

Estimasi *State of Charge* Baterai dengan Kalman Filter untuk Energy Management System

Mohamad Revano Agsa, dan Ali Fatoni
 Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: fatoni@ee.its.ac.id

Abstrak—Dengan adanya kesadaran umat manusia dalam menjaga lingkungan serta mengurangi tingkat emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor, diciptakanlah kendaraan alternatif yang menggunakan lebih sedikit bahan bakar minyak serta emisi yang dikeluarkan berkurang, yaitu Hybrid Electric Vehicle (HEV) di dalam HEV terdapat sistem yang bernama BMS atau Battery Management System, yang dimana BMS ini mengatur penyimpanan dan pengeluaran energi pada baterai. Yang dimana tingkat efisiensi perhitungan SoC dapat lebih ditingkatkan. Salah satu cara untuk membuat BMS lebih efisien adalah dengan menambah tingkat keakuratan State of Charge (SoC) pada baterai. State of Charge (SOC) didefinisikan sebagai persentase sisa kapasitas baterai yang tersisa. Banyak penelitian yang bekerja keras dalam meningkatkan masa hidup baterai dengan perkiraan kapasitas baterai yang akurat. Pada penelitian ini digunakanlah metode Kalman filters untuk mengestimasi State of Charge pada sebuah baterai, yang dimana Kalman Filter dinilai dapat memiliki hasil error yang sangat mendekati nol, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan keakuratan State of Charge yang ada pada BMS kendaraan hybrid secara akurat, yaitu sebesar 1,326%

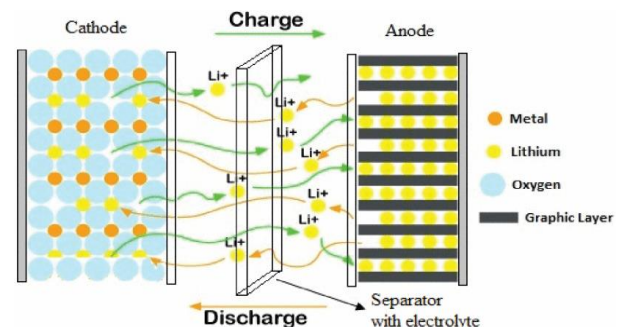
Kata Kunci—State of Charge, Energy Management System, Kalman Filters.

I. PENDAHULUAN

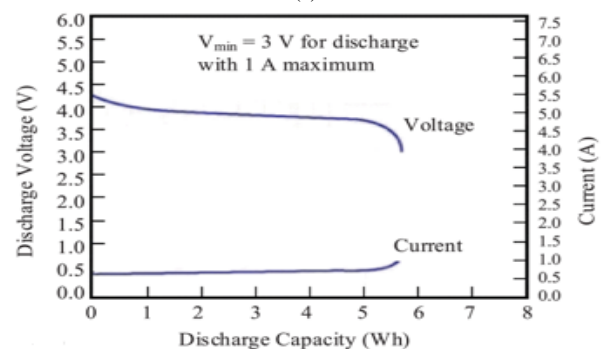
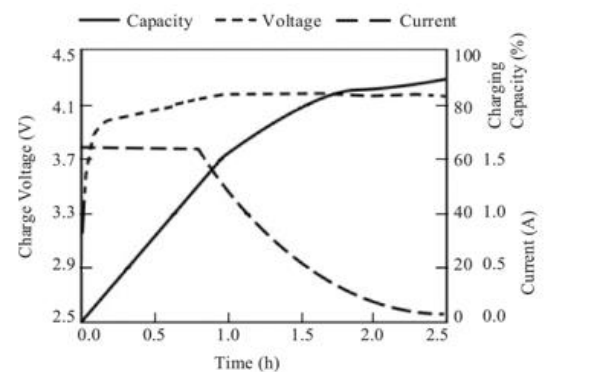
SIRING dengan perkembangan jaman, kendaraan elektrik menjadi semakin populer dengan mengusung teknologi ramah lingkungan tanpa emisi yang dimana berbanding terbalik dengan kendaraan konvensional yang menghasilkan emisi. Namun, kendaraan elektrik murni masih belum bisa mendapatkan jarak tempuh sebaik kendaraan bahan bakar minyak konvensional, ini dikarenakan rendahnya tingkat energi yang disimpan di baterai dan energi yang dihasilkan bahan bakar konvensional jauh lebih tinggi, maka diciptakanlah kendaraan hybrid atau Hybrid Electric Vehicle (HEV) yang terbukti menjadi solusi untuk teknologi ramah lingkungan dan mengurangi jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang artinya jumlah emisi yang dihasilkan juga berkurang [1].

Perpaduan bahan bakar konvensional dengan energi listrik yang dipadukan untuk mengurangi emisi, serta konsumsi bahan bakar minyak merupakan tujuan terciptanya Energy Management Strategy (EMS) pada HEV [2]. Untuk meningkatkan efisiensi EMS dibutuhkan komunikasi antar komponen seperti contohnya baterai, yang dimana dibutuhkan keakuratan pembacaan energi yang tersisa pada baterai, dan juga mencegah kondisi overcharge dan overdischarge pada baterai untuk memperpanjang umur baterai.

Untuk mendeteksi State of Charge suatu baterai pada EMS, terdapat berbagai macam metode yang dapat digunakan,



Gambar 1. Fenomena charging dan discharging baterai li-ion..



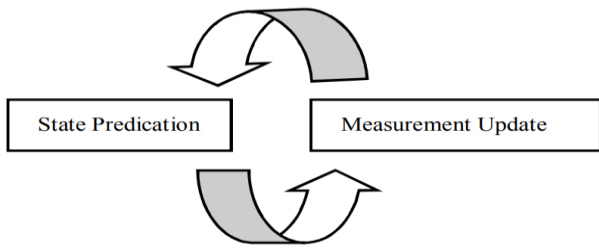
Gambar 2. Karakteristik baterai li-ion (a) charging (b) discharging.

untuk penelitian kali ini metode pendekatan yang digunakan adalah Kalman filters, yang dimana tingkat keakuratannya lebih tinggi daripada metode konvensional yang menggunakan metode Coulomb Counting yang diharapkan dapat diterapkan dalam EMS pada kendaraan hybrid [3].

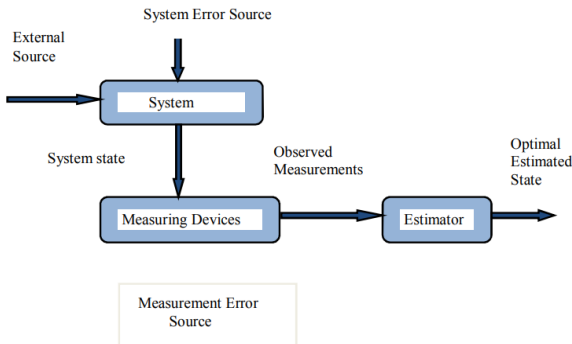
II. DASAR TEORI

A. Baterai

Pada akhir tahun 1900 an, baterai menjadi hal yang umum digunakan bukan hanya dalam skala kecil, namun dapat digunakan dalam skala industri maupun otomotif, dengan



Gambar 3. Function of kalman filter.



Gambar 4. Basic block diagram of kalman filter.

semakin berkembangnya teknologi ini, jenis baterai juga mulai banyak dikembangkan Lithium-Ion, Lithium-Polymer, dan Solid-state merupakan beberapa contohnya. Pada penelitian tugas akhir ini, baterai yang digunakan berjenis Lithium-Ion atau Li-Ion. Baterai Li-ion sendiri adalah baterai yang mengandung dua electrodes sebagai anode dan cathode, yang dipisahkan oleh separator dengan electrolyte, dimana ion lithium bergerak dari cathode ke anode ketika charging dan bergerak sebaliknya ketika discharging seperti yg diilustrasikan pada Gambar 1.

Baterai Li-Ion dengan mudah tersebar dan sering digunakan karena sifatnya yang portable dan rechargeable, serta mengandung dapat lebih banyak energi juga berat yang ringan, baterai jenis ini jugalah yang sering dipakai dalam kendaraan listrik hibrida.

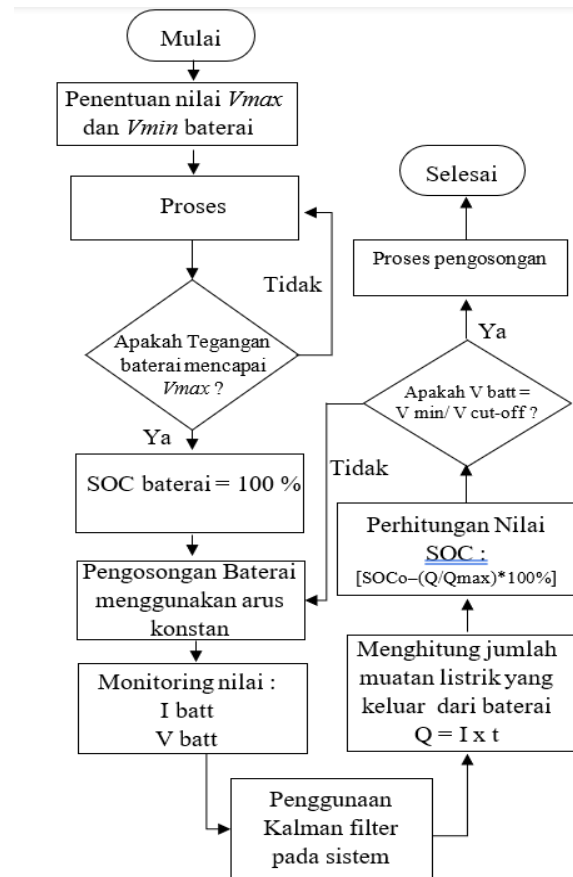
Baterai Li-Ion mempunyai sebuah karakteristik ketika charging dan discharging sepperti yang dapat dilihat di Gambar 2. Ketika charging, kapasitas charging meningkat secara bertahap dan voltase charging stabil, ketika voltase mencapai maksimum, arus menurun secara signifikan. Sebaliknya, kapasitas ketika discharging mempertahankan voltase dan arus pada beban, walaupun terdapat perubahan naik turun kecil terhadap voltase

B. State of Charge

State of Charge atau dapat disingkat SOC merupakan parameter yang krusial dalam Battery Management System yang dimana digunakan untuk menunjukkan kapasitas baterai dalam bentuk seperseratus dari kapasitas maksimal baterai, untuk penghitungan SOC dapat dilihat dalam persamaan berikut

$$SOC(t + \Delta t) = SOC(t) + 1cn \cdot \int + \Delta t \eta \cdot 10t \cdot dt$$

Dimana SOC(t) adalah state of charge ketika t waktu, At adalah penambahan waktu, Cn adalah kapasitas nominalnya, [Ah], I(t) mengacu arus pada fungsi waktu. Arus yang mengalir adalah arus positif ketika sedang charging. adalah "coulomb efficiency" untuk charging dan discharging dan diasumsikan dengan 1 [4].



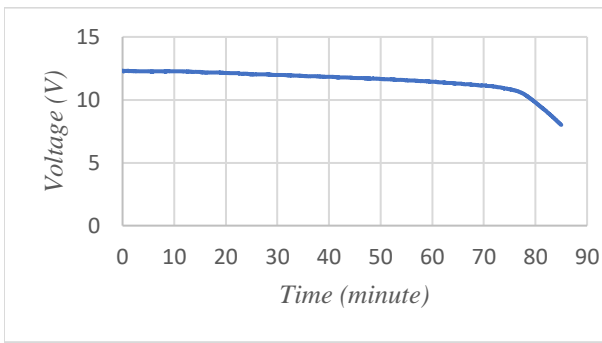
Gambar 5. Diagram alir penelitian.

Tingkat akurasi perhitungan SOC tergantung pada perhitungan SOC awal dan perhitungan arus itu sendiri. Sangatlah susah untuk mendapatkan nilai SOC awal dikarenakan sifat arus dan voltase baterai yang susah untuk didapatkan secara sempurna, karena alasan inilah, metode Coulomb Counting tidak bisa digunakan untuk itu sendiri.

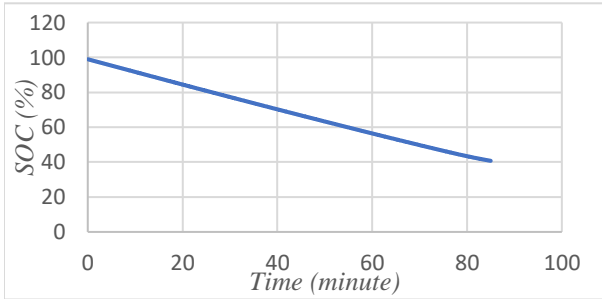
1) Coulumb Counting

Coulomb Counting merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan estiasi SOC pada baterai. Metode Coulomb Counting dapat menghitung sisa kapasitas baterai dengan cara mengakumulasi total arus yang ditransfer ketika charging dan discharging, metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama dalam mengingat serta memonitor dan disebut sebagai tidak praktis dalam penerapan real-time estimasi SOC, tapi merupakan metode yang cocok untuk bahan perbandingan dari metode estimasi SOC lainnya [5].

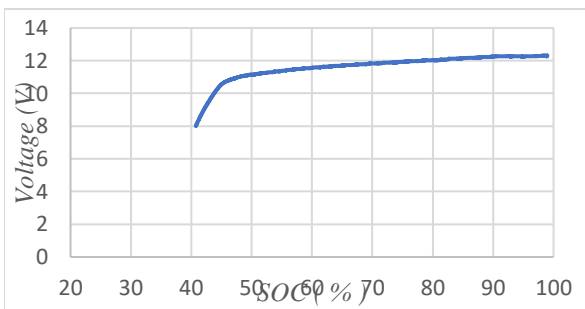
Tingkat keakurasian metode Coulomb Counting mengandalkan keakuratan pengukuran dari arus baterai dan keakuratan SOC awal. Dengan kapasitas yang telah diketahui yang didapat dari penghitungan system dari manufaktur baterai itu sendiri, estimasi SOC baterai dapat dikalkulasikan dengan menggabungkan arus charging dan discharging yang telah ditentukan waktunya. Namun, muatan arus yang dilepas atau discharging selalu kurang dari muatan yang disimpan atau charging dalam siklus charging/discharging.. Dengan kata lain, terdapat losses ketika siklus charging dan discharging. Losses ini ditambah dengan keadaan self-discharging atau keadaan dimana kapasitas baterai berkurang dengan seiringnya waktu walaupun baterai sedang tidak digunakan, dapat menambah akumulasi error dalam pembacaan SOC. Untuk metode estimasi SOC yang lebih akurat, dibutuhkan metode yang dapat menghitung factor



Gambar 6. Grafik hubungan tegangan baterai dan waktu pada proses pengosongan.



Gambar 7. Grafik hubungan tegangan nilai SOC dan waktu pada proses pengosongan.



Gambar 8. Grafik hubungan tegangan dan SOC baterai pada proses pengosongan.

factor tersebut, maka dari itu sebuah instrument pengukuran SOC diharuskan untuk selalu dikalibrasi ulang dan pengurangan daya atau self-discharge juga tetap harus dipertimbangkan.

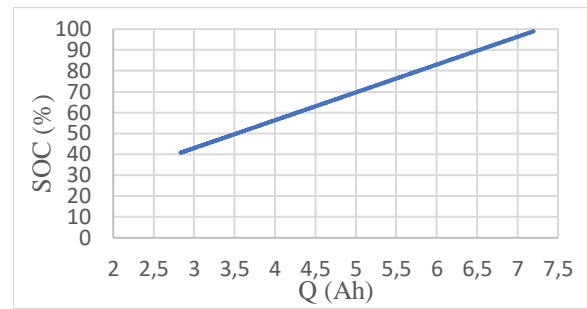
2) Kalman Filter

Kalman Filter adalah kalkulasi yang menggabungkan sejumlah informasi, dengan kurun waktu yang di observasi serta hasil dari noise serta error, untuk membuat estimasi factor tidak menentu dengan keakuratan tinggi [6]. Kalman Filter menggunakan algoritma untuk mengukur serangkaian value yang telah diamati, value ini mengandung error serta proses estimasi dari variable variable lainnya. Function of kalman filter dapat dilihat pada Gambar 3.

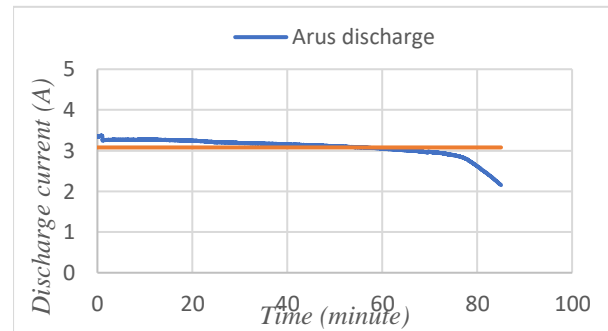
Kalman Filter bekerja dalam membenarkan serta memprediksi model secara luas yang digunakan dalam linear and time invariant atau time variant system. Model prediksi membutuhkan sistem nyata yang terus memperbarui dengan input error serta noise yang diulang ulang sehingga mendapatkan hasil dengan error yang semakin lama semakin sedikit. Blok diagram kalman filter disajikan pada Gambar 4.

3) Motor BLDC 1000 Watt

Motor sinkron tipe Permanent Magnet (PM) memiliki PM pada rotor dan belitan tiga fasa pada stator. Belitan tersebut kebanyakan dikategorikan berdasarkan bentuk belakang



Gambar 9. Grafik hubungan jumlah muatan dengan SOC baterai pada proses pengosongan.



Gambar 10. Grafik nilai arus discharge pada proses pengosongan.

motor-EMF. Untuk EMF balik trapesium atau gelombang persegi, motornya disebut motor Brushless Direct Current (BLDC) sedangkan untuk EMF balik sinusoidal, motornya disebut Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) [7]. Padahal kedua motor memiliki PM pada rotor. Bentuk back-EMF ditentukan oleh bentuk magnet rotor dan distribusi belitan stator. Distribusi belitan umumnya terkonsentrasi untuk motor BLDC dan didistribusikan untuk PMSM. Selain itu, terminal tiga fasa motor disuplai dengan arus kuasi-kuadrat sedangkan PMSM membutuhkan arus fasa sinusoidal untuk eksitasi. Itu konfigurasi rotor dapat berupa rotor dalam atau rotor luar tipe yang memiliki *Surface Mounted PM* (SPM) atau Interior PM (IPM).

C. Energy Management System

Kendaraan listrik merupakan solusi yang menjanjikan untuk mengurangi emisi dalam skala global, namun kendaraan listrik masih memiliki kekurangan dengan jarak tempuhnya yang terbatas, maka diusunglah kendaraan listrik hibrida atau Hybrid Electrical Vehicle, yang dimana dengan memadukan dua sumber energi yaitu baterai dan bahan bakar minyak, didapatkanlah kendaraan dengan emisi yang jauh lebih sedikit daripada kendaraan dengan bahan bakar minyak konvensional. Pada aplikasi kendaraan listrik atau lebih tepatnya Hybrid Electrical Vehicle atau HEV, terdapat beberapa kelemahan seperti dinamika pemberian daya kepada beban kendaraan dan membutuhkan system untuk mengatur antara beban yang dapat ditopang oleh baterai dan beban yang ditopang oleh bahan bakar konvensional, disitulah EMS dibutuhkan, dimana EMS berperan sebagai buffer. Karena terdapat dua buah sumber energi pada kendaraan, maka distribusi daya keluaran dari baterai dan bahan bakar minyak haruslah dikontrol dengan baik untuk meminimalkan biaya serta emisi yang dikeluarkan.

Dalam EMS, secara umumnya terdapat dua jenis strategi control yang dapat digunakan dalam pengaturan pembagian daya dari dua sumber energi yang berbeda, yaitu strategi control rule-based dan optimization-based.

Tabel 1.
Hasil pengujian sensor arus ACS712 dengan nilai pengujian arus yang berbeda

| I Terukur (A) (ACS712) | I Terukur (A) (Alat ukur) | Error (%) |
|---------------------------|------------------------------|-----------|
| 3,51 | 3,50 | 0,29 |
| 3,05 | 3,04 | 0,33 |
| 2,54 | 2,66 | 2,31 |
| 2,07 | 2,16 | 4,17 |
| 1,50 | 1,55 | 3,23 |
| 1,01 | 1,04 | 2,88 |
| 0,49 | 0,5 | 2 |
| Rata-rata nilai error | | 2,48 |

Tabel 2.
Hasil pengujian sensor tegangan dengan nilai tegangan pengujian yang berbeda

| V Terukur (V) (Sensor tegangan) | V Terukur (V) (Multimeter) | Error (%) |
|------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 1,07 | 1,17 | 8,54 |
| 2,09 | 2,17 | 3,68 |
| 3,03 | 3,11 | 2,57 |
| 4,00 | 4,08 | 1,96 |
| 5,03 | 5,09 | 1,17 |
| 6,00 | 6,05 | 0,82 |
| 7,04 | 7,09 | 0,70 |
| 8,07 | 8,13 | 0,73 |
| 9,04 | 9,09 | 0,55 |
| 10,02 | 10,05 | 0,29 |
| 11,09 | 11,10 | 0,09 |
| 12,07 | 12,08 | 0,08 |
| 13,05 | 13,04 | 0,07 |
| 14,07 | 14,06 | 0,07 |
| 15,06 | 15,05 | 0,06 |
| Rata-rata error | | 1,43 |

1) Rule-Based

Strategi kontrol ini adalah strategi yang membutuhkan kekuatan komputasi yang rendah, karena strategi ini hanya menentukan pengoprasian berdasarkan beberapa parameter yang diamati seperti kecepatan, torsi, dan lain sebagainya. Namun performa komputasi yang sederhana ini masih terbilang belum optimal dikarenakan aturan yang telah ditentukan sebelumnya tidak fleksibel. Dengan mengadopsi fuzzy logic pada desain, maka strategi rule-based ini dapat lebih fleksibel.

2) Optimization-Based

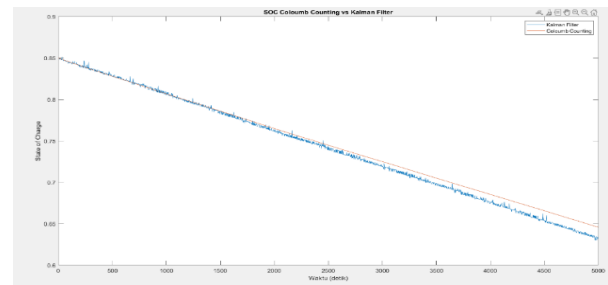
Strategi kontrol ini menggunakan Teknik optimisasi untuk melakukan kalkulasinya dalam pembagian energi dengan cara memberi batasan-batasan fisik dalam kalkulasinya. Strategi ini membutuhkan kekuatan komputasi yang cukup besar dikarenakan strategi ini perlu memecahkan bebrapa persamaan optimasi dalam satu waktu sehingga didapatkan hasil terbaik dalam penggunaan energi dengan real-time [8].

D. Hybrid Electrical Vehicle

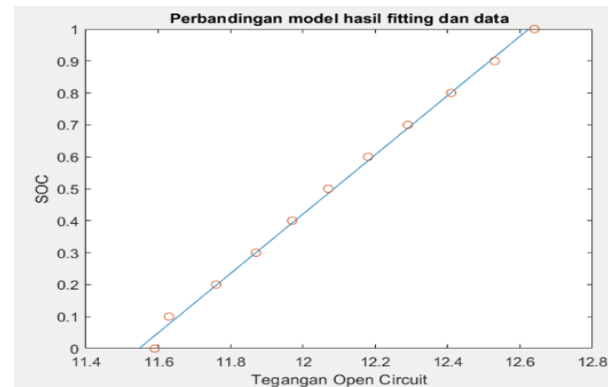
Kendaraan listrik pada saat ini mulai berkembang pesat, namun, akrena teknologi yang ada pada saat ini, kendaraan listrik dinilai kalah dengan kendaraan berbahan bakar minyak yang konvensional terutama di bidang jarak tempuh per-energi yang dikeluarkan. Oleh karena itu munculah kendaraan listrik dengan memadukan bahan bakar minyak, atau disebut Hybrid Electrical Vehicle.

III. PEMODELAN SISTEM

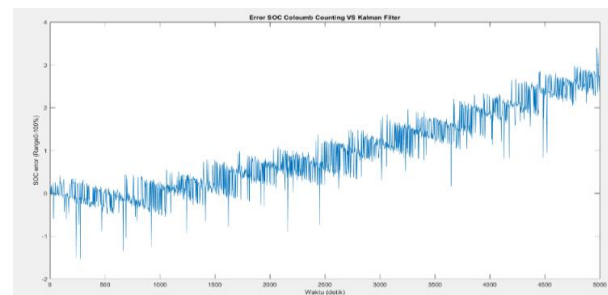
Pada bab 3 ini akan diuraikan metodologi perancangan model baterai Lead-acid yang dimana akan selanjutnya



Gambar 11. Grafik perbandingan SoC terhitung dengan metode CC dan EKF.



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil fitting dan data.



Gambar 13. Grafik error SoC coulomb counting dan kalman filter.

dilakukan perancangan Extended Kalman Filter. Dengan memberi input model baterai Lithium Ion menggunakan mikrocontroller serta penerapan Extended Kalman Filter dalam menentukan State of Charge baterai tersebut

A. Permodelan Sistem

Pada Pada diagram blok di atas alur kerja sistem dimulai dari rangkaian pembagi tegangan. rangkaian pembagi tegangan ini nantinya dihubungkan dengan baterai lead-acid. fungsi utama dari rangkaian ini untuk membagi tegangan yang dikeluarkan oleh baterai agar dapat terbaca oleh perangkat mikrokontroler (Arduino). Selain itu rangkaian pembagi tegangan ini juga bisa digantikan dengan rangkaian cell board BMS sebagai sensor tegangan. Rangkain cell board ini juga dapat digunakan untuk mengatur rangkaian baterai lebih dari 1. Fungsi lain dari cell board BMS ini adalah untuk membagi tegangan yang dikeluarkan oleh baterai. Pemberian beban dilakukan agar arus dapat mengalir dari baterai ke beban, sehingga nilai arus keluaran dari baterai dapat dideteksi dengan menggunakan sensor arus. Data arus dan tegangan yang diperoleh akan dihubungkan ke mikrokontroler (arduino). Proses ini akan dilanjutkan dengan pengiriman data dari mikrokontroler (arduino) ke PC (Personal Computer). Pada PC dilakukan proses perhitungan nilai SOC berdasarkan data yang ada, perhitungan nilai SOC dilakukan dengan menggunakan metode coulomb counting.

B. Metode yang Digunakan

1) Extended Kalman Filter

Pada penelitian ini digunakan metode ini dapat menggabungkan secara luas terhadap banyaknya field komputasi non-linear, yang dimana mempunyai noise background ketika dijalankan serta estimasinya, karena kebanyakan framework adalah non-linear, metode Extended Kalman Filter inilah yang sering dikenal daripada metode sebelumnya.

2) Coulumb Counting

Pada penelitian ini digunakan metode Coulomb Counting yang merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan estimasi SOC pada baterai. Metode Coulomb Counting dapat menghitung sisa kapasitas baterai dengan cara mengakumulasi total arus yang ditransfer ketika charging dan discharging, metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama dalam mengingat serta memonitor dan disebut sebagai tidak praktis dalam penerapan real-time estimasi SOC, tapi merupakan metode yang cocok untuk bahan perbandingan dari metode estimasi SOC lainnya.

C. Bahan dan Peralatan yang Digunakan

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1) Baterai Lead-Acid

Baterai lead-acid merupakan jenis baterai yang sering digunakan dalam aplikasi photovoltaic. Baterai yang digunakan dalam percobaan ini adalah baterai QuickStart-QS GTZ5S dengan rating tegangan sebesar 12 VDC dengan Nominal Capacity (20 jam rate) 5 Ah. Perhitungan Kapasitas Baterai dari Kendaraan Listrik

2) Sensor arus (ACS712)

Dalam perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode coulomb counting, maka peran sensor arus sangat penting, mengingat perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode coulomb counting bergantung pada arus yang masuk atau keluar dari baterai. Oleh karena itu dibutuhkan sensor arus yang memiliki tingkat ketelitian yang baik. Dalam perancangan sistem monitoring ini, sensor arus yang digunakan adalah ACS712. Sensor arus ACS712 memiliki 3 pin, yaitu: Vcc, Analog input dan ground. 3 pin tersebut nantinya akan dihubungkan pada pin input micro-controller arduino.

3) Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, baik saat proses charge dan discharge. Sehingga baterai bisa dioperasikan pada rating tegangannya. Berdasarkan rating tegangan pada baterai lead-acid yang digunakan, tegangan keluaran maksimal pada baterai sebesar 13 V. Maka untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan rating tegangan mikrokontroler arduino dapat menggunakan metode pembagi tegangan sehingga dapat diperoleh tegangan tidak lebih dari 5V.

4) Mikrokontroler

Mikrokontroler pada sistem monitoring baterai berperan dalam menerima data nilai arus dari sensor arus serta menerima input tegangan dari sensor tegangan baterai. Salah satu jenis mikrokontroler yang banyak digunakan dan mudah dalam penggunaannya yaitu arduino. Pada penerapannya

Mikrokontroler ini juga berperan dalam proses perhitungan nilai SOC dengan menggunakan metode "coulomb counting". Pengambilan sampling nilai tegangan baterai, arus baterai, dan SOC dilakukan setiap 1 detik.

D. Prosedur Pengujian

Gambar 5 merupakan diagram alir penelitian. Pada Tugas Akhir ini dilakukan tahapan pengerjaan sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan proses studi tentang referensi-referensi yang berkaitan dengan topik yang di angkat. Seperti karakteristik baterai Lead-acid, Metode perhitungan SOC, Pemodelan sistem monitoring baterai dan lain sebagainya.

2) Perancangan Sistem

Perancangan sistem dirancang berdasarkan beberapa literatur yang ada, seperti jurnal dan buku. Perancangan ini dilakukan agar dapat melakukan proses perhitungan nilai SOC (State of charge) pada baterai. Perancangan sistem ini dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan coulomb (Coulomb Counting) dan metode kalman filter.

3) Pembuatan Prototype monitoring SOC

Pembuatan prototype monitoring SOC pada tugas akhir ini menggunakan metode Extended Kalman Filter, dimana metode ini berfungsi sebagai pembuat estimasi factor tidak menentu dengan keakuratan tinggi. Karena SOC itu sendiri tidak dapat diukur secara langsung maka digunakanlah metode Coulomb Counting, dimana estimasi SOC pada baterai dilakukan dengan menghitung jumlah muatan yang masuk atau keluar dari baterai. Kemudian dalam prototype ini terdapat sensor arus untuk mendeteksi nilai arus yang masuk atau keluar dari baterai, dan sensor tegangan untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, Serta mikrokontroler Arduino untuk melakukan proses perhitungan nilai SOC.

4) Pengujian Prototype

Pengujian dilakukan dengan mengambil data Arus dan tegangan pada baterai untuk dijadikan bahan perhitungan nilai SOC (state of charge) dengan menggunakan metode coulomb counting & Kalman filter. Dalam proses pengujian ini beban yang digunakan berupa beban resistif.

5) Simulasi

Simulasi yang digunakan bertujuan untuk menentukan nilai SOC pada baterai serta melakukan uji coba pada sistem yang sudah dibuat.

6) Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada proses pengisian dan proses pengosongan pada baterai. Jenis data yang di ambil berupa tegangan baterai, arus yang mengalir pada baterai, Serta nilai SOC pada baterai.

7) Analisis Data

Setelah proses pengambilan data selesai, maka akan dilakukan analisa pada data yang sudah di dapatkan. Pada proses ini akan dilakukan analisa tentang hubungan nilai tegangan terhadap nilai SOC (State of charge) pada baterai, selain itu juga akan dilakukan analisa tentang hubungan jumlah coulomb pada baterai dengan nilai SOC (State of charge) pada baterai.

8) Penarikan Kesimpulan

Setelah melihat beberapa kondisi yang ada, maka ditarik

beberapa kesimpulan. Kesimpulan ini juga di akhiri dengan pemberian saran dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya

IV. HASIL DAN ANALISA DATA

Dalam tugas akhir ini dirancang sebuah alat monitoring untuk menentukan nilai State of Charge (SOC) dengan Menggunakan metode coulomb counting serta metode Extended Kalman Filter. Implementasi baterai yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baterai QuickStart-QS GTZ5S dengan rating tegangan sebesar 12 VDC dengan Nominal Capacity (20 jam rate) 5 Ah. Perhitungan nilai SOC baterai dilakukan pada saat proses pengosongan (discharge). Pada bab ini juga dilakukan pengujian/kalibrasi sensor arus dan sensor tegangan yang digunakan, hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai Arus dan tegangan yang akurat pada proses discharge, mengingat parameter Arus dan tegangan merupakan parameter yang penting dalam penentuan nilai SOC baterai. Pada tahap berikutnya yaitu dilakukannya proses discharge dengan memperhatikan tegangan serta arus yang didapat untuk menentukan SOC dengan menggunakan metode Coulomb Counting serta membandingkan hasil data dengan metode Extended Kalman Filter.

A. Pengujian Sensor Arus.

Salah satu komponen penting dalam alat monitoring SOC ini adalah sensor arus, mengingat metode coulomb counting sangat bergantung pada keakuratan nilai arus yang diukur. Oleh karena itu pengujian sensor arus yang digunakan dalam alat ukur ini sangat diperlukan untuk mendapatkan nilai arus yang akurat. Sensor arus yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah ACS712 dengan maksimal arus sebesar 20 A. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai hasil pengukuran antara sensor arus ACS712 dan alat pengukuran yang sudah terkalibrasi (Multimeter). Hasil pengujian sensor arus ACS712 dengan nilai pengujian arus yang berbeda disajikan pada Tabel 1.

Dari hasil pengujian tersebut di dapatkan nilai pengukuran pada sensor ACS712 sudah mendekati nilai pada multimeter, dengan nilai error sebesar 2,48%. Sehingga dapat disimpulkan sensor arus yang digunakan pada alat monitoring ini bisa dikatakan dapat bekerja dengan baik.

B. Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan juga memiliki peranan penting dalam mendeteksi nilai tegangan baterai, mengingat baterai sangat tidak dianjurkan beroperasi di bawah tegangan cut-off baterai dengan SOC kurang dari 20%. Sensor tegangan ini nantinya akan membaca nilai tegangan baterai baik saat proses pengisian dan proses pengosongan baterai. Pengujian sensor tegangan ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan dengan nilai tegangan yang terbaca oleh alat ukur yang sudah terkalibrasi (Multimeter), dengan menggunakan catu daya sebagai sumber tegangan pengujian.

Pada grafik hasil pengujian, persamaan grafik yang dihasilkan dari proses pengujian mendekati persamaan garis $y=x$, sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan bekerja dengan baik.

Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan sudah mendekati nilai tegangan

yang terukur oleh multimeter, hal ini dapat dilihat pada Tabel 2. Rata-rata nilai error sebesar 1,43 %, Sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan dalam sistem monitoring SOC ini sudah akurat.

C. Perhitungan SoC baterai dengan menggunakan metode Coulomb Counting

Dalam penentuan nilai SOC menggunakan metode coulomb counting, inital SOC merupakan parameter yang penting untuk memperoleh nilai SOC yang akurat. Oleh karena itu sebelum proses pengosongan dilakukan baterai terlebih dahulu di charge dengan arus charging tertentu sampai baterai mencapai tegangan maksimumnya (Voc sekitar 13 V). Ketika baterai sudah mencapai tegangan maksimumnya, selanjutnya diasumsikan SOC baterai bernilai 100%.

Selanjutnya proses pengosongan dilakukan dengan ketentuan pengambilan data sebagai berikut:

| | |
|---|---------------|
| Arus discharge rata-rata | : 0.7 A |
| Interval waktu pengambilan data | : 2.5 detik |
| Rata-rata muatan yang digunakan/2.5 detik | : 0,000755 Ah |
| Total muatan yang digunakan | : 5 Ah |
| Initial SOC | : 100% |

Baterai yang digunakan dalam proses pengosongan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut ini:

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Manufaktur | : QuickStart-QS GTZ5S |
| Kapasitas Baterai | : 5 Ah |
| V Nominal baterai | : 12 volt |

Gambar 6 merupakan grafik hubungan tegangan baterai dan waktu pada proses pengosongan. Dari grafik discharge didapatkan, pada awalnya nilai tegangan baterai cenderung memiliki penurunan yang tidak terlalu signifikan, dimana nilai tegangan baterai masih dalam kisaran 11 V-12 V. Namun ketika baterai digunakan mendekati waktu 90 menit tegangan baterai cenderung mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai 8 V. Grafik hasil pengujian ini dapat dikatakan sudah sesuai dengan kurva discharge karakteristik baterai QuickStart-QS GTZ5S. Berdasarkan grafik yang sudah didapatkan, baterai perlu dioperasikan pada interval waktu tertentu untuk mendapatkan nilai tegangan yang optimal, Sehingga peralatan listrik yang disuplai oleh baterai dapat bekerja dengan baik.

Gambar 7 merupakan grafik hubungan nilai SOC dan waktu pada proses pengosongan. Dari grafik yang didapatkan, dapat diketahui bahwa hubungan antara nilai SOC terhadap waktu pada siklus pengosongan adalah berbanding terbalik. Semakin lama baterai digunakan maka semakin banyak muatan yang di gunakan, sehingga SOC baterai akan semakin berkurang.

Grafik hasil pengujian ini menunjukkan hubungan nilai tegangan baterai dengan nilai SOC baterai. Dari grafik tersebut dapat dilihat nilai tegangan baterai cenderung memiliki penurunan nilai yang tidak terlalu signifikan, dengan nilai tegangan baterai berkisar 11V-12V yang terjadi ketika SOC baterai bernilai 60%-100%. Namun tegangan baterai akan mengalami penurunan yang cukup signifikan (hingga mencapai 8V) ketika SOC baterai berada di bawah 50%. Dari ulasan di atas, grafik tersebut dapat dijadikan acuan dalam pengoperasian baterai sebagai media penyimpan energi. Mengingat baterai ketika dioperasikan di bawah SOC 40% akan memiliki nilai tegangan yang rendah, sehingga

akan mempengaruhi kinerja dari peralatan yang ada. Selain itu pengoperasian baterai dengan DOD (Depth of discharge) yang terlalu besar akan mempengaruhi lifetime dari baterai itu sendiri. Dalam implementasinya, Semakin besar nilai DOD yang digunakan maka lifetime baterai akan semakin menurun.

Gambar 8 merupakan grafik hubungan nilai tegangan dan SOC baterai yang di dapatkan pada proses pengosongan. Dalam proses pengosongan ini, initial SOC dari baterai adalah 100%, dari grafik yang dihasilkan pada proses pengosongan, semakin sedikit muatan yang ada pada baterai maka nilai SOC baterai akan semakin kecil. Sehingga hubungan antara total muatan pada baterai dengan SOC baterai adalah berbanding lurus.

Gambar 9 merupakan grafik hubungan antara jumlah muatan dengan SOC baterai pada proses pengosongan. Dalam pengoperasian nilai arus discharge baterai tidak selalu memiliki nilai yang konstan, hal ini dipengaruhi oleh nilai tegangan pada baterai. Semakin lama baterai digunakan maka tegangan baterai akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai arus discharge akan menurun dari kondisi awal. Sehingga pengoperasian baterai pada interval tegangan tertentu sangat dibutuhkan untuk menjaga nilai arus yang konstan. Gambar 10 merupakan grafik nilai arus discharge selama proses pengosongan.

D. Hasil Hitungan SoC baterai dengan penambahan Kalman Filter

1) Grafik Perbandingan SoC Terhitung Dengan Metode CC dan EKF

Dalam pengoprasiannya terhitung dalam grafik perbandingan antara metode Coulomb Counting dengan metode Extended Kalman Filter menggunakan program dan perhitungan di Matlab yang disajikan pada Gambar 11.

2) Grafik Perbandingan Hasil Fitting dan Data

Pada Gambar 12 terlihat perbandingan grafik perbandingan hasil fitting dan data yang diperoleh dalam variable tegangan Open Circuit atau Vocv

$$V_{ocv} = a_1 \cdot SOC_i + b_1$$

$$a_1 = 0.1077$$

$$b_1 = 11.5468$$

3) Grafik Error SoC Coulomb Counting dan Kalman Filter

Pada Gambar 13, dalam grafik terlihat hasil error yang didapat antara metode Coulomb Counting dan Kalman Filter dengan rata rata error hanya sebesar 1.326%.

V. KESIMPULAN

Dari keseluruhan simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan data dari baterai QuickStart-QS GTZ5S 12V 5Ah lalu dihitung nilai estimasi State of Charge menggunakan metode Coulomb Counting lalu dibandingkan dengan Metode Extended Kalman Filter. Dapat dilihat perbedaan yang sangat kecil atau dapat dibilang tingkat keakuratan dari metode EKF ini sangatlah tinggi. Jika dibandingkan dengan metode konvensional dalam perhitungan SOC pada Energy Management System Hybrid Electrical Vehicle atau EMS mobil listrik hibrida yang menggunakan metode Coulomb Counting, metode Extended Kalman Filter dinilai lebih akurat dengan tingkat error yang lebih rendah. Dari kesimpulan yang telah didapatkan diharapkan hasil dari penilitaian ini dapat digunakan untuk diteliti lebih lanjut dalam penggunaan metode Extended Kalman Filter untuk mengukur estimasi State of Charge mobil hibrida elektrik, yang dimana dapat mengganti metode konvensional yaitu Coulomb Counting karena dinilai kurang efisien jika dibandingkan dengan metode Extended Kalman Filter yang dimana mendapatkan hasil error hanya sebesar 1.326%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhang, C. Guo, G. Li, B. Liu, "Cooperative control strateg for plug-in hybrid electric vehicles based on a hierarchical framework with fast calculation," *Journal of Cleaner Production*, vol. 251, p. 119627, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119627
- [2] J. Moreno, M. E. Ortuzar and J. W. Dixon, "Energy-management system for a hybrid electric vehicle, using ultracapacitors and neural networks," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 2, pp. 614-623, 2006.
- [3] Jiang, Chenguang & Taylor, "Extended Kalman Filter Based Battery State of Charge (SoC) Estimation for Electric Vehicles," in *IEEE Transportation Electrification Conf. and Expo*, pp. 1-5, 2013. doi: 10.1109/ITEC.2013.6573477.
- [4] S. Sepasi, R. Ghorbani, B. Y. Liaw, "Inline state of health estimation of lithium-ion batteries using state of charge calculation," *Journal of Power Sources*, vol. 299, pp. 246-254, 2015.
- [5] K. S. Ng, C. S. Moo, Y. P. Chen, "Enhanced coulomb counting method for estimating state of charge and state of health of lithium-ion batteries," *Applied Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 1506-1511, 2009.
- [6] P. S. Madhukar and L. B. Prasad, "State Estimation using Extended Kalman Filter and Unscented Kalman Filter," *2020 in International Conf. on Emerging Trends in Communication, Control and Computing (ICONC3)*, pp. 1-4, 2020. doi: 10.1109/ICONC345789.2020.9117536.
- [7] D. Basak, A. Tiwari, and S. P. Das, "Fault Diagnosis and Condition Monitoring of Electrical Machines - A Review," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2006, pp. 3061-3066. doi: 10.1109/ICIT.2006.372719.
- [8] M. F. M. Sabri, K. A. Danapalasingam, "A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 1433-1442, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2015.09.036.