

# Modelling Dan Evaluasi Kestabilan Baterai Via Function Quiver

1<sup>st</sup> Nabilah Khoirun Nissa

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

nabilahkhoirunnissa@student.telkomuni-  
versity.ac.id

2<sup>nd</sup> Reza Fauzi Iskandar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

rezafauzii@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Indra Wahyudin Fathonah

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

indrafathonah@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan industri, banyak produsen otomotif yang secara aktif mengembangkan kendaraan yang tadinya berbahan bakar minyak menjadi kendaraan listrik. Baterai memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai industri seperti industri otomotif dan penyimpanan energi. Sistem manajemen baterai menjadi semakin penting dalam berbagai aplikasi karena semakin banyak perangkat elektronik dan kendaraan yang menggunakan baterai sebagai sumber energi [1]. Dalam hal ini permasalahan yang kami teliti mengenai ketidakseimbangan SoC yang dapat mengakibatkan degradasi yang tidak merata dan mengurangi umur baterai secara keseluruhan [2]. Dengan adanya *digital twin*, diharapkan dapat lebih mudah untuk mendeteksi dan mengatasi ketidakseimbangan SOC ini. BMS dan *Digital Twin* baterai memungkinkan pemantauan dan manajemen yang lebih canggih serta memaksimalkan efisiensi dan masa pakai baterai. Informasi dari BMS digunakan untuk memperbarui model digital di *Digital Twin*, sementara *Digital Twin* membantu dalam analisis dan peramalan kinerja baterai yang lebih akurat. *Digital twin* membutuhkan data digital untuk dapat dibandingkan dengan data fisisnya. Dalam hal ini *modelling* dan evaluasi kestabilan baterai via *function quiver* dilakukan dengan pemrograman simulasi pada matlab untuk mendapatkan data *discharging* baterai yang berperan sebagai data digital dan kurva kestabilan baterainya. Dari hasil simulasi data yang didapatkan pada proses *discharging* sebanyak 10528 data dan kurva yang dihasilkan menunjukkan bahwa baterai yang digunakan adalah stabil.

**Kata kunci** : Baterai , Pemodelan baterai, SoC , *digital twin*

## I. PENDAHULUAN

Baterai adalah sebuah alat penyimpanan energi yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan dan dapat dengan mudah dipindah dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Dalam sebuah baterai terjadi proses pengisian dan pengosongan baterai, dengan elektroda negatif mengalir ke elektroda positif dan sebaliknya. Proses kimia dalam baterai menghasilkan elektron, elektron dalam baterai mengalir melalui kabel dan kemudian berpindah dari terminal negatif ke terminal positif. Ketika anoda dan elektrolit bereaksi, terbentuk senyawa baru yang mengandung elektron. Sebaliknya, reaksi antara keduanya membutuhkan elektron.

Elektron sisa yang terbentuk dari reaksi antara anoda dan elektrolit dikirim ke katoda untuk bereaksi dengan elektrolit, menghasilkan listrik dari baterai [3]

Pengisian baterai pada perangkat elektronik terkadang melebihi kapasitas sehingga mengakibatkan *overcharge* dan *overdischarge*. Berkaitan dengan hal tersebut, maka pada pengerjaan *capstone design* ini topik yang diangkat oleh penulis untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah mengenai investigasi model *state of charge* pada sistem manajemen baterai. *Battery Management System* berbasis *Digital Twin*, pada penerapannya diperoleh dengan menggabungkan data baterai asli dan model virtual. *Artificial Intelligence* digunakan untuk mencapai pemantauan data waktu nyata, estimasi status, dan fungsi lain dari siklus hidup penuh baterai, serta kontrol umpan balik dari baterai asli, saat memperbarui model virtual. Fungsi-fungsi ini memerlukan sistem manajemen baterai terpasang untuk dapat bekerja sama.

Tujuan dari penelitian ini adalah membangun kerangka uji coba pengembangan model *digital twin* dengan membangun dan memvalidasi model *digital twin* yang akurat untuk baterai dengan mengevaluasi dan menganalisis 2 data dari digital dan fisis dengan memprediksi nilai *error*, diharapkan dengan model *digital twin* yang akurat dapat memberikan manfaat peningkatan kinerja baterai dan efisiensi baterai dalam berbagai aplikasi.

Pada jurnal ini penulis membuat program untuk pemodelan baterai dengan proses *charging* dan *discharging* menggunakan *software* matlab dimana perhitungan nilai SoCnya menggunakan metode *coulomb counting*. Keakuratan metode penghitungan *coulomb* terutama pada pengukuran arus baterai yang perkiraan akurat dari nilai SoC awal [4]. Hasil akhir yang diharapkan adalah data *discharging* dengan indikator yang ditampilkan adalah waktu, tegangan, arus dan SoC. Kemudian kurva kestabilan baterai juga dibuat dengan menggunakan *function quiver* dimana hasil kurva berupa panah yang menuju daerah kestabilannya.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Metode perhitungan SoC

Metode SoC yang digunakan adalah dengan menghitung jumlah muatan yang keluar dan masuk dari baterai dimana metode ini disebut metode *Coulomb Counting* yang memperkirakan kapasitas baterai selama pengisian dan pengosongan [5]. Perkiraan nilai SoC yang akurat dapat mencegah adanya gangguan dan kerusakan yang disebabkan dari *overcharge* dan *overdischarge* pada baterai. Dalam metode ini, perkiraan nilai status pengisian baterai dihitung dengan menghitung muatan dari baterai [6]. Muatan-muatan yang bergerak per satuan waktu menghasilkan arus listrik. Proses menghitung jumlah *coulomb* dengan mengintegrasikan total arus yang masuk dan keluar per satuan waktu. Secara umum, metode penghitungan *coulomb* dihitung menggunakan persamaan dibawah ini[7]:

$$SoC(t) = SoC(t_0) + \frac{1}{Cn} \int_{t_0}^t I dt (2.2)$$

Dimana:

SoC(t) = estimasi state of charge pada waktu (t) (%)

SoC(t<sub>0</sub>) = state of charge awal sebelum terjadi proses

pengosongan (%)

I = besar arus listrik keluar atau masuk pada baterai (A)

Cn = kapasitas maksimum baterai (Ah)

dt = langkah waktu antara t<sub>0</sub> dan t (sekon).

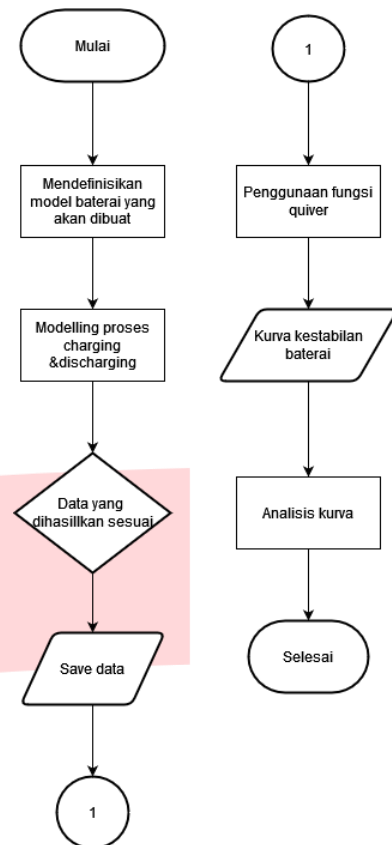
### B. Fungsi Quiver

*Function quiver* merupakan vektor panah yang digunakan untuk membuat *plot* yang memerlukan empat *input* yaitu x, y, u, dan v, *quiver* (X,Y,U,V) memplot panah dengan komponen arah U dan V pada koordinat Kartesius yang ditentukan oleh X dan Y. Misalnya, panah pertama berasal dari titik X(1) dan Y (1), memanjang secara horizontal menurut U (1), dan memanjang secara vertikal menurut V(1) [8]. Secara default, fungsi *quiver* menskalakan panjang panah sehingga tidak tumpang tindih. X didefinisikan sebagai koordinat dasar panah, ditentukan sebagai skalar, vektor, atau matriks. Jika X dan Y adalah vektor dan U dan V adalah matriks, maka *quiver* memuai X dan Y menjadi matriks. Dalam hal ini, ukuran (U) dan ukuran (V) harus sama dengan [panjang (Y) panjang (X)]. Jika X dan Y adalah matriks, maka X, Y, U, dan V harus berukuran sama [9]. *plot* vektor pada penerapan *state space* baterai menggambarkan vektor kecepatan perubahan tingkat pengisian dan tegangan baterai pada setiap titik dalam ruang fase dengan panah yang akan menunjukkan proses yang digambarkan.

## III. METODE

### A. Gambaran keseluruhan sistem

Pada gambaran umum keseluruhan sistem *modelling* dan evaluasi kestabilan baterai terbagi menjadi beberapa proses yaitu proses *charging*, *discharging* dan *plotting* kurva kestabilan baterai. Semua proses tersebut dimodelkan menggunakan matlab, berikut merupakan alur kerja sistem :



GAMBAR 2.1  
Alur kerja sistem

### B. Deskripsi model baterai yang dibuat

Proses pemodelan baterai yang dilakukan mengacu pada parameter dan persamaan *state space* yang sudah didefinisikan pada penelitian terdahulu yang sudah diverifikasi dengan baterai yang digunakan adalah baterai lithium, berikut ini persamaan *state space* yang digunakan [10]:

$$A = \begin{bmatrix} -0.001508 & 0.001508 & 0 & 0 \\ 1.6238379 & -1.6238379 & 0 & 0 \\ 1.6223291 & 0 & -1.6223291 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.000005657847553 \\ 0.006089392278651 \\ 0.010542685882214 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C = [0 \ 0 \ 1 \ 0],$$

$$D = [0].$$

### C. Proses charging

Proses *charging* dilakukan dengan menggunakan fungsi '*lsim*' yang mensimulasikan sistem dengan input '*u*' yang berisi array nilai 1 sepanjang rentang waktu, kondisi awal '*x0*' yang mengkonsikan arus, tegangan, SoC dan aliran muatan dan waktu '*t*' yang sudah ditentukan. Namun sebelum proses *charging* dilakukan, simulasi fungsi transfer dilakukan terlebih dahulu untuk memberikan gambaran karakteristik baterai yang akan dilakukan sistem.

### D. Proses discharging

Proses *discharging* dilakukan dengan menggunakan fungsi '*lsim*' dengan masukan negatif untuk menggambarkan

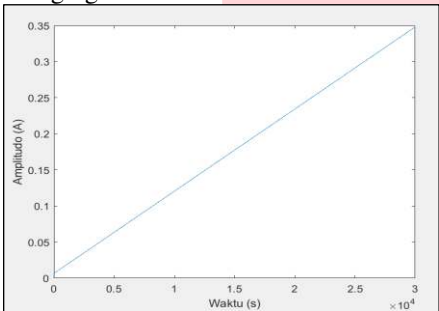
pengosongan baterai dengan pengkondisian nilai awal tegangan ``v_initial``, kapasitas dan arus *discharging*.

E. kurva kestabilan

Pada kurva kestabilan baterai digunakan fungsi *quiver* dimana dalam prosesnya dibuat rentang nilai menggunakan fungsi *'linspace'* dan membentuk matriks koordinat x dan y dengan fungsi *'meshgrid'*. Perhitungan vektor kecepatan dikondisikan dengan (u,v) dalam setiap titik ruang fasenya dan Hasil komponen pertama dari hasil perkalian diberikan ke dalam matriks u, dan hasil komponen kedua ke dalam matriks v, *`quiver`* digunakan untuk memplot vektor kecepatan (u, v) sebagai panah di setiap titik dalam meshgrid.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

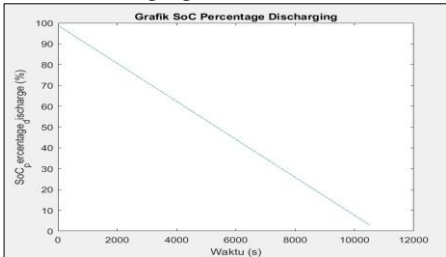
A. Hasil Charging



GAMBAR 3.1  
Grafik step respons proses charging

Hasil grafik unit *step respons* proses modelling baterai dilakukan dengan mengacu pada jurnal (3), proses verifikasi kesesuaian hasil yang diperoleh dilakukan dengan penyesuaian grafik amplitudo dan waktu yang ada di jurnal (3) dan hasil grafik pada pemrograman di MATLAB. Grafik tersebut menunjukkan bahwa selama pengisian baterai, tegangan pada baterai meningkat secara linear. Hal ini konsisten dengan karakteristik pelepasan sel baterai yang *linear*. Selain itu, grafik tersebut juga menunjukkan bahwa model yang digunakan untuk menganalisis respons baterai selama pengisian dapat digunakan untuk memperkirakan state of charge (SoC) baterai. Kesesuaian antara hasil simulasi dengan grafik di jurnal (3) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kesesuaian antara persamaan yang digunakan, parameter persamaan, dan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan yang juga dapat mempengaruhi hasil persamaan.

B. Hasil Discharging



GAMBAR 3.2  
Grafik hubungan SoC *discharging* (%) dengan waktu (s)

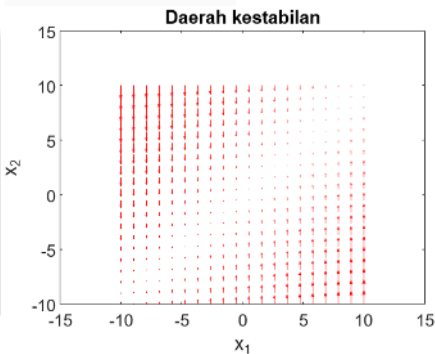
Berdasarkan data grafik dan hasil pengujian yang dilakukan pada proses *discharging* yang mencakup nilai tegangan, arus, dan SoC kurva yang dihasilkan linear turun

dengan nilai awal SoC *discharging*nya adalah 100% dengan penurunan sampai 2.6% dengan penyesuaian nilai awal yang digunakan dengan data fisis sehingga nilai arus yang digunakan adalah dari 1.003 sampai 0.995 dalam rentang waktu dari 0 sampai 10528 detik dan jangka waktunya 1 detik Penurunan pada proses *discharging* menunjukkan energi yang mengalir keluar baterai dan menandakan baterai telah kehilangan sebagian besar daya atau mencapai tingkat pengosongan yang diinginkan. Berikut ini adalah 10 data teratas pada proses *discharging*:

TABEL 3.1  
Data hasil *discharging*

| Waktu | Tegangan    | Arus        | SoC %           |
|-------|-------------|-------------|-----------------|
| 1     | 2,534251749 | 1,00299924  | 99,99071<br>297 |
| 2     | 2,105800531 | 1,00299848  | 99,98142<br>594 |
| 3     | 2,021142582 | 1,00299772  | 99,97213<br>892 |
| 4     | 2,004400381 | 1,00299696  | 99,96285<br>191 |
| 5     | 2,001074789 | 1,002996201 | 99,95356<br>49  |
| 6     | 2,000399614 | 1,002995441 | 99,94427<br>79  |
| 7     | 2,000248021 | 1,002994681 | 99,93499<br>091 |
| 8     | 2,00019986  | 1,002993921 | 99,92570<br>393 |
| 9     | 2,000172131 | 1,002993161 | 99,91641<br>695 |
| 10    | 2,000148439 | 1,002992401 | 99,90712<br>998 |
| Dst   |             |             |                 |

C. Hasil Kurva kestabilan



Plot yang dihasilkan oleh fungsi *quiver* menampilkan keluaran sistem *state space*. Keluaran dari *state space* yang dimaksud adalah representasi visual dari vektor kecepatan perubahan tingkat pengisian atau SoC dan tegangan baterai pada setiap titik dalam ruang fase. Plot tersebut menunjukkan arah dan magnitudo dari vektor kecepatan pada setiap titik dalam ruang fase, dengan sumbu x1 dan x2 sebagai koordinat yang merepresentasikan tingkat pengisian baterai dan tegangan baterai. Dalam hasil kurva didapatkan dari penggunaan fungsi *quiver* terdapat panah yang mengarah ke dua arah yang berbeda, Terdapat panah yang mengarah ke

atas yang menunjukkan proses charging dan panah yang mengarah ke bawah yang menandakan proses discharging pada kurva yang dihasilkan

Titik-titik kritis atau equilibrium points yang terdapat pada kurva adalah titik-titik di mana sistem mencapai keadaan stabil dan tidak mengalami perubahan. Pada titik-titik kritis, perubahan keadaan sistem menjadi nol. Dalam konteks fungsi *quiver* yang digunakan, magnitudo (besar) vektor kecepatan pada setiap titik dalam ruang fase menunjukkan seberapa cepat keadaan sistem berubah pada titik tersebut. Pada titik-titik kritis, vektor kecepatan akan memiliki magnitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan titik-titik lain dalam ruang fase. Penyebab magnitudo yang lebih kecil pada titik-titik kritis adalah karena pada titik-titik ini, perubahan keadaan sistem menjadi nol

## V. KESIMPULAN

Simulasi *charging* dilakukan dengan menghitung nilai transfer terlebih dahulu untuk memberikan informasi mengenai karakteristik sistemnya, dimana nilai transfer akan mempengaruhi hasil pada sistem yang dibuat. Dalam proses *charging* dihasilkan grafik step respon untuk mengetahui respons sistem terhadap perubahan tegangan dan arus dan hasilnya sudah sesuai dengan grafik acuan. Proses discharging dilakukan dengan memberikan deskripsi nilai awal tegangan 3,7 volt, nilai awal arus yaitu 1,003 A dan batasan arusnya 0,995 A dengan nilai awal SoC yaitu 100% kemudian hasil data yang didapatkan sebanyak 10.528 data menyesuaikan kebutuhan dari data fisisnya yang akan digunakan sebagai komparasi dengan data fisis. Metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai SoCnya adalah *coulomb counting* dimana metode ini bekerja dengan menjumlahkan muatan listrik (*coulomb*) yang masuk atau keluar dari baterai dengan mengintegrasikan arus listrik terhadap waktu dengan menggunakan metode *coulomb counting*. Kurva kestabilan yang dihasilkan dari fungsi *quiver* menghasilkan panah *charging* dan *discharging* secara bersamaan yang menggambarkan perubahan terjadi secara vertikal dan menuju ke arah keseimbangan.

## REFERENSI

- [1] S. Triwijaya, A. Pradipta and Y. Prasetyo, "Pengoptimalan Manajemen Baterai Mempertimbangkan Status," *JOGE*, vol. 2, pp. 01-07, 2023.

- [2] W. Y. Chang, "The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review," *ISRN Appl*, p. 1–7, 2013.
- [3] I. R. Tyesadha, R. F. Iskandar and I. W. Fathonah, "Estimasi State Of Charge Pada Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Support Vector Machine (Svm)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, p. 2322, 2 Agustus 2018.
- [4] K. S. Ng, C. S. Moo, Y. P. Chen and Y. C. Hsieh, "Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge," *Applied Energy*, 2009.
- [5] K. movassagh, A. Raihan, B. Balasingam and K. Pattipati, "A Critical Look at Coulomb Counting Approach for State of Charge Estimation in Batteries," *Energies*, 2021.
- [6] f. Edison, "Estimasi state of charge pada baterai VRLA dengan metode perhitungan coulomb," *Final Project*, 2013.
- [7] A. Nugroho and E. Rijanto, "SIMULASI OPTIMASI PENGUKURAN STATE OF CHARGE BATERAI DENGAN INTEGRAL OBSERVER".
- [8] MathWorks, "“quiver,” MATLAB Documentation," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/quiver.html>. [Accessed 17 juni 2023].
- [9] MathWorks, "“quiver,” MATLAB Documentation," [Online]. Available: <http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/matlabhelp/techdoc/ref/quiver.html>. [Accessed 15 Juni 2023].
- [10] T. O. Ting, K. L. Man, N. Zhang, C. U. Lei and C. Lu, "State-Space Battery Modeling for Smart Battery Management System," *IMECS*, vol. II, 2014.