

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Battery Array* pada Sistem *Photovoltaic*

Sistem *photovoltaic* menghasilkan energi listrik dari hasil konversi sinar matahari. Sistem *photovoltaic* menggunakan mekanisme penyimpanan energi untuk memastikan bahwa energi yang dihasilkannya selalu tersedia pada waktu malam ketika matahari tidak menyinari modulnya.

Baterai adalah bagian dari sistem *photovoltaic* yang menghasilkan energi dari modul *photovoltaic* sepanjang hari. Kemudian energi listrik digunakan pada malam hari dan ketika cuaca mendung. Dalam sistem *photovoltaic*, baterai mengalami siklus *charging* dan *discharging* sesuai dengan jumlah sinar matahari yang tersedia [1]. Kinerja sistem *photovoltaic* tergantung pada desain baterai dan kondisi operasi serta pemeliharaan baterai yang membantu untuk memiliki gagasan tentang pemilihan baterai, peringkat dan perawatan baterai untuk aplikasi *photovoltaic* [18].

2.2 Klasifikasi Baterai pada *Battery Array*

Baterai dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama klasifikasi baterai, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang dan hanya dapat digunakan sekali pakai, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berkali-kali karena dapat diisi ulang (*rechargeable*).

Baterai sekunder memiliki kemampuan untuk diisi ulang karena reaksi elektrokimianya yang bersifat *reversible*. Proses *discharging* baterai ini dapat mengonversi energi kimia menjadi energi listrik, memungkinkan perangkat yang terhubung untuk berfungsi, sebaliknya saat proses *charging*, energi listrik diserap oleh baterai dan diubah kembali menjadi energi kimia, yang kemudian disimpan untuk digunakan pada siklus berikutnya. Keunggulan inilah yang membuat baterai sekunder menjadi komponen penting dalam banyak aplikasi energi, dalam sistem yang memerlukan sumber daya yang dapat diisi ulang secara berulang kali [19].

2.3 Performa baterai VRLA

Baterai VRLA memiliki performa yang andal dalam sistem cadangan daya dengan desain tertutup yang memungkinkan pengoperasian tanpa pengisian air secara rutin. Performa baterai dapat menurun akibat korosi dan sulfasi negatif, yang mengurangi kapasitas penyimpanan dan meningkatkan resistansi internal. SOC digunakan untuk memantau kapasitas tersisa, yang penting untuk menghindari *overcharge* atau *overdischarge* [14].

Baterai jenis VRLA yang disimulasikan dalam 1 tahun sehingga nilai arus pada saat *charging* dan *discharging* terlihat. Selain itu, performa ini menentukan nilai SOC terhadap DOD baterai. Nilai DOD terlihat ketika menghitung kapasitas baterai pada kondisi otonom. Sehingga, baterai ini dianalisis lebih lanjut kinerja dan diprediksi penurunan performanya dalam 1 tahun ke depan [12].

2.4 Performa Baterai *Lithium-ion*

Baterai *lithium-ion* adalah jenis baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya seperti baterai Ni-Cd dan Ni-MH yang telah berkembang lebih dahulu. Baterai ini memiliki banyak keunggulan dibandingkan baterai sekunder jenis lain, seperti berat yang lebih ringan, stabilitas penyimpanan energi yang luar biasa bertahan hingga 10 tahun atau lebih, energi densitas yang tinggi, dan tidak ada efek memori, baterai ini dapat digunakan dengan cara yang lebih baik daripada baterai jenis lain [2].

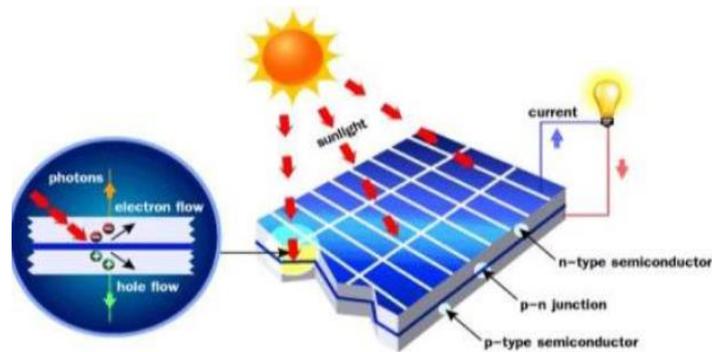
Baterai *lithium-ion* terbagi menjadi beberapa jenis bergantung pada jenis komposisi bahannya. Hal tersebut berpengaruh terhadap kemampuan setiap jenis baterai *lithium-ion*. Beberapa jenis baterai *lithium* yaitu *Nickel Cobalt Aluminum Oxide* (NCA), *Nickel Manganese Cobalt Oxide* (NMC), dan lain-lain. Pada penelitian ini dilakukan analisis performa spesifikasi baterai *lithium-ion* kemudian didapatkan nilai kepadatan energi 890 Wh/kg, kemudian tegangan per sel 3 V lalu *discharge* 3 V dan *charging* 4,3 V dengan siklus 500 s.d. 2000 [5].

Baterai *lithium-ion* berkinerja tinggi dari empat aspek, termasuk bahan katoda, bahan anoda, elektrolit, dan pemisah. Secara sistematis membahas struktur dan masalah komponen penting ini serta strategi untuk meningkatkan performanya. Tantangan utamanya dan perspektif masa depan untuk membangun baterai *lithium-*

ion dengan kinerja elektrokimia tinggi juga diusulkan [20].

2.5. Modul Surya

Beberapa sel surya membentuk modul surya, masing-masing disebut *array*, dan proses mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik disebut foto efek listrik. Pada suatu sel surya, radiasi matahari terdiri dari partikel cahaya sebagai pembawa energi dan *voltage* atau tegangan. Sel surya terdiri dari dua lapisan semikonduktor yang masing-masing memiliki muatan yang berbeda. Ini berarti bahwa bermuatan negatif dan bermuatan positif muncul pada saat yang sama. Salah satu bahan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam sel surya adalah silikon. Energi foton yang dilepaskan dari sel surya melepaskan elektron dari ikatan atom silikon, memungkinkan elektron untuk bergerak bebas pada lapisan atas dan menciptakan perbedaan potensial (tegangan) yang dapat menghasilkan arus listrik jika dihubungkan dengan beban (lampu) [4]. Berikut merupakan ilustrasi efek *photovoltaic* pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Efek *photovoltaic*

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa modul surya merupakan perangkat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi energi listrik. Sel surya mengandalkan efek *photovoltaic* untuk meresap energi matahari dan mengakibatkan arus mengalir di antara material modul surya [21]. Daya listrik yang telah dibangkitkan oleh modul surya digunakan untuk mengisi baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC).

2.6. *Monocrystalline*

Panel surya *monocrystalline* dikenal karena efisiensinya yang tinggi dan warna hitamnya yang khas, yang berasal dari penggunaan silikon murni. Panel ini dibuat dari satu kristal silikon tunggal, memungkinkan elektron bergerak lebih bebas dan meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari menjadi listrik. Dibandingkan dengan jenis panel lainnya, panel *monocrystalline* memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi, sehingga ideal untuk lokasi dengan ruang terbatas. *Output* energi sangat penting, berkinerja lebih baik dalam kondisi cahaya rendah dan memiliki umur yang lebih panjang. Proses produksi lebih kompleks dan mahal yang menyebabkan harga lebih tinggi, efisiensi dan daya tahan panel *monocrystalline* sering membuatnya menjadi pilihan utama untuk sistem tenaga surya baik rumah tinggal maupun komersial [22]. Modul surya *monocrystalline* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Modul Surya *Monocrystalline*

Gambar 2.2 merupakan panel surya *monocrystalline* yang memiliki efisiensi tinggi dan warna hitam khas karena terbuat dari silikon murni, hal ini memungkinkan konversi sinar matahari menjadi listrik secara optimal dan ideal untuk lokasi dengan ruang terbatas. Panel ini menawarkan kinerja unggul dalam kondisi cahaya rendah dan umur panjang, meskipun harganya lebih tinggi.

2.7. *Solar Charge Controller*

SCC bekerja sebagai perangkat untuk mengonversi DC-DC untuk menurunkan tegangan modul surya ke level tegangan baterai. Selain menjaga pemuatan baterai, SCC juga berfungsi untuk mengatur keluar masuknya tegangan

dan arus dari panel surya ke baterai [21]. Salah satu jenis SCC juga dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk mengoptimalkan penangkapan energi. SCC dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Solar Charge Control*

Gambar 2.3 menunjukkan perangkat SCC yang berfungsi mengatur arus dan tegangan dari panel surya ke baterai. Alat ini dirancang untuk mencegah baterai dari pengisian berlebih yang dapat merusak komponen baterai, serta menghindari *overdischarge* yang dapat memperpendek masa pakai baterai. SCC memantau dan menyesuaikan aliran daya secara otomatis untuk memastikan baterai bekerja pada tingkat optimal. Pada sistem *photovoltaic*, SCC sangat penting untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Penggunaannya juga membantu memperpanjang usia baterai, sehingga memaksimalkan investasi dalam teknologi energi terbarukan.

2.8 Karakteristik Baterai *Lithium-ion*

Baterai *lithium-ion* adalah jenis baterai sekunder yang dapat diisi ulang. Baterai *lithium-ion* memiliki karakteristik yaitu dapat menyimpan energi dengan sangat stabil untuk waktu yang lama, mungkin 10 tahun atau lebih. Sel *lithium-ion rechargeable* memiliki energi densitas yang tinggi yaitu sebesar 120 Wh/kg dan daya densitas yang tinggi yaitu sebesar 1800 W/kg dibandingkan baterai jenis lain yang rata-rata energi densitasnya di bawah nilai 100 dan daya densitasnya di bawah nilai 1000, selain itu baterai jenis ini memiliki ukuran yang lebih kecil dan ringkas sehingga menjadi pilihan utama untuk perangkat penyimpanan energi listrik. Baterai ini merupakan jenis baterai isi ulang yang paling populer untuk peralatan

elektronik portabel, karena memiliki salah satu kepadatan energi terbaik, tanpa efek memori, dan mengalami kehilangan isi yang lambat saat tidak digunakan. Selain digunakan pada peralatan elektronik konsumen, sel *lithium-ion* juga sering digunakan oleh industri militer, kendaraan listrik, dan dirgantara. Sejumlah penelitian berusaha memperbaiki teknologi sel *lithium-ion* tradisional, berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan *intrinsic* [21].

2.9. Parameter Baterai

Parameter baterai adalah serangkaian atribut yang digunakan untuk menggambarkan sifat dan kemampuan baterai dalam berbagai kondisi. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai parameter-parameter tersebut:

1. *State of Charge* atau SOC adalah kondisi *charge* dalam baterai atau rasio antara kapasitas sisa dan kapasitas nominal yang dinyatakan dalam persentase (%).
2. *Depth of Discharge* atau DOD adalah jumlah energi yang digunakan dari baterai. Ini adalah kebalikan dari SOC. Spesifikasi baterai menyatakan bahwa siklus hidupnya mungkin lebih besar dari 1500 siklus dengan DOD 80%, artinya hal tersebut hanya akan terjadi jika penggunaan energi tidak melebihi 80% dari kapasitas nominalnya.
3. SOH adalah rasio kondisi baterai saat ini terhadap kondisi ideal atau kapasitasnya ketika masih baru. SOH dinyatakan dalam persentase (%). Salah satu alasan turunnya nilai SOH adalah meningkatnya hambatan internal baterai.
4. *C-rate* biasanya menyatakan pengisian atau pemakaian energi yang sama dengan kapasitas baterai dibagi dengan waktu. Sebagai tingkat pemakaian C10 (atau I10) untuk 1000 Ah adalah sebesar 1000/10 atau sebesar 100 A.
5. *Round-trip efficiency* adalah menyatakan rasio antara energi yang digunakan selama pemakaian dan energi untuk mengisi kembali baterai sampai penuh.

2.10. Klasifikasi Baterai

Opsi penyimpanan listrik utama yang sesuai untuk memberi daya pada sistem modern antara lain, perangkat elektrokimia (baterai) menggunakan reaksi kimia untuk menghasilkan daya. Baterai saat ini diklasifikasikan ke dalam kelas yang berbeda dari prinsip, sifat komponen, desain dan kondisi kerja [11]. Klasifikasi secara umum dibagi menjadi sistem yang tidak dapat diisi ulang (primer) dengan sistem yang dapat diisi ulang (sekunder). Beberapa klasifikasi dari jenis baterai dijelaskan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Baterai

Baterai	Jenis	Keterangan
Baterai primer	Sel berair	Sel kering mangan
		Sel kering alkali
		Sel magnesium
	Sel non-berair	Baterai <i>lithium</i> metalik
Baterai sekunder	Sel berair	Baterai timbal-asam
		Baterai Ni-Cd
		Baterai Ni-MH
	Sel non-berair	Baterai <i>lithium</i> polimer
		Baterai <i>lithium-ion</i>

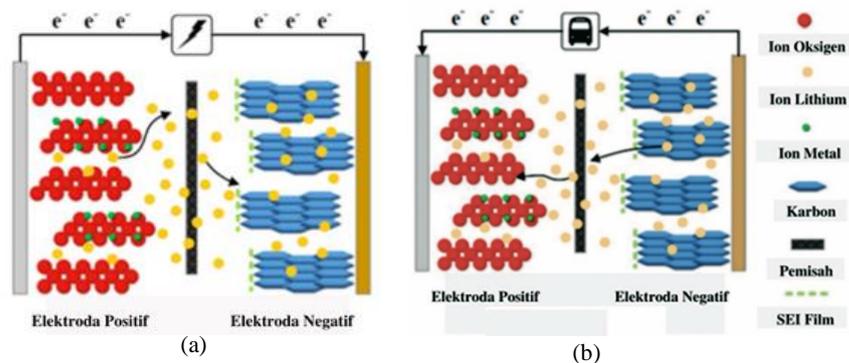
Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi secara sistem yang tidak dapat diisi ulang (primer) dengan sistem yang dapat diisi ulang (sekunder) dibedakan secara sifat. Baterai yang dapat diisi kembali atau tidak ketika SOC baterai 0%, sel berair dengan sel non-berair, sedangkan elektrolit dalam sel basah merupakan cairan yang bergerak bebas.

2.11. Baterai *Lithium-ion*

Moli *Energy* mengembangkan baterai isi ulang pertama (baterai sekunder) pada tahun 1985. Baterai ini didasarkan pada *lithium* (elektroda negatif) dan molibdenum sulfida (elektroda positif) [24]. Selanjutnya tahap pengembangan material baterai ini terus dilakukan hingga masa sekarang.

Struktur dasar dan prinsip kerja baterai *lithium-ion*, elektroda positif dan negatif direndam dalam elektrolit. Pengisian dan pengosongan baterai *lithium-ion* dicapai dengan proses memasukkan dan melepaskan ion *lithium* antara elektroda

positif dan negatif. Gambar prinsip pengisian dan pengosongan baterai dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip Pengisian dan Pengosongan Baterai *Lithium-ion*, (a) pengisian, (b) pengosongan

Gambar 2.4 menjelaskan bahwa saat baterai diisi, ion *lithium* bergerak dari elektroda positif baterai ke elektrolit. Ion *lithium* dalam elektrolit memiliki perbedaan konsentrasi yang besar di dekat elektroda positif dan negatif, ion *lithium* didorong untuk bergerak menuju elektroda negatif, dan akhirnya menanamkan elektroda negatif melalui pemisah. Pada saat yang sama, elektron dalam rangkaian eksternal bergerak dari elektroda positif ke elektroda negatif untuk membentuk arus, mewujudkan proses pengisian. Sehingga elektroda negatif menerima elektron untuk terjadi reaksi reduksi, dan elektroda positif kehilangan elektron untuk menjalani reaksi oksidasi.

2.12 Karakteristik Baterai VRLA

Baterai VRLA merupakan salah satu baterai yang sering digunakan untuk menyimpan energi listrik dengan keunggulan dari baterai VRLA salah satunya yaitu tidak memerlukan perawatan yang rutin dan memiliki *lifetime* yang lebih lama sehingga dapat menghemat dari segi ekonomis. Baterai VRLA ini sangat sesuai untuk sistem *solar cell*, karena dapat *discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama [12]. Bentuk fisik baterai VRLA terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Baterai VRLA

Gambar 2.5 merupakan bentuk fisik dari baterai VRLA, baterai VRLA adalah jenis baterai asam timbal yang tidak memerlukan perawatan rutin, karena memiliki teknologi *valve regulated* untuk mengontrol tekanan gas dan mencegah kebocoran elektrolit. Elektrolit dalam baterai VRLA diserap dalam pemisah atau gel, membuatnya aman untuk digunakan dalam berbagai posisi. Baterai ini biasanya digunakan dalam aplikasi seperti cadangan daya dan penyimpanan energi.

Baterai digunakan untuk menyalakan benda-benda, tingkat energi yang disimpan menurun seiring waktu, oleh karena itu baterai harus diisi ulang. Ada beberapa metode yang berbeda untuk mengisi baterai, salah satunya disebut tegangan konstan arus konstan, atau *Constant Current-Constant Voltage (CC-CV)*. Metode ini dipilih karena membantu mencegah kelebihan daya baterai, yang dapat mengurangi umur baterai. Bagian arus konstan dari pengisian CC-CV digunakan pada awalnya untuk mengisi baterai dengan daya. Tegangan baterai meningkat, itu beralih ke pengisian tegangan konstan sehingga arus mematikan. Menggunakan CC-CV sangat penting untuk menjaga umur panjang baterai, karena membantu menghindari kondisi *overcharge* yang dapat merusak sel-sel baterai. Baterai tidak hanya diisi dengan efisien tetapi juga dilindungi dari kerusakan akibat pengisian yang berlebihan [14].

2.13 Syarat Teknis Baterai

Syarat teknis baterai Menurut standar SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) suatu baterai dapat dikatakan baik yaitu baterai yang mempunyai efisiensi baterai sebesar $>80\%$ dan dapat dikatakan buruk jika

efisiensi dari baterai tersebut <60% [13]. Efisiensi siklus bolak-balik pada baterai sangat penting dalam mempengaruhi kesehatan dan masa pakai baterai, serta biaya operasional sistem penyimpanan energi. Hilangnya energi selama proses penyimpanan dan pelepasan baterai berdampak langsung pada peningkatan biaya operasional. Efisiensi bolak-balik yang rendah menyebabkan hilangnya energi lebih besar, sehingga biaya penggunaan baterai meningkat.

Model baterai timbal-asam yang ada perlu disempurnakan untuk menyimulasikan perilaku baterai dalam susunan baterai yang kompleks. Pembaruan model ini diperlukan untuk memperhitungkan efisiensi bolak-balik dan biaya operasional. Model baterai yang diperbarui memberikan prediksi yang lebih baik tentang kinerja sistem penyimpanan energi dan membantu dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan dan pemeliharaan baterai.

Kontribusi dalam bidang penyimpanan energi melalui penyediaan metode untuk mengadaptasi model baterai yang lebih realistis dan efisien sangat penting. Pengoptimalan desain dan operasi sistem penyimpanan energi diperlukan untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang masa pakai baterai [23].

2.14 Metode Analisis *State of Charge*

SOC baterai dapat ditentukan dengan mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu, yang dikenal sebagai metode modifikasi perhitungan *Coulomb (modified coulomb counting method)*. Metode ini membutuhkan pengukuran arus yang akurat dan dapat terpengaruh oleh akumulasi kesalahan selama proses pengukuran. Kesalahan kecil dalam pengukuran arus dapat terakumulasi seiring waktu, menyebabkan tidak akurat dalam estimasi SOC.

SOC baterai merupakan parameter penting yang menentukan kapasitas energi yang tersisa dalam baterai. Metode modifikasi penghitungan *coulomb* mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu untuk menghitung SOC. Akurasi metode ini sangat bergantung pada keakuratan pengukuran arus dan pengendalian akumulasi kesalahan.

Pemilihan metode yang tepat untuk estimasi SOC baterai menjadi penting, mengingat setiap metode memiliki karakteristik dan tantangan tersendiri. Penggunaan metode yang sesuai dapat membantu dalam pengelolaan dan

pemeliharaan baterai, memastikan performa optimal dan umur panjang dari sistem penyimpanan energi [24].

Keakuratan metode perhitungan *coulomb* sebagai salah satu metode paling sederhana untuk memperkirakan SOC sangat dipengaruhi oleh akurasi sensor. Metode perhitungan *Coulomb* mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu untuk menghitung SOC, namun ketergantungan pada sensor arus yang sangat akurat dapat menyebabkan estimasi jika sensor tidak akurat.

Cara mengatasi masalah akurasi sensor, metode penghitungan *coulomb* berbasis data diusulkan sebagai alternatif. Pendekatan ini mengandalkan analisis data untuk meningkatkan akurasi estimasi SOC, mengurangi ketergantungan pada sensor arus yang sangat akurat, dengan menggunakan data historis dan algoritma pembelajaran mesin, metode ini dapat mengkalibrasi dan memperkirakan SOC dengan lebih akurat meskipun terdapat kesalahan pada sensor arus [25].

Metode penghitungan *coulomb* digunakan untuk mengintegrasikan arus baterai dari waktu ke waktu guna menghitung SOC. Keefektifan metode ini diuji melalui pengukuran eksperimental yang dilakukan menggunakan aplikasi Simulink. Dengan mengukur tegangan dan arus baterai secara akurat, estimasi SOC teoritis dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran eksperimental untuk mengevaluasi keakuratannya.

Pendekatan ini menyoroti pentingnya akurasi dalam pengukuran tegangan dan arus untuk memastikan estimasi SOC yang tepat. Model baterai yang digunakan dalam Simulink membantu dalam memvalidasi metode penghitungan *coulomb* dengan memberikan kerangka kerja secara teori yang dapat dibandingkan dengan data eksperimental. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode penghitungan *coulomb* dapat efektif dalam estimasi SOC, terutama ketika pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan akurat.

Pemilihan metode yang tepat untuk estimasi SOC, seperti metode penghitungan *coulomb*, sangat penting dalam memastikan performa optimal dan umur panjang baterai pada kendaraan listrik hibrida. Metode ini, ketika divalidasi melalui pengukuran eksperimental dan model Simulink, dapat memberikan estimasi SOC yang andal dan berguna untuk manajemen dan pemeliharaan baterai *lead acid* dalam aplikasi kendaraan listrik hibrida [26].

Efisiensi operasi baterai dapat dievaluasi melalui pengukuran efisiensi *coulomb*. Metode ini menggunakan *Coulomb Counting*, yang didefinisikan sebagai rasio jumlah muatan yang masuk ke baterai selama proses pengisian dibandingkan dengan jumlah muatan yang dapat diekstraksi selama pemakaian, dengan menggunakan metode ini, kita dapat memperoleh gambaran yang akurat mengenai seberapa efektif baterai dalam menyimpan dan melepaskan energi listrik [27]. Perhitungan nilai estimasi SOC sangat penting untuk aplikasi baterai energi hijau karena dapat mencegah sistem mengalami gangguan dan mencegah baterai dari *overcharge* dan *overdischarge*, yang dapat menyebabkan kerusakan [28].

2.15 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian telah membuat penelitian, seperti penelitian tentang penggunaan baterai *lithium-ion* pada PLTS, sebagai perbandingan dan sumber informasi penelitian, seperti penelitian tentang penggunaan baterai *lithium-ion* pada PLTS. Baterai *lithium-ion* kapasitasnya yang luas, baterai ini dapat menghasilkan *output* yang lebih besar dan lebih cepat. Baterai *lithium-ion* memiliki tingkat DOD antara 30% dan 40% diperlukan, dengan hanya 10% DOD per siklus, umur siklus menjadi lima kali lebih lama daripada dengan 50% DOD, sehingga disimpulkan pada penelitian ini baterai *lithium-ion* memiliki kapasitas yang luas, baterai ini dapat menghasilkan *output* yang lebih besar dan lebih cepat [29].

Penelitian selanjutnya performa baterai VRLA pada sistem PLTS dengan beban lampu 100 watt selama 24 jam. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata arus *charging* baterai dalam satu tahun mencapai 90.603,9 A, sedangkan arus *discharging* sebesar 85.834,3 A. Nilai DOD yang ideal sebesar 2,4%, menunjukkan bahwa baterai tidak terlalu sering mengalami pengosongan penuh. Baterai mengalami penyusutan sebesar 10% akibat pemakaian selama 1 tahun, yang mempengaruhi usia pakai baterai [12].

Penelitian selanjutnya dilakukan *monitoring* 2 jenis baterai yaitu *lead acid* 12 V dan *lithium* 12 V menggunakan metode *Coulomb Counting* untuk menghitung nilai SOC. Hasil nilai SOC pada penelitian ini 100% saat proses *charging* dan 20% saat *discharging* [30].

Penelitian selanjutnya menitikberatkan pada analisis penggunaan baterai *lead*

acid dan *lithium-ion* dalam sistem PLTS, dengan fokus khusus pada metode pengukuran SOC menggunakan teknik *Coulomb Counting* yang dimodifikasi. Metode *Coulomb Counting* ini mampu menghasilkan prediksi yang lebih tepat mengenai kondisi SOC yang sangat penting untuk memelihara siklus hidup baterai dan mencegah pengosongan berlebihan DOD [31].

Penelitian selanjutnya tentang penentuan SOC pada baterai VRLA NP7-12 menggunakan Matlab menghasilkan nilai batas atas *initial* SOC 100% sedangkan nilai batas bawah sebesar 20%. Pengujian dilakukan selama 10 jam pada kondisi pengosongan maupun pengisian baterai [32].