

PENGARUH LUAS ELEKTRODA TERHADAP KARAKTERISTIK BATERAI LiFePO_4

ADITYA SATRIADY, WAHYU ALAMSYAH, ASWAD HI SAAD, SAHRUL HIDAYAT[‡]

*Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363*

Abstrak. Baterai lithium-ion telah digunakan sebagai media penyimpan energi listrik portabel karena memiliki densitas energi tinggi dan siklus hidup yang panjang. Bahan yang umum digunakan sebagai katoda pada baterai lithium-ion adalah lithium cobalt oxide (LiCoO_2), tetapi unsur kobalt merupakan logam berat yang berbahaya bagi lingkungan, memiliki harga yang mahal dan bersifat reaktif sehingga mudah terjadi ledakan pada temperatur tinggi. Saat ini telah dikembangkan baterai lithium-ion dari lithium iron phosphate (LiFePO_4) sebagai bahan pada katoda yang lebih murah, aman serta ramah lingkungan. Secara teori, luas elektroda mempengaruhi kapasitas baterai. Semakin luas elektroda, semakin besar kapasitas baterai. Pada penelitian ini telah dibuat baterai lithium-ion dengan LiFePO_4 sebagai bahan pada katoda serta telah dilakukan pengujian baterai dengan melihat pengaruh luas elektroda terhadap karakteristik kinerja baterai dengan metode charge-discharge. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, baterai dengan luas elektroda $(22 \times 2) \text{ cm}^2$ dan arus pembebanan 3 mA memiliki kapasitas dan efisiensi paling besar dibandingkan luas elektroda lainnya dengan kapasitas baterai sebesar 3,183 mAh dan efisiensi sebesar 46,6%. Hasil yang didapat menunjukkan luas elektroda dapat mempengaruhi kapasitas dan efisiensi baterai.

Kata kunci : baterai lithium-ion, LiFePO_4 , charge-discharge, kinerja baterai

Abstract. Lithium-ion battery has been used as a portable energy storage device because of its excellent energy density and good life cycle. Common materials that been used as a cathode material is LiCoO_2 (lithium-cobalt oxide), but cobalt is a heavy and toxic material, expensive, and has poor thermal stability. Recently LiFePO_4 has been developed as an alternative material for cathode thanks to its high thermal stability, non-toxicity, good charge/discharge capabilities and cheap cost. The length of electrode affects battery capacity. The wider the electrode surface area, the greater the capacity of the battery is. This research has created a lithium-ion battery cell with LiFePO_4 as cathode materials and it has been tested to look at the influence of the electrode surface area against the battery characteristics by way of charge-discharge method. Based on the test that's been done, result showed that the battery cell with electrode surface area of $(22 \times 2) \text{ cm}^2$ has the most capacity and efficiency in comparison to the other electrode length with battery discharge capacity amounted to 3,18 mAh and the efficiency of 46,6%. The results obtained demonstrate that electrode surface area can effect the capacity and efficiency of the battery.

Keywords : lithium-ion battery, LiFePO_4 , charge-discharge, battery performance

1. Pendahuluan

Baterai adalah perangkat yang dapat mengonversi energi kimia yang terkandung pada bahan aktif komponen penyusun baterai menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia reduksi dan oksidasi [1]. Reaksi reduksi adalah reaksi penambahan elektron dan penurunan bilangan oksidasi, sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron dan penambahan bilangan oksidasi.

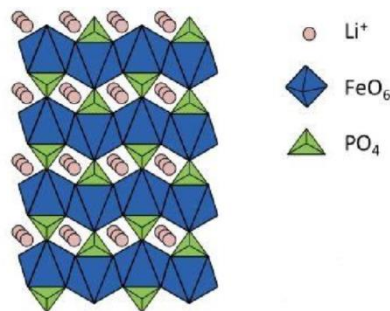
Terdapat dua klasifikasi baterai, yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang dan hanya dapat digunakan sekali pakai, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berkali-kali karena dapat diisi ulang (rechargeable). Kemampuan baterai sekunder untuk diisi ulang dikarenakan reaksi elektrokimianya yang bersifat

[‡] email : sahrul@unpad.ac.id

reversible sehingga baterai sekunder dapat mengonversi energi kimia menjadi energi listrik pada proses discharging dan mengonversi energi listrik menjadi energi kimia pada proses charging.

Salah satu tipe baterai sekunder yang telah banyak digunakan adalah lithium-ion. Baterai lithium-ion memiliki densitas energi dan tegangan yang tinggi serta memiliki siklus hidup yang panjang [1]. Bahan yang umum digunakan sebagai katoda pada baterai lithium-ion adalah lithium cobalt oxide (LiCoO_2), tetapi unsur kobalt yang terkandung dalam LiCoO_2 merupakan logam berat yang berbahaya untuk lingkungan, memiliki harga yang mahal, bersifat reaktif dan tidak stabil pada temperatur tinggi sehingga rentan terjadi ledakan.

Bahan alternatif yang dapat dijadikan sebagai pengganti LiCoO_2 adalah lithium iron phosphate (LiFePO_4). LiFePO_4 telah diperkenalkan sebagai bahan untuk katoda pada baterai lithium-ion sejak tahun 1997 [2] karena memiliki keunggulan diantaranya memiliki biaya yang rendah, tidak bersifat reaktif, serta ramah lingkungan. Selain itu LiFePO_4 memiliki kapasitas spesifik yang lebih tinggi (170 mAh/g) dibandingkan LiCoO_2 (100 mAh/g) [1].



Gambar 1. Struktur Kristal dari LiFePO_4 [4]

Luas elektroda mempengaruhi kapasitas baterai. Kapasitas baterai dinyatakan oleh banyaknya bahan aktif pada elektroda yang dapat menghasilkan energi listrik melalui reaksi elektrokimia [1]. Semakin luas elektroda maka semakin besar kapasitas baterai. Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan baterai lithium-ion menggunakan LiFePO_4 sebagai bahan pada katoda serta dilakukan pengujian kinerja baterai menggunakan metode charge-discharge dengan melihat pengaruh dari arus pembebanan terhadap luas elektroda.

Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4) telah diperkenalkan sebagai bahan untuk katoda pada baterai Li-ion oleh Padhi et al. pada tahun 1997. LiFePO_4 memiliki berbagai keunggulan diantaranya berbiaya rendah, tegangan kerja tinggi (kurva tegangan mendekati linear pada 3.4 V dibandingkan dengan bahan lithium), kapasitas spesifik tinggi (170 mAh/g dibandingkan 100 mAh/g pada LiCoO_2), memiliki kestabilan yang baik pada suhu tinggi, life cycle yang panjang (lebih dari 1000 siklus pemakaian) dan ramah lingkungan [3]. LiFePO_4 adalah logam mineral alami yang memiliki nama Triphylite.

Struktur kristal dari LiFePO_4 diperlihatkan pada Gambar 1. Struktur kristal dari LiFePO_4 pertama kali dianalisa oleh Yakubovich pada tahun 1977 [2]. LiFePO_4 memiliki struktur tiga dimensi yang berisi jalur untuk Li^+ . LiFePO_4 terbentuk dari FeO_6 yang berbentuk oktahedral dan PO_4 yang berbentuk tetrahedral, sedangkan Li^+ berada pada kisi kosong berdekatan dengan FeO_6 . LiFePO_4 memiliki ikatan kovalen yang kuat antara oksigen dan fosfat (PO_4) karena memiliki struktur

tetrahedral, sehingga LiFePO_4 memiliki kestabilan yang tinggi pada proses deinterkalasi Li^+ [4] Reaksi redoks yang terjadi pada baterai Li-ion dengan katoda LiFePO_4 dan anoda LiC_6 adalah sebagai berikut :

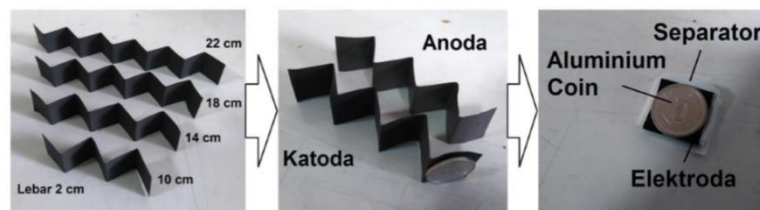
- Katoda: $\text{Li}_{1-x}\text{FePO}_4 + x\text{Li}^+ + x\text{e}^- \rightleftharpoons \text{LiFePO}_4$
- Anoda: $\text{LiC}_6 \rightleftharpoons \text{Li}^+ + \text{e}^- + 6\text{C}$

2. Eksperimen

Baterai dibuat dari dua elektroda berupa katoda berbahan LiFePO_4 , anoda berbahan grafit, dan separator. Kedua elektroda dan separator dipotong persegi panjang dengan lebar elektroda berukuran 2 cm, lebar separator berukuran 2,5 cm, sedangkan panjang elektroda divariasikan. Variasi luas elektroda bahan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran kristal masing-masing sampel

Bahan	Luas (p x l) (cm^2)			
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4
Katoda (LiFePO_4)	10 x 2	14 x 2	18 x 2	22 x 2
Anoda (C)	10 x 2	14 x 2	18 x 2	22 x 2
Separator (PP-PE-PP)	11 x 2	15 x 2	19 x 2	23 x 2

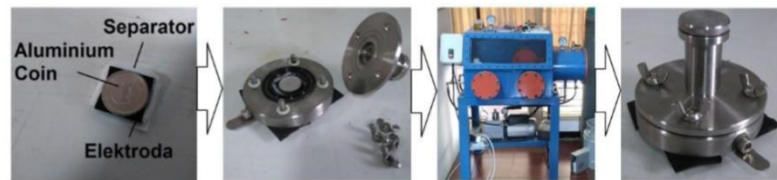


Gambar 2. Susunan elektroda dan separator

Elektroda dimasukkan ke dalam oven untuk dipanaskan pada temperature 100°C selama satu jam untuk menghilangkan kandungan uap air yang terkandung dalam elektroda. Uap air berpotensi mempengaruhi reaksi elektrokimia, menghambat laju difusi ion dan proses interkalasi yang akan berdampak pada penurunan kinerja baterai. Separator diletakkan di antara katoda dan anoda, dan disusun dengan konfigurasi sandwich dengan beberapa lipatan. Sisi katoda dan anoda diampelas agar mendapatkan lapisan dasar bahan berupa aluminium foil pada katoda dan tembaga pada anoda. Pengampelasan ini bertujuan untuk membentuk terminal positif dan negatif yang akan dihubungkan dengan terminal pada casing baterai. Pada terminal positif ditempelkan koin aluminium menggunakan lem konduktif. Koin aluminium bertujuan untuk menekan konfigurasi elektroda agar tersusun secara rapi dan memiliki jarak antar lipatan yang sama saat dimasukkan ke dalam casing baterai. Proses penyusunan elektroda dan separator diperlihatkan pada Gambar 2.

Proses pengemasan baterai diperlihatkan pada Gambar 3. Susunan elektroda dan separator dimasukkan ke dalam casing baterai. Glove box digunakan sebagai tempat untuk memasukkan elektrolit ke dalam casing baterai. Glove box dikondisikan dalam keadaan vakum hingga berada pada tekanan $-0,5 \text{ atm}$. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengeluarkan kandungan oksigen agar tidak masuk ke dalam komponen baterai saat proses pemasukan elektrolit. Oksigen akan

mempengaruhi reaksi elektrokimia, menghambat laju difusi ion dan proses interkalasi yang akan berdampak pada penurunan kinerja baterai. Sebagai pengganti udara di dalam glove box, digunakan gas argon sebagai gas yang bersifat inert dan tidak bereaksi terhadap komponen baterai.



Gambar 3. Proses pengemasan baterai

Setelah gas argon memenuhi glove box hingga tekanan udara normal, dilakukan proses pembilasan sebanyak dua kali. Proses pembilasan dilakukan dengan cara mengeluarkan gas argon hingga berada pada tekanan $-0,5$ atm lalu memasukkan kembali gas argon ke dalam glove box. Hal ini dilakukan untuk memastikan kandungan oksigen seminimal mungkin sehingga hanya terdapat gas argon di dalam glove box.

Setelah dilakukan pembilasan sebanyak dua kali dan tekanan di dalam glove box berada pada tekanan udara normal, elektrolit dimasukkan ke dalam baterai menggunakan syringe dengan volume elektrolit sebanyak 3 ml. Casing baterai ditutup rapat untuk menghindari kebocoran elektrolit dan mencegah masuknya oksigen ke dalam baterai saat dilakukan pengujian.

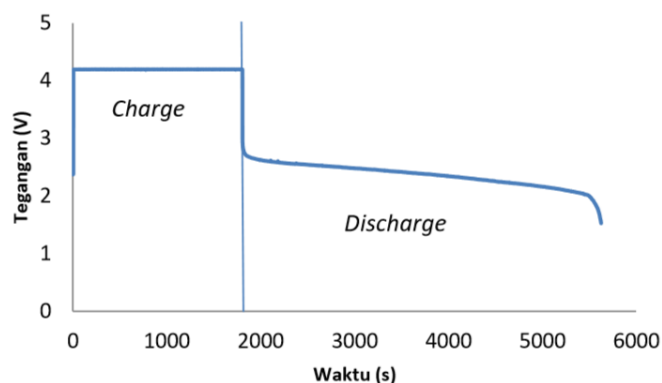
Pengujian yang dilakukan menggunakan metode charge-discharge untuk menguji karakteristik kinerja baterai. Karakteristik kinerja baterai dilihat dari kapasitas dan efisiensi baterai dengan melihat pengaruhnya terhadap variasi arus pembebanan dan variasi luas elektroda. Kapasitas baterai ditunjukkan oleh waktu yang dibutuhkan baterai dalam mempertahankan tegangan kerjanya saat proses pengosongan. Semakin lama waktu tegangan kerja baterai, semakin besar kapasitas baterai. Efisiensi baterai ditunjukkan oleh perbandingan kapasitas pengisian dengan kapasitas pengosongan baterai. Karakteristik kinerja baterai juga dapat dilihat dari siklus hidup baterai melalui uji siklibilitas.

3. Hasil dan Pembahasan

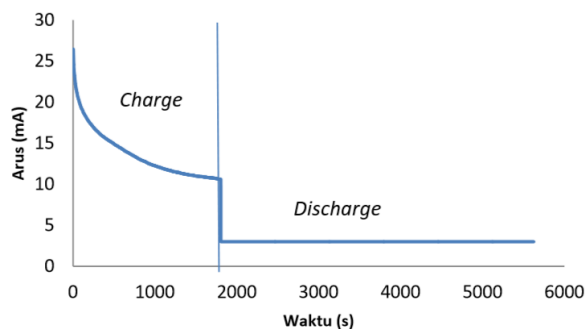
Salah satu karakteristik charge-discharge baterai dengan luas elektroda (22×2) cm² dan arus pembebanan 3 mA ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada proses pengisian, tegangan baterai naik secara drastis dari 2,697 menjadi 4,194 V, setelah itu cenderung konstan selama 30 menit. Arus pengisian cenderung menurun dari 28 mA menjadi 12 mA setelah diisi selama 30 menit. Penurunan nilai arus tersebut menunjukkan baterai mengalami proses pengisian. Dengan demikian nilai arus pengisian akan semakin kecil seiring dengan baterai yang mulai terisi penuh.

Saat proses pengisian baterai dihentikan, baterai memiliki tegangan terbuka sebesar 3,2 V. Saat dikosongkan dengan arus pembebanan 3 mA, tegangan baterai turun secara signifikan dari 4,194 V menjadi 2,8 V kemudian turun secara perlahan dan membentuk kurva mendekati linear. Kurva ini menunjukkan baterai berada pada tegangan kerjanya. Tegangan kerja baterai pada Gambar 4 ditunjukkan berada pada rentang 2 V hingga 2,8 V. Tegangan baterai mulai turun secara signifikan setelah melewati 2 V yang menunjukkan baterai telah melewati tegangan kerjanya. Hasil yang ditampilkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa telah didapatkan karakteristik charge-discharge baterai dengan tegangan kerja rata-rata sebesar 2 hingga 2,8 V. Pengosongan baterai segera dihentikan ketika tegangan mencapai 2 V dikarenakan baterai telah mencapai tegangan minimal

absolut pengosongan. Kondisi yang sama dilakukan pada pengujian baterai dengan variasi arus pembebanan dan variasi luas elektroda lainnya.

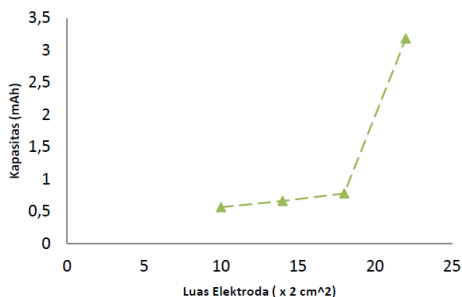


Gambar 4. Karakteristik tegangan baterai pada proses charge-discharge dengan luas elektroda $22 \times 2 \text{ cm}^2$ dan arus pembebanan 3 mA



Gambar 5. Proses pengemasan baterai

Untuk melihat pengaruh luas elektroda terhadap kapasitas baterai, dilakukan pengujian terhadap masing-masing variasi luas elektroda menggunakan arus pembebanan konstan 3 mA. Perhitungan kapasitas baterai dilakukan saat kondisi baterai dalam keadaan discharge dengan menghitung waktu yang dibutuhkan baterai dalam mempertahankan tegangan kerjanya hingga mencapai tegangan minimal absolut pengosongan.



Gambar 6. Pengaruh kapasitas baterai terhadap variasi luas elektroda dengan arus pembebanan 3 mA

Secara teoretis, luas elektroda mempengaruhi kapasitas baterai. Gambar 6. memperlihatkan bahwa semakin luas elektroda baterai, kapasitas baterai akan semakin besar. Nilai kapasitas terbesar yang didapat adalah 3,183 mAh. Hal ini dikarenakan baterai dengan luas elektroda $(22 \times 2) \text{ cm}^2$ memiliki lebih banyak bahan aktif yang dapat menampung ion lithium dan elektron sehingga mampu menghasilkan energi listrik lebih besar yang terjadi karena reaksi elektrokimia. Hasil pengujian juga menunjukkan peningkatan kapasitas baterai yang drastis dari luas elektroda $(18 \times 2) \text{ cm}^2$ ke luas elektroda $(22 \times 2) \text{ cm}^2$. Hal ini menunjukkan baterai memiliki luas elektroda minimal yang diperlukan agar memiliki kapasitas yang besar.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dibuat baterai lithium-ion dengan tegangan terbuka sebesar 3,2 V dan rentang tegangan kerja rata-rata sebesar 2 V hingga 2,8 V pada arus pembebanan 1 mA hingga 5 mA. Arus pembebanan dapat mempengaruhi efisiensi dan kapasitas baterai lithium ion. Berdasarkan hasil pengujian, dengan arus pembebanan 3 mA diperoleh nilai kapasitas dan efisiensi tertinggi masing-masing sebesar 3,18 mAh dan 46,6 %. Penambahan luas elektroda dapat menaikkan kapasitas dan efisiensi baterai lithium-ion. Berdasarkan hasil pengujian, dengan luas elektroda $(22 \times 2) \text{ cm}^2$ diperoleh nilai kapasitas dan efisiensi tertinggi masing-masing sebesar 3,18 mAh dan 46,6%.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah STRANAS, sesuai dengan Surat Perintah Pelaksanaan Pekerjaan Nomor: 023.04.1.673453/2015.

Daftar Pustaka

1. Linden, David and Thomas B. Reddy. 2002. Handbook of Batteries 3 Ed. Amerika Serikat: The McGraw-Hills Companies, Inc.
2. Padhi, A. K. et al. 1997. Phospho-olivines as Positive-Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries. Journal Electrochemical Society, Volume 144 No. 4 (1997).
3. Pillot, Christophe. 2012. The Worldwide Battery Market 2011-2025. Prancis: Avicenne Energy.
4. Toprakci, Ozan et al. 2010. Fabrication and Electrochemical Characteristics of LiFePO_4 Powders for Lithium-Ion Batteries. KONA Powder and Particle Journal, No. 28 (2010).