berubah menjadi 12  $\Omega$ , Vbus menghasilkan tegangan sekitar 17,6 V. Kondisi ini akan mengalami perubahan bersamaan dengan perubahan beban. Vbus akan menurun berbanding lurus dengan beban. Pada kondisi ketiga saat beban kembali pada R 20  $\Omega$ , tegangan akan kembali pada keadaan seperti kondisi pertama. Grafik dan hasil pengujian arus pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 19 dan Tabel 3.



Gambar 19. Grafik Arus Pengujian Simulasi Kp 1 Ki 0,5

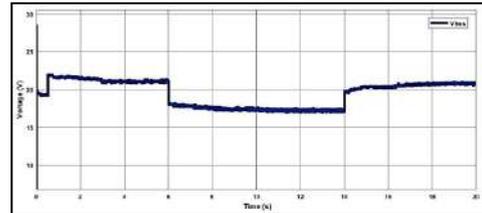
Tabel 3. Hasil Pengujian Arus Kp 1 Ki 0,5

Parameter	Arus Beban R 20 $\Omega$ (A)	Arus Beban R 12 $\Omega$ (A)
<b>ILoad</b>	1,13	1,47
<b>ISC</b>	0,97	1,32
<b>ISC_reff</b>	0,95	1,18
<b>IBat</b>	0,16	0,15
<b>IBat_reff</b>	0,18	0,29

Pada tabel pengujian menunjukkan pada kondisi pertama dimana nilai R sebesar 20  $\Omega$ , terlihat bahwa arus beban akan merespon dengan cepat diikuti dengan ISC\_reff dan ISC. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa saat beban R mengalami penurunan, maka kebutuhan arus akan semakin besar. Penggunaan kendali FLC dalam mengendalikan arus baterai dan superkapasitor menunjukkan hasil yang signifikan. Perbedaan parameter pada kendali PI menunjukkan hasil yang berbeda dengan nilai parameter sebelumnya.

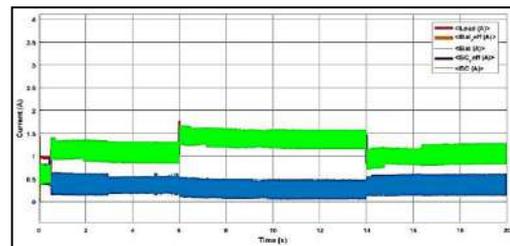
### 3.3 Pengujian Beban R Variabel Parameter Kp 3 Ki 2

Pengujian terakhir pada simulasi menggunakan beban yang sama namun parameter PI dirubah dengan nilai Kp sebesar 3 dan Ki sebesar 2. Grafik Vbus pengujian simulasi ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik Vbus Pengujian Simulasi Kp 3 Ki 2

Pada Gambar 17, Vbus pada kondisi pertama dengan beban R 20  $\Omega$  menghasilkan tegangan sekitar 21,5 V. Pada kondisi kedua dengan beban R berubah menjadi 12  $\Omega$ , Vbus menghasilkan tegangan sekitar 18 V. Kondisi ini akan mengalami perubahan bersamaan dengan perubahan beban. Vbus akan menurun berbanding lurus dengan beban. Pada kondisi ketiga saat beban kembali pada R 20  $\Omega$ , tegangan akan kembali pada keadaan seperti kondisi pertama. Grafik dan hasil pengujian arus pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 21 dan Tabel 4.



Gambar 21. Grafik Arus Pengujian Simulasi Kp 3 Ki 2

Tabel 4. Hasil Pengujian Arus Kp 3 Ki 2

Parameter	Arus Beban R 20 $\Omega$ (A)	Arus Beban R 12 $\Omega$ (A)
<b>ILoad</b>	1,1	1,57
<b>ISC</b>	0,83	1,22
<b>ISC_reff</b>	0,72	1,26
<b>IBat</b>	0,27	0,35
<b>IBat_reff</b>	0,38	0,31

Pada tabel menunjukkan kondisi pertama dimana nilai R sebesar 20  $\Omega$ , terlihat bahwa arus beban akan merespon dengan cepat diikuti dengan ISC\_reff dan ISC. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa saat beban R mengalami penurunan, maka kebutuhan

arus akan semakin besar. Penggunaan kendali FLC untuk mengendalikan arus baterai dan superkapasitor menunjukkan hasil yang signifikan. Perubahan parameter menunjukkan respon yang berbeda pada setiap kondisi pembebanan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut skema kendali baterai-superkapasitor secara simulasi MATLAB/Simulink telah dirancang dalam upaya mengoptimalkan strategi manajemen energi. Dengan rancangan ini, besarnya penggunaan arus baterai dan superkapasitor dapat diamati untuk setiap skenario pembebanan yang telah dirancang. Sistem manajemen energi telah dirancang dalam mengendalikan penggunaan arus baterai dan superkapasitor. Hasil pengujian menunjukkan baterai-superkapasitor dapat bekerja sama dengan baik dengan karakteristik yang saling melengkapi. Kerapatan daya yang dimiliki superkapasitor dapat menutupi kekurangan pada baterai. Superkapasitor dapat merespon setiap perubahan daya secara tiba-tiba, sehingga pemakaian baterai tetap terjaga. Kendali FLC dan PI telah berjalan baik dalam mengendalikan arus baterai-superkapasitor dengan berbagai skenario pembebanan yang telah dirancang.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui Wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penelitian kelompok A1.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. R. Aswathi, P. K. Prathibha, and J. R. Nair, "Regenerative Braking of BLDC Motor using Fuzzy Control for Electric Vehicles," in *2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT)*, Coimbatore, pp. 1661–1665. 2018.
- [2] X. Zhang and C. Mi, "Vehicle Power Management," vol 51, New York: Springer, 2011.
- [3] M. R. Hans, A. B. Renapurkar, and K. K. Ghuge, "Implementation of Fuzzy Logic for Modern E-Vehicles Using Super Capacitors and Li-ion Battery," in *2020 International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, pp. 1128–1132. 2020.
- [4] D. R. Brafianto and I. Wijono, "Aplikasi Kontrol Fuzzy pada Manajemen Penyimpanan Energi Kendaraan Listrik," *SinarFe7-4* 2021, vol 4, no.1, pp. 6, 2021.
- [5] T. Dhia, N. A. Mardiyah, and N. Nurhadi, "Fuzzy Logic Control Design in Hybrid Energy Storage System Super-Capacitor Battery for Electric Vehicle," *KINETIK*, vol. 4, no. 1, pp. 75–86, 2018.
- [6] J. Hu, X. Jiang, M. Jia, and Y. Zheng, "Energy Management Strategy for the Hybrid Energy Storage System of Pure Electric Vehicle Considering Traffic Information," *Applied Sciences*, vol. 8, no. 8, pp. 1266, 2018.
- [7] H. Marzougui, M. Amari, A. Kadri, F. Bacha, and J. Ghouili, "Energy Management of Fuel Cell/Battery/Ultracapacitor in Electrical Hybrid Vehicle," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 13, pp. 8857–8869, 2017.
- [8] E. V. Nainggolan, "Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan Metode Incremental Conductance Berbasis Arduino," *Intitut Universitas Sumatera Utara*, 2019.
- [9] S. Badri and Krismadinata, "Rancang Bangun Konverter Boost yang Terintegrasi dengan Graphical User Interface," *Jurnal of Mechanical Electrical and Industrial Engineering (MOTIVECTION)*, vol. 2, no. 1, 2020.