

# BAB 1

## USULAN GAGASAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini perkembangan teknologi telah berkembang sangat pesat salah satunya di bidang otomotif. Banyak pabrikan otomotif aktif mengembangkan kendaraannya, yang tadinya kendaraan berbahan bakar minyak menjadi listrik. Kendaraan listrik membutuhkan baterai sebagai pemasok listriknya [1]. Baterai adalah perangkat yang memungkinkan kita menyimpan energi listrik untuk digunakan sesuai dengan kebutuhan dan dapat dengan mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain. 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 katoda dan elektrolit membutuhkan elektron. Elektron sisa yang terbentuk dari reaksi antara anoda dan elektrolit dikirim ke katoda untuk bereaksi dengan elektrolit, menghasilkan listrik dari baterai [2]. Seringkali proses pengisian baterai pada perangkat elektronik akan melebihi kapasitasnya sehingga menyebabkan *overcharging*, dan penggunaan daya yang terlalu banyak akan menyebabkan baterai mengalami *overdischarge*. Selain itu, hingga saat ini kebanyakan orang belum mengetahui kualitas baterai yang digunakan, sehingga perlu dilakukan pemantauan baterai untuk mengetahui kinerja baterai. Beberapa faktor mempengaruhi kinerja baterai, termasuk kapasitas dan daya keluaran. Misalnya dibandingkan dengan baterai baru, kapasitas baterai yang disimpan berkurang, hal ini disebabkan pengaruh suhu dan waktu penyimpanan yang lama [3]. Sementara itu, baterai yang digunakan dalam kendaraan listrik memiliki batas waktu penggunaan sekitar 10 sampai 15 tahun sehingga akan menjadi limbah di masa yang akan datang. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang bisa mengoptimalkan dan mengevaluasi kinerja baterai untuk memperpanjang masa pakainya. *Battery Management System* adalah sistem yang dirancang untuk memantau kinerja baterai untuk menghindari kemungkinan baterai beroperasi di luar spesifikasi seperti pengisian daya yang berlebihan atau pemakaian yang berlebihan [4].

Dalam perancangan *Battery Management System* (BMS), keakuratan pengukuran SoC adalah salah satu aspek terpenting. Estimasi SoC yang akurat tidak hanya dapat melindungi

baterai, mencegah pengisian berlebih, dan memperpanjang masa pakai baterai, tetapi juga memungkinkan aplikasi mengembangkan strategi kontrol yang masuk akal untuk menghemat daya [5]. SoC adalah indikator yang mewakili muatan yang tersedia disimpan dalam baterai dibandingkan dengan muatan kapasitas penuh baterai, indikator diberikan oleh persentase dari muatan saat ini ke seluruh total muatan [6]. Keakuratan SoC dapat bervariasi dengan jenis baterai yang digunakan. Baterai lithium ion dikenal baik di industri kendaraan listrik untuk estimasi SoC karena karakteristiknya yang menguntungkan dari pengisian cepat, tegangan tinggi, kepadatan energi tinggi, dan siklus umur panjang [7]. NMC ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) merupakan salah satu jenis baterai litium-ion yang memiliki kombinasi 3 logam utama yaitu nikel-mangan-kobalt dengan komposisi relative sama. LiNMC adalah jenis baterai yang banyak digunakan dalam aplikasi kendaraan listrik karena kinerjanya yang unggul dalam hal siklus hidup yang panjang dan kapasitas energi yang tinggi [8]. Selain itu, baterai LiNMC termasuk kategori yang sangat baik dalam hal tegangan, daya, dan energi. Sehingga dapat dikatakan baterai LiNMC merupakan jenis baterai yang ideal dalam melakukan pendekatan estimasi SoC.

Dalam melakukan pendekatan SoC banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode yang andal dalam estimasi SoC. Meskipun banyak metode estimasi SoC telah dipamerkan dan diklasifikasikan, solusi estimasi SoC yang akurat, efisien, dan andal masih diperlukan dalam aplikasi waktu nyata. Metode estimasi SoC dibagi menjadi lima kategori yaitu metode *Open Circuit Voltage (OCV)*, metode berbasis spektroskopi impedansi, metode berbasis jaringan syaraf tiruan, metode penghitungan *coulomb* dan metode berbasis model. Metode OCV bergantung pada hubungan antara SoC dan OCV. Waktu relaksasi baterai yang lama untuk mengukur OCV membuatnya tidak praktis untuk sebagian besar estimasi SoC online. Spektroskopi impedansi sulit diukur secara akurat, sementara jaringan syaraf tiruan terkait erat dengan sampel pelatihan [9]. Perhitungan *coulomb* merupakan salah satu metode estimasi SoC yang paling banyak digunakan dan mudah diterapkan [10]. Metode penghitungan *coulomb* menghitung SoC melalui integrasi arus, dan memiliki efisiensi komputasi yang tinggi. Keakuratan metode penghitungan *coulomb* peka terhadap SoC awal dan akumulasi kesalahan pengukuran arus. Secara umum, estimator SoC berbasis model seharusnya memiliki kinerja yang unggul. Selain itu, metode berbasis model sering digunakan untuk area estimasi SoC karena akurasi dan ketahanannya yang baik [9].

Sistem *digital twin* adalah representasi virtual yang berfungsi sebagai mitra digital real-time dari objek atau proses fisis. Dalam kasus baterai, *digital twins* digunakan untuk

melengkapi BMS dengan daya komputasi tinggi dan kemampuan penyimpanan data, keandalan, dan akurasi [11]. Pada penerapan *Battery Management System* berbasis *digital twins* dilakukan dengan menggabungkan data baterai asli dan model virtual. *Digital twin* juga merupakan model virtual yang dapat membantu manusia mengumpulkan informasi prediktif dan mengandalkan data akurat untuk membuat keputusan yang memengaruhi optimalisasi kinerja baterai. Oleh karena itu, berangkat dari permasalahan diatas dan mengacu pada metode estimasi SoC terbaik yang akan digunakan pada capstone design ini, kami mengangkat topik investigasi model dan keseimbangan keadaan baterai pada sistem manajemen baterai berbasis *digital twin*.

## 1.2 Informasi Pendukung Masalah

Pada baterai terdapat sel listrik yang berfungsi menyimpan energi listrik ke dalam bentuk energi kimia. Selain itu, terdapat dua elektroda yang tersimpan di dalam baterai yaitu elektroda positif yang disebut dengan anoda dan elektroda positif yang disebut dengan katoda. Pada baterai terjadi proses reaksi kimia yang menghasilkan elektron. Elektron pada baterai mengalir melalui kabel kemudian bergerak dari kutub negatif ke kutub positif pada saat terjadinya proses reaksi kimia [12]. Saat anoda dan elektrolit bereaksi, maka terbentuklah satu senyawa baru yang menyimpan satu elektron. Begitu pula sebaliknya, reaksi antara katoda dan elektrolit membutuhkan satu elektron. Sisa elektron yang terbentuk dari reaksi anoda dan elektrolit dikirim ke katoda agar bereaksi dengan elektrolit sehingga terbentuklah aliran listrik dari sebuah baterai [13].

Pada sebuah baterai terdapat dua siklus yaitu pengisian dan pengosongan. Proses pengisian baterai terjadi dimana arus listrik mengalir dari sumber listrik ke baterai. Arus yang masuk ke baterai sama dengan selisih antara tegangan baterai dan muatan dibagi dengan resistansi baterai. Selama pengisian, sel-sel terhubung dengan sumber listrik, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif untuk katoda. Pada proses pengosongan baterai proses pemindahan energi terjadi dari baterai ke beban. Elektron mengalir melalui muatan dari elektroda negatif ke elektroda positif, kemudian ion negatif mengalir ke elektroda positif dan ion positif mengalir ke elektroda negatif [2]. Proses pengisian dan pengosongan baterai berfokus pada sistem monitoring baterai, yang berfungsi menjaga kondisi baterai saat sedang diawasi, misalnya memperhatikan kapasitas baterai agar tidak sampai habis dan dilakukan pengisian pada kapasitas baterai tersebut [13]. Kapasitas baterai dalam ampere jam ( $Ah = \text{kuat arus/ampere} \times \text{waktu/hour}$ ), berarti baterai dapat menghantarkan rata-rata sejumlah isi tertentu

sebelum setiap sel mencapai penurunan tegangan (*voltage drop*) yaitu sebesar 1,75 Volt (setiap sel memiliki tegangan 2 Volt, jika digunakan tegangan akan terus turun dan daya efektif dikatakan habis ketika tegangan sel mencapai 1,75 volt), dalam keadaan ini baterai perlu diisi ulang [14]. Parameter waktu dan arus berpengaruh dalam proses pengisian dan pengosongan baterai. Pengosongan arus yang rendah dapat mengakibatkan waktu pengosongan yang lama atau kapasitas yang lebih tinggi. Misalnya, baterai 12V 75Ah dapat digunakan selama 20 jam jika arus rata-rata yang digunakan dalam 1 jam adalah 3,75 Amp ( $75\text{Ah}/20\text{j}$ )[14]. Untuk menentukan berapa kapasitas baterai yang akan digunakan, [15]:

$$Ah \text{ yang diperlukan} = E_k / (V \times PF) \quad (1.1)$$

dimana,

Ah = Kapasitas baterai yang diperlukan (Ah)

Ek = Energi yang dibutuhkan (Watt)

V = Tegangan Baterai (Volt Dc)

PF = *Power Factor*

Dalam sistem monitoring baterai, ada parameter yang digunakan untuk mengestimasi masa hidup baterai yaitu *State of Charge* dan *Depth of Discharge*. Nilai SoC adalah nilai yang mengartikan kapasitas baterai yang tersedia atau dapat digunakan, sedangkan DoD adalah nilai kebalikan dari SoC, yaitu nilai kapasitas yang digunakan, dan biasanya SoC dan DoD dinyatakan dalam persentase.

a. *State of Charge*

*State of Charge* didefinisikan sebagai sisa kapasitas baterai dalam persen. Status pengisian daya merupakan parameter yang sangat penting untuk performa baterai karena bagian dalam baterai tidak dapat dijangkau sehingga SoC tidak dapat diukur secara langsung. Salah satu cara untuk melakukannya adalah memperkirakan variasi dalam pengukuran baterai, seperti tegangan dan arus. Informasi SoC yang akurat sangat penting untuk menentukan masa pakai baterai [13].

b. *Depth of Discharge*

*Depth of Discharge* adalah peraturan yang membatasi kedalaman debit maksimum yang dapat diterapkan pada baterai. Pengaturan DoD berperan dalam menjaga daya tahan baterai. Semakin dalam penerapan DoD pada baterai, semakin pendek masa pakai

baterai. Di bawah ini adalah tabel yang menunjukkan hubungan antara DoD dan masa pakai baterai [15] [9]:

**Tabel 1. 1 Hubungan antara DoD dan usia pakai baterai**

<i>Depth of Discharge (DoD)</i>	Usia Baterai (Cycle)
10 %	6200
20 %	5200
30 %	4400
40 %	3700
50 %	3000
60 %	2400
70 %	2000

### **1.3 Analisis Umum**

#### 1.3.1 Aspek Ekonomi

Jika dikaitkan dengan aspek ekonomi, biaya perawatan yang harus dikeluarkan pada suatu perangkat yang menerapkan sistem *digital twin* akan lebih rendah. Karena dengan mengetahui status sistem secara real time, kita dapat mengetahui apakah sistem tersebut membutuhkan perawatan atau tidak dan pada peralatan mana saja sistem tersebut memerlukan perawatan, sehingga perawatan hanya dilakukan pada bagian-bagian yang diperlukan saja.

#### 1.3.2 Aspek Keberlanjutan (*sustainability*)

Keberlanjutan dari hasil yang diharapkan dalam *capstone* desain ini adalah perangkat yang menerapkan sistem *digital twin* dapat menganalisis keadaan baterai sehingga dapat diaplikasikan dalam mengoptimalkan kinerja baterai, dalam hal ini digunakan sebagai pengembangan dari baterai *analyzer* yang sudah ada dan sebagai inovasi mengenai pengendalian *discharging* baterai.

#### 1.3.3 Aspek Keandalan (*reliability*)

Jika dikaitkan dengan aspek *reliability*, perangkat yang menerapkan sistem *digital twin* dapat meningkatkan keandalan sistem atau perangkat yang mereka gunakan. Sistem properti atau peralatan dapat diketahui berfungsi dengan baik tanpa kegagalan dalam kondisi operasi

tertentu dan dalam jangka waktu tertentu karena kinerjanya dapat dipantau melalui perangkat digital.

#### 1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Sistem berbasis *digital twin* baterai akan merepresentasikan sekaligus memetakan aset dunia nyata (objek fisis) dan dunia digital (objek digital) dalam bentuk data. Data yang dihasilkan berasal dari pengukuran estimasi SoC menggunakan *coulomb counting* dan estimasi SoC menggunakan metode *model based*. Data yang dibutuhkan berupa nilai tegangan, arus, kapasitas dan nilai SoC yang dihasilkan dari proses pengosongan (*discharging*) baterai Lithium Ion NMC. Kemudian data yang dihasilkan membutuhkan tools berupa *software* yang dapat mengolah sekaligus memvisualisasikan data ke dalam bentuk kurva dan hasil perhitungan. Matlab dan *google colab* merupakan sebuah software yang dibutuhkan untuk mengolah dan memvisualisasikan data estimasi SoC dari metode *coulomb counting* dan *model based*. Untuk bisa mengoptimalkan, mengevaluasi dan melakukan pengawasan fungsi kerja baterai metode estimasi yang digunakan harus memiliki akurasi yang tinggi dan *error* yang kecil.

#### 1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

Solusi yang diusulkan untuk mengoptimalkan kinerja sistem baterai adalah dengan melakukan estimasi state of charge menggunakan metode *coulomb counting* dan metode *model based*.

##### 1.5.1 Karakteristik Produk

##### 1.5.1.1 Produk Estimasi *State of Charge* Pada Baterai Lithium NMC Menggunakan Metode *Coulomb Counting*

###### a. Fitur utama

Metode *coulomb counting* merupakan salah satu metode estimasi SoC yang paling banyak digunakan dan mudah diterapkan untuk mengatasi permasalahan pengisian baterai yang sering kali mengalami kondisi *overdischarge* dan *overcharge*. Fitur utama dari produk ini yaitu menghitung nilai SoC dengan menggunakan algoritma atau persamaan *coulomb*.

###### b. Fitur dasar

Pada produk *coulomb counting* ini fitur dasar yang harus dipenuhi adalah nilai tegangan, arus dan kapasitas baterai yang diperoleh. Arus listrik dihasilkan dari sejumlah muatan yang bergerak dalam satuan waktu (detik). Dengan mengintegrasikan arus yang mengalir dalam baterai sebagai fungsi waktu, kita mendapatkan muatan total

yang masuk atau keluar dari baterai. Pada metode ini, nilai kapasitas baterai dalam Ah ditentukan sebelum menghitung nilai SoC [13].

c. Fitur tambahan

Pada produk estimasi SoC menggunakan *coulomb counting* ini selain memperkirakan nilai SoC, dilakukan juga sistem monitoring baterai melalui proses pengisian, proses pengosongan dan proses akuisisi data tegangan, arus serta nilai SoC. Sistem monitoring baterai ini berfungsi menjaga kondisi baterai yang sedang diawasi, misalnya memperhatikan kapasitas baterai agar tidak sampai habis.

d. Sifat solusi yang diharapkan

Dengan adanya produk estimasi SoC menggunakan metode *coulomb counting* ini, diharapkan dapat memudahkan para pengguna untuk memperkirakan nilai SoC dan melakukan monitoring pada baterai. Selain itu, algoritma atau persamaan coulomb yang tidak membutuhkan biaya apapun dalam penerapannya sehingga pengguna akan lebih mudah dalam mengaplikasikannya.

#### 1.5.1.2 Produk Estimasi *State Of Charge* Pada Baterai Lithium NMC Menggunakan Metode *Model Based*

a. Fitur utama

Metode *Model Based* merupakan salah satu metode estimasi SoC yang terkenal untuk mengatasi permasalahan pengisian baterai yang sering kali mengalami kondisi *overdischarge* dan *overcharge*. Fitur utama dari produk ini adalah model estimasi SoC yang akurat.

b. Fitur dasar

Pada metode ini fitur dasar yang harus dipenuhi adalah model baterai dan algoritma estimasi. Dalam struktur estimasi SoC metode *model based*, model baterai dibuat untuk memprediksi tegangan terminal, arus dan SoC. Penyimpangan antara keluaran model baterai dan tegangan terminal dapat digunakan untuk memperbaiki SoC pada setiap waktu pengambilan sampel.

c. Fitur tambahan

Pada produk estimasi SoC menggunakan metode *model based* ini juga dilakukan proses monitoring dengan menggunakan data driven. Monitoring ini berfungsi untuk memperkirakan kondisi baterai yang sedang diawasi dan memperkirakan nilai tegangan serta SoC yang akan dihasilkan melalui kurva pengisian dan pengosongan baterai.

d. Solusi yang diharapkan

Dengan adanya produk estimasi SoC menggunakan metode *model based* ini, diharapkan dapat memudahkan para pengguna dari segi fleksibilitas untuk memperkirakan nilai SoC dan melakukan monitoring pada baterai. Selain itu, produk estimasi SoC menggunakan metode *model based* ini tidak membutuhkan perawatan yang intensif sehingga memudahkan para pengguna dalam mengaplikasikannya.

1.5.2 Skenario Penggunaan

1.5.2.1 Skema produk Estimasi *State Of Charge* Pada Baterai Lithium NMC Menggunakan Metode *Coulomb Counting*

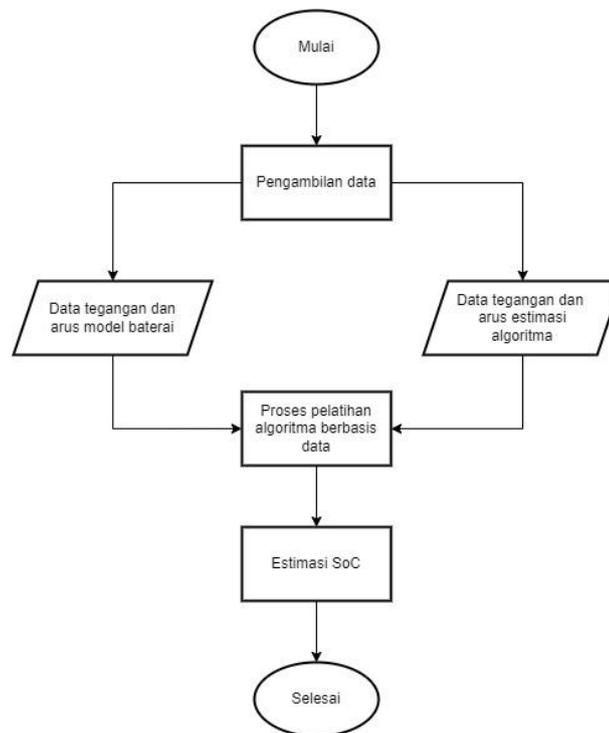


Gambar 1. 1 *flowchart* alur *coulomb counting*

Produk Estimasi SoC menggunakan metode *coulomb counting* ini dimulai dengan pengumpulan data terlebih dahulu dari sistem monitoring yang ada dan mengecek fungsional sistem untuk memastikan sistem berfungsi dengan semestinya. Dalam tahap pengumpulan data, data yang diambil adalah nilai tegangan dan arus. Kemudian data berupa nilai tegangan

dan arus yang dihasilkan digunakan untuk menghitung nilai kapasitas baterai. Setelah nilai kapasitas baterai didapatkan, langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan nilai SoC dengan menggunakan algoritma atau persamaan coulomb.

#### 1.5.2.2 Skema produk Estimasi *State of Charge* Pada Baterai Lithium NMC dengan menggunakan metode *Model Based*



**Gambar 1. 2** Flowchart alur model based

Pada Estimasi SoC dengan menggunakan model, data diambil dari dua sumber yaitu dari model baterai yang sudah dibuat sebelumnya dan dari data yang sudah diolah dengan estimasi algoritma. Data yang diambil sebagai input biasa diantaranya nilai tegangan terminal, dan arus. Dari data yang diperoleh untuk dapat secara langsung mencerminkan hubungan *input* dan tegangan terminal model berbasis data dibuat melalui proses pelatihan algoritma berbasis data sehingga proses pemodelannya jauh lebih mudah dan menghasilkan estimasi SoC yang akurat.

## 1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

*Battery Management System* adalah sistem yang dirancang untuk memantau kinerja baterai untuk menghindari kemungkinan baterai beroperasi di luar spesifikasi seperti pengisian daya yang berlebihan atau pemakaian yang berlebihan. Dalam mengatasi permasalahan yang ada pada baterai yaitu *overcharging* dan *overdischarging* maka dicarilah solusi yang dapat

mengatasi permasalahan tersebut dimana hal ini berkaitan erat dengan SoC baterai berbasis *digital twin*. Dua solusi yang diajukan yaitu dengan metode Perhitungan *coulomb counting* dan metode *model based*. Sistem berbasis *digital twin* merupakan proses analisis lanjutan menghubungkan dunia nyata (objek fisis) dan dunia digital (objek digital). Metode pertama yaitu metode *coulomb counting* digunakan untuk memonitoring baterai dan menentukan nilai *State of Charge* menggunakan persamaan *coulomb* dengan menghitung jumlah arus listrik yang mengalir masuk dan keluar pada baterai. Metode kedua yaitu metode *model based* dimana pada metode estimasi SoC ini terdiri dari dua bagian utama yaitu data yang berasal dari model baterai dan algoritma estimasi. Kemudian pada penerapannya metode model ini melibatkan algoritma data driven dalam perhitungan estimasi SoC untuk menghasilkan nilai SoC yang akurat.