

Sifat Perovskit sebagai Material Elektroda untuk Baterai *Lithium-Ion* (LIB): Review

Siti Unvaresi M. Beladona¹, Ferry Purwanto¹, Jumiati¹, Elfrida Roulina Simanjuntak¹, Sari Namarito Simarmata¹, Meiyanti Ratna Kumalasari¹, Rendy Muhamad Iqbal^{1,2*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya, Kampus UPR Tunjung Nyaho, Palangka Raya 73111, Indonesia

²Pusat Pengembangan Iptek dan Inovasi Gambut (PPIIG) Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

Kata kunci

Baterai *Lithium-ion*, Perovskit, Sifat perovskit, Bahan elektroda, Rapat densitas, Rapat daya.

Abstrak

Baterai *Lithium-ion* (baterai *Li-ion* or *LIB*) merupakan baterai isi ulang yang telah menarik banyak perhatian sebagai sumber daya yang sangat menjanjikan karena memiliki kepadatan daya dan energi yang sangat baik, sehingga memiliki kemampuan pengisian daya yang stabil dan berbiaya rendah. Baterai *Li-ion* banyak digunakan pada kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, industri militer, dan lain sebagainya. Hingga saat ini, penelitian untuk mengembangkan teknologi baterai *Li-ion* terus dilakukan, yang berfokus pada kepadatan energi, daya tahan, biaya, dan keselamatan intrinsik. Bahan elektroda dengan konduktivitas ionik dan elektronik yang tinggi diperlukan untuk baterai *Li-ion* isi ulang dengan kepadatan energi yang besar. Salah satu material yang dapat diaplikasikan sebagai bahan elektroda adalah perovskit. Dalam beberapa tahun terakhir, bahan perovskit (rumus umum ABO_3) telah menerima banyak perhatian untuk kristal kubik sederhana dan sifat fisik beragam yang memungkinkan penggunaannya dalam berbagai teknologi. Sifat fisik dan kimia yang sangat baik dari perovskit membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, khususnya sebagai material untuk baterai *Li-ion*.

Keywords

Lithium-ion Battery, Perovskite, Perovskite properties, Electrode materials, Energy density, Power density.

Abstract

Lithium-ion battery (Li-ion battery or LIB) is a rechargeable battery that has attracted much attention as a very promising power source due to its excellent power and energy density, so it has stable charging capability and low cost. Li-ion batteries are widely used in electric vehicles, portable electronic devices, the military industry, and so on. Until now, research to develop Li-ion battery technology continues, focusing on energy density, durability, cost, and intrinsic safety. Electrode materials with high ionic and electronic conductivity are required for high energy density rechargeable Li-ion batteries. One of the materials that can be applied as electrode material is perovskite. In recent years, perovskite materials (general formula ABO_3) have received much attention for their simple cubic crystals and diverse physical properties that allow their use in various technologies. The excellent physical and chemical properties of perovskite make

it suitable for a wide range of applications, particularly as a material for Li-ion batteries.

Sejarah Artikel

Diterima : 21/09/2022

Disetujui : 23/09/2022

Dipublikasi : 25/09/2022

Email korespondensi: iqbal.rm@mipa.upr.ac.id

© 2022 Bohr: Jurnal Cendekia Kimia. *This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)*

PENDAHULUAN

Baterai *lithium-ion* (biasa disebut Baterai Li-ion atau LIB) memiliki kepadatan daya dan energi yang sangat baik, sehingga memiliki kemampuan pengisian daya yang stabil dan berbiaya rendah. Oleh karena itu, saat ini baterai Li-ion banyak digunakan pada kendaraan listrik, perangkat skala mikro dan peralatan skala besar, dan lain sebagainya [1]. Umumnya, anoda dan katoda pada baterai Li-ion yang berfungsi sebagai penghantar energi listrik (ion) terbuat dari karbon dan oksida litium, sedangkan elektrolit yang berfungsi sebagai medium cair untuk pergerakan ion dan larutan penyangga untuk membantu reaksi elektrokimia dalam baterai terbuat dari garam litium yang dilarutkan dalam pelarut organik [2].

Li-ion komersial, $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ merupakan anoda yang saat ini digunakan dalam daya baterai Li-ion (LIB), memiliki keunggulan dibandingkan anoda komersial lainnya karena memiliki kapasitas yang tinggi untuk dapat mempertahankan laju. Sebagai contoh, grafit memiliki kapasitas 62 mA/hg pada 10 C dibandingkan dengan 311 mA/hg pada 0,5 C, serta komposit silika karbon (Si/C) memiliki 54 mA/hg pada 10 C dan 440 mA/hg pada 0,5 C tetapi $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ dengan kapasitas 145 mA/hg pada 10 C cukup dekat dengan 170 mA/hg pada 0,5 C. Seperti $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, oksida logam transisi awal lainnya yang terdiri dari struktur yang antar sudutnya terhubung secara oktahedral juga dapat menggabungkan Li secara reversibel sambil mempertahankan struktur tanpa mengalami perubahan volume yang berlebihan, sehingga memberikan kecepatan dan performa siklik yang lebih

baik. $\text{Nb}_x\text{W}_y\text{O}_z$ menampilkan sifat anoda yang luar biasa, tetapi menjadi salah satu oksida yang paling sederhana. Prekursor $\text{Sr}(\text{Ca}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ merupakan perovskit ABO_3 yang juga terdiri dari jaringan yang antar sudutnya terhubung secara oktahedral BO_6 . Prekursor ini dipilih karena Sr dan Ca lebih basa daripada Nb, sehingga dapat dengan mudah dieliminasi dalam asam untuk menghilangkan semua situs A dari Sr dan situs B dari Ca, meninggalkan kerangka utuh namun longgar/terbuka [3].

Baterai Li-O₂ merupakan kandidat yang paling menjanjikan, dengan nilai energi spesifik teoritis tertinggi adalah 11.425 Wh/kg. Energi teoritis yang dapat disimpan oleh baterai Li-ion sekitar 5-10 kali lebih tinggi. Baterai Li-O₂ merupakan katalis alternatif dengan efisiensi yang tinggi dan daya tahan yang sangat baik. Oksida perovskit sebagai katalis memiliki stabilitas elektrokimia yang tinggi, konduktivitas elektronik/ionik tinggi, dan kemampuan strukturnya yang sangat baik untuk mengontrol berbagai macam *doping* dan elemen pengganti. Selain itu, oksida perovskit memiliki konduktivitas ion elektron dan oksigen yang baik, serta dapat menyediakan beberapa kekosongan oksigen untuk meningkatkan transfer ion oksigen. Oksida perovskit memiliki sifat dengan aktivitas katalitik yang sangat baik [4]. Kinerja elektrokimia dari $\text{La}_{0,4}\text{Sr}_{0,6}\text{CoMn}_{0,6}$ jauh lebih tinggi daripada $\text{La}_{0,4}\text{MnO}_3$ yang sesuai dengan aktivitas elektrokatalitik yang diukur dengan RDE. Kinerja baterai Li-O₂ sangat baik dilihat dari stabilitas siklusnya [4].

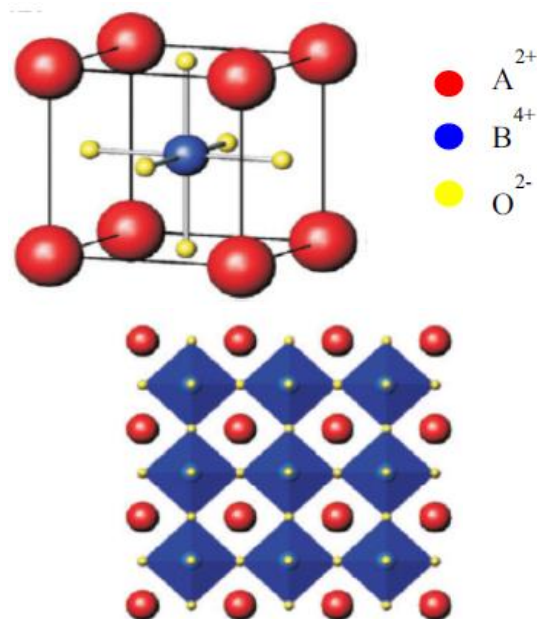
Li-ion yang menjanjikan pun belum mampu memberikan kepadatan energi

yang dibutuhkan untuk memberikan rentang kendaraan listrik yang sebanding dengan mobil bertenaga mesin pembakaran internal. Massa dan volume spesifik berdasarkan litium dan oksigen masing-masing sekitar 10 kali dan 3 kali lebih tinggi dibandingkan baterai Li-ion konvensional. Li-ion memiliki kerapatan energi teoritis massa yang tinggi. Konduktor Li-ion padat tipe garnet $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ memiliki konduktivitas suhu ruangan yang tinggi dan secara elektrokimia mengalami pertukaran proton dalam air yang membuatnya bersifat tidak stabil dalam larutan elektrolit berair [5]. Baterai Li-ion (LIB) dapat memberikan daya pada kendaraan listrik modern. Namun, baterai Li-ion saat ini memiliki masalah keamanan dan suhu pengoperasian yang rendah, serta harus meningkatkan kepadatan energi dan daya.

SIFAT PEROVSKIT

Pada beberapa tahun terakhir, bahan perovskit (rumus umum ABO_3) telah menerima banyak perhatian untuk kristal kubik sederhana dan sifat fisiknya yang beragam sehingga memungkinkan penggunaannya dalam banyak aplikasi dalam bidang teknologi maju. Sifat fisik dan kimia yang sangat baik dari perovskit membuat material ini cocok untuk berbagai aplikasi seperti feroelektrik, piezoelektrik, magnetoresistensi raksasa, *thermoelectric*, dan sifat transfer magnet. Umumnya, perovskit ABO mengkristal dalam struktur kubik, dimana kation A adalah O^{3-} terletak di tengah, kation B adalah logam transisi yang ditempatkan di sudut, dan atom oksigen di bagian pusat muka pada sel satuan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 [6].

Okupansi situs-B oleh logam transisi (*Transition Metals/TM*) penting untuk karakteristik elektronik dan magnetik fungsional dari oksida perovskit.



Gambar 1. Struktur kubik sederhana Perovskit [6]

Karakteristik TM tipe perovskit (elektron-d) telah diselidiki dengan cukup baik. Baru-baru ini, sejumlah penelitian telah dilakukan pada beberapa oksida logam transisi tentang stabilitas struktural, sifat elektronik dan optik, serta kinerja elektrokimia pada baterai Li-ion (LIB). Di antara bahan perovskit yang ada, sifat fisik molibdat perovskit sebagian besar dikendalikan oleh elektron valensi molibdenum. Strukturnya yang stabil pada suhu kamar membuat beberapa molibdat perovskit termasuk PbMoO_3 , CaMoO_3 , SrMoO_3 , dan BaMoO_3 telah menarik perhatian para peneliti. SrMoO_3 menampilkan struktur kubik perovskit dengan paramagnetisme dan konduktivitas logam yang baik, serta resistivitas yang lebih rendah pada suhu kamar dibandingkan dengan beberapa perovskit lainnya. Selain itu, SrMoO_3 menunjukkan 2 fase, yaitu kubik dan tetragonal [7]. SrMoO_3 perovskit molibdat menunjukkan konduktivitas, aktivitas, sifat katalitik, optik, dan sifat listrik yang sangat baik. SrMoO_3 , SrFeO_3 , dan turunannya menunjukkan sifat

Tabel 1. Sifat struktur keadaan dasar untuk perovskit yang tidak diop dan Mg yang didoping Mg melibas $\text{SrMo}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$) bahan dibandingkan dengan percobaan hasil asli [7]

$\text{SrMo}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$	Sebuah (SEBUAH) V (SEBUAH)		B (IPK)	E_{coh} (eV / atom)	Catatan
$x = 0.0$	3.9945	63.737	183.49	-	[CASTEP]
	3.6210	47.477	185.18	-1,636	[LAMMPS]
	3.9720	62.665	-	-	Calc. [29]
	3.9762	62.869	-	-	Expt. [26]
$x = 0.1$	3.8964	59.180	136.07	-	[CASTEP]
	3.5560	44.964	148.28	-1,620	[LAMMPS]
	3.9695	62.546	-	-	Expt. [26]
$x = 0.2$	3.8634	57.665	144.14	-	[CASTEP]
	3.5721	45.576	151.11	-1,6317	[LAMMPS]
	3.9649	62.332	-	-	Expt. [26]
$x = 0.3$	3.8440	56.804	148.29	-	[CASTEP]
	3.5890	46.230	152.07	-1,629	[LAMMPS]
$x = 0.4$	3.7952	54.665	160,78	-	[CASTEP]
	3.5922	46.346	157.37	-1,267	[LAMMPS]

optik dan magnet yang sangat baik. *Doping* memainkan peran penting dalam penentuan sifat material dari perovskit. Struktur kristal perovskit SrMoO tidak diop dan *Mg-doped* dibangun dengan pertimbangan parameter kisi eksperimental dan koordinat atom [7].

Pada tabel 1, atom E_A dan atom E_B menunjukkan total energi dari atom A dan B, x dan y adalah jumlah atom masing-masing. E adalah energi total dari sel satuan kohesif yang diperhitungkan menggunakan relasi. Dalam beberapa literatur terbaru, stabilitas suatu senyawa dibuktikan dengan nilai negatif entalpi pembentukan yang dihitung. Pada tabel 2, hasil simulasi dari penelitian ini sesuai dengan perhitungan teoritis yang telah ada. Pada tabel tersebut mengilustrasikan bahwa nilai konstanta yang dihitung memenuhi kondisi di atas, yang berarti bahwa bahan perovskit SrMoO yang didoping Mg stabil secara mekanis [7].

SIFAT BATERAI LITHIUM-ION

Baterai *Lithium-ion* (LIB) yang dapat diisi ulang menarik banyak perhatian sebagai sumber daya yang sangat menjanjikan. Selain itu, baterai Li-ion dapat digunakan pada kendaraan listrik dan perangkat elektronik yang portabel serta memiliki kepadatan energi yang tinggi dan juga massa pakainya yang tahan lama atau panjang. Oksida logam transisi (*Transition Metal Oxides/TMO*) sebagai anoda yang memiliki kapasitas teoritis yang tinggi. Struktur MnO memiliki sifat kinerja elektrokimia yang unggul karena panjang difusi Li yang lebih pendek [8].

Baterai Li-ion (LIB) memiliki kualitas yang sangat baik untuk media penyimpanan, kendaraan listrik, dan konversi elektrokimia. Selain memiliki kepadatan energi yang tinggi dan teknologi siklus hidup yang panjang, juga mendominasi sistem elektronik portabel

Tabel 2. Sifat elastis yang dihitung C dari Mg-doped $\text{SrMo}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$) bahan perovskite [7]

$\text{SrMo}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$	C_{11} (IPK)	C_{12} (IPK)	C_{44} (IPK)	Catatan
$x = 0.0$	323.10	113.69	62.87	[CASTEP]
	317.49	119.02	80.27	[LAMMPS]
	349.90	101.00	68.14	Calc. [50]
$x = 0.1$	236.03	89.09	109.98	[CASTEP]
	248.67	96.07	108.79	[LAMMPS]
$x = 0.2$	237.98	97.23	119.37	[CASTEP]
	251.03	101.16	148.46	[LAMMPS]
$x = 0.3$	245.69	99.59	127.73	[CASTEP]
	253.03	101.34	149.27	[LAMMPS]
$x = 0.4$	264.04	109.15	150.79	[CASTEP]
	260.13	105.99	148.54	[LAMMPS]

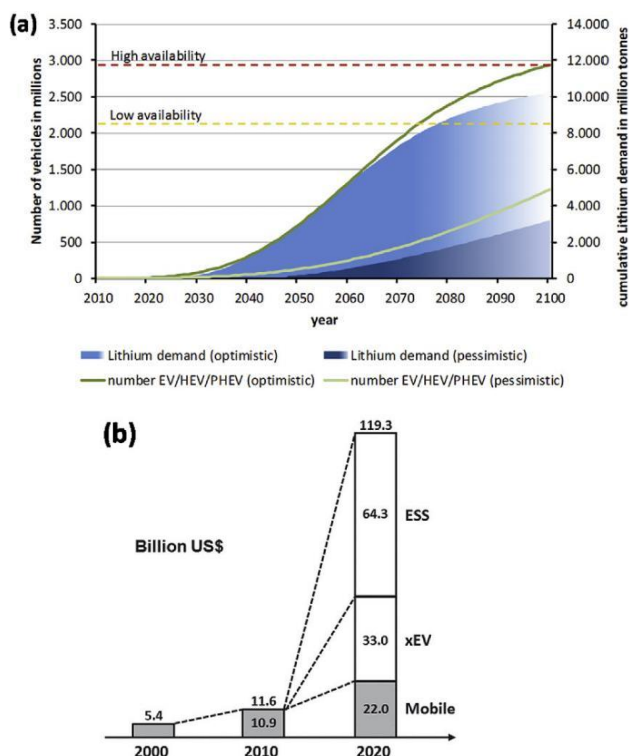
dan baterai yang dapat diisi ulang untuk kendaraan listrik hibrida yang saat ini sedang berkembang. Efisiensi sumber daya litium skala global dan faktor keamanannya sangat membatasi penggunaan lebih lanjut dalam aplikasi litium pada skala besar. Di sisi lain, baterai Li-ion memiliki sifat yang bisa memenuhi kebutuhan kendaraan listrik dan jaringan listrik saat ini terkait kepadatan energinya yang tinggi dan biayanya yang rendah. Misalnya, penambahan lebih banyak tumpukan baterai mobil listrik tidak benar-benar menyelesaikan masalah jangka panjang, begitu pula biaya yang berlebihan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2 [9]. Namun, baterai Li-ion memiliki kelemahan, yaitu adanya kendala untuk penyimpanan energi pada kondisi tertentu.

Baterai Li-ion mudah diproduksi, dan modulasi keluaran yang murah, serta menggunakan pembangkit listrik dengan biaya yang sesuai. Baterai Na-ion sebagai

alternatif teknologi Li-ion memiliki biaya yang hemat dengan efisiensi yang tinggi, keamanan, dan keberlanjutan jangka panjang. Oksida logam transisi seperti NaTMO_2 memiliki kepadatan energi dan tegangan operasi yang tinggi. Bahkan katoda Na ($\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}$) memiliki kapasitas spesifik 125 mAh/g dan kemampuan kecepatan yang tinggi. Stabilitas siklus yang lama menjadi tantangan untuk oksida berlapis karena perubahan struktural yang besar yang disebabkan oleh ekspansi atau kontraksi volume [8].

SIFAT NANOFIBER PEROVSKIT LaMO_3 (M = Fe, Co, Ni) UNTUK ELEKTRODA SUPERKAPASITOR PERFORMA TINGGI DAN ANODA BATERAI LI-ION

Superkapasitor dan baterai Li-ion memiliki kepadatan daya tinggi, kinerja siklik yang sangat baik dan menguntungkan, laju pengisian/pengosongan yang cepat, dan pengoperasian yang aman. Kelebihan dari

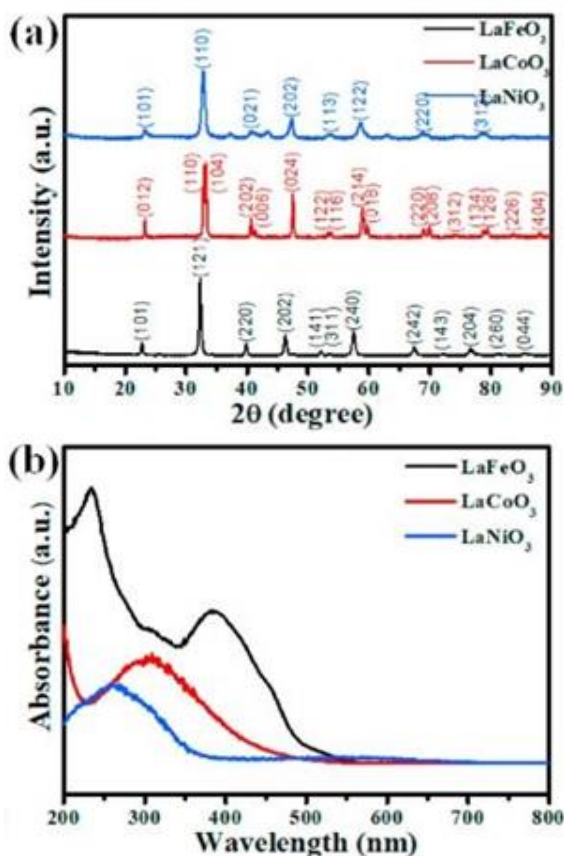


Gambar 2. (a) Penilaian jangka panjang atas ketersediaan dan permintaan litium, dan jumlah kendaraan listrik (EV, HEV, dan PHEV) dari waktu ke waktu. Litium habis karena ketersediaan yang rendah dan produksi kendaraan listrik yang bersifat optimis, (b) Ekspektasi pasar akan baterai isi ulang EV semua kendaraan listrik seperti tipe full (EV), hybrid (HEV) dan *plug-in hybrid* (PHEV) ESS: Sistem penyimpanan energi lainnya sebagai bagian dari jaringan pintar dan energi terbarukan [9]

baterai Li-ion, seperti spesifikasi kapasitas fluiktas c yang tinggi, portabilitas, dan kepadatan energi tinggi. Superkapasitor dikategorikan menjadi kapasitas berlapis ganda (*double layer*) dan pseudokapasitor listrik dalam mekanisme penyimpanan muatan. Yang pertama tergantung pada adsorpsi dan desorpsi ion antarmuka elektroda/elektrolit dan umumnya menggunakan bahan berkarbon konvensional sebagai elektroda,

sedangkan untuk yang terakhir bergantung pada reaksi redoks Faradaik reversibel di atas bahan permukaan aktif dan biasanya menggunakan polimer konduksi dan oksida logam hidroksida sebagai elektroda [10]. Oksida logam transisi merupakan bahan elektroda yang bagus untuk superkapasitor dan baterai Li-ion karena sifatnya yang memiliki valensi ganda, ramah lingkungan, kelimpahan alami, efektivitas biaya, aktivitas redoks, dan sifat kimia/termal yang stabil. Bahan perovskit berbasis oksida logam memiliki struktur yang stabil, kekosongan oksigen yang kaya, dan bilangan oksidasi yang bervariasi. Bahan-bahan ini telah diteliti secara ekstensif untuk baterai Li-ion dikarenakan Li yang sangat baik, konduktivitas dan stabilitasnya juga tinggi [10].

Gambar 3 (a) merupakan gambar pola XRD LaFeO_3 , LaCoO_3 , dan LaNiO_3 NF. Pada gambar menunjukkan bahwa semua puncaknya tajam dan sempit pada rentang pemindaian (10 sampai 90°), yang artinya bahwa LaNiO_3 NF hasil sintesis memiliki kristalinitas yang tinggi. Pola XRD sesuai dengan JCPDS yang menandakan bahwa struktur perovskit LaFeO_3 adalah ortorombik. Pola XRD tanpa puncak pengotor dari oksida La atau Co yang baik menunjukkan bahwa fase perovskit LaCoO_3 adalah rombohedral. Pola XRD konsisten pada perovskit LaNiO_3 menunjukkan bahwa strukturnya adalah rombohedral. Gambar 3 (b) tiga NF perovskit menunjukkan sifat absorbansi yang sangat tinggi di wilayah UV dan panjang gelombang absorbansi yang dapat diabaikan di wilayah inframerah. LaFeO_3 NF menunjukkan absorbansi yang relatif tinggi, sementara LaCoO_3 dan LaNiO_3 NF menunjukkan sifat absorbansi yang relatif rendah [10].



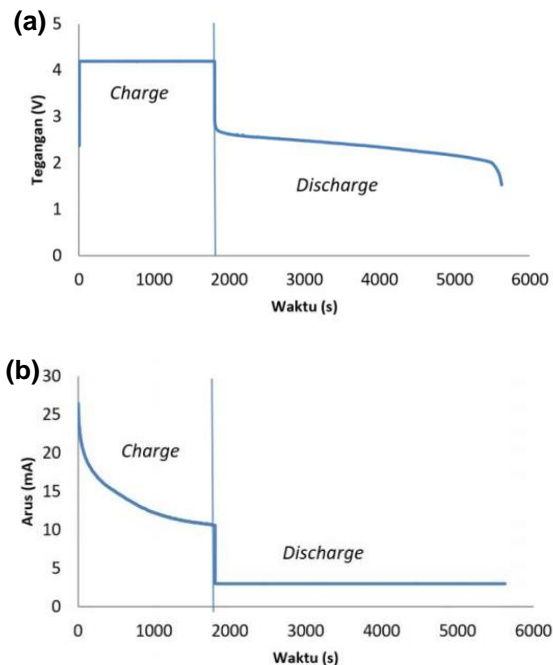
Gambar 3. (a) Pola XRD (b) Spektra UV-vis LaFeO₃, LaCoO₃, dan LaNiO₃ NFs [10]

Sifat untuk perovskit grafena sebagai anoda siklik jangka panjang untuk baterai Li-ion telah banyak digunakan seperti pada kendaraan listrik. Oksida logam transisi sebagai bahan anoda untuk baterai Li-ion memiliki kapasitas penyimpanan 2-3 kali lebih tinggi dari anoda berbasis karbon sebagai grafit [11]. Bahan perovskit menunjukkan sifat yang sangat baik, seperti superkonduktivitas dan fotokatalisis yang efisien, dengan elemen *doping* di situs A dan situs B, atau situs oksigen. Selain itu, struktur kisinya dapat disesuaikan melalui metode fisiokimia yang berbeda. Bahan perovskit La_{0.9}Sr_{0.1}TiO₃ memiliki reflektifitas yang tinggi, bahan kimia yang baik, dan stabilitas fisik. Hal ini menunjukkan potensinya

sebagai pengganti yang sesuai untuk bahan reflektifitas tradisional atau yang dulu biasa digunakan. Namun, LST memiliki aplikasi terbatas dalam proteksi inframerah. Reflektifitas LST menurun karena adanya kekosongan oksigen yang dihasilkan oleh iradiasi laser [12].

Oksida jenis perovskit memiliki keunggulan, yaitu biaya yang rendah dan kinerja katalitik yang baik pada suhu rendah. Katalis perovskit ABO₃ memiliki stabilitas termal yang tinggi, terutama oksida perovskit mangan lantanum (LaMnO₃) menunjukkan kinerja katalitik yang sangat baik untuk reaksi oksidasi. Logam situs-B banyak terkandung dalam baterai Li-ion terner. Baterai Li-ion terner (LIB) telah banyak digunakan pada alat-alat listrik karena biayanya yang rendah, kapasitas pembuangan yang besar, dan stabilitas termal yang baik. Meskipun memiliki beberapa keunggulan, limbah yang dihasilkan baterai Li-ion dapat berpotensi menyebabkan polusi serius pada tanah dan sumber air [13]. Elektroda pada baterai Li-ion merupakan oksida logam litium untuk elektroda positif, sedangkan pada elektroda negatifnya adalah karbon. Material ini menggunakan arus pengumpul logam sebagai bahan pengikat, biasanya berupa polivinilidena (PVDF) atau kopolimer polivinilidena fluoride-hexafluoropropylene (PVDF-HFP) [14]. Baterai Li-ion memiliki densitas energi dan tegangan yang tinggi serta memiliki siklus hidup yang panjang. Bahan umum yang digunakan sebagai katoda pada baterai Li-ion adalah *lithium cobalt oxide* (LiCoO₂), tetapi unsur kobalt yang terkandung dalam (LiCoO₂) merupakan logam berat yang berbahaya untuk lingkungan, biayanya tinggi, bersifat reaktif, dan tidak stabil pada suhu tinggi sehingga rentan terjadi ledakan [15].

Pada Gambar 4 (a) menunjukkan bahwa telah didapatkan karakteristik *charge-discharge* baterai dengan tegangan kerja rata-rata sebesar 2 hingga 2,8 Volt. Pengosongan baterai segera dihentikan ketika tegangan mencapai 2 Volt dikarenakan baterai telah mencapai tegangan minimal pengosongan. Kondisi yang sama dilakukan pada pengujian baterai dengan variasi arus pembebanan dan variasi luas elektroda lainnya. Gambar 4 (b) menunjukkan 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 [15].



Gambar 4. (a) Karakteristik tegangan baterai pada proses *charge-discharge* dengan luas elektroda $22 \times 2 \text{ cm}^2$ dan arus pembebanan 3 mA. (b) Proses pengemasan baterai [15]

KESIMPULAN

Baterai *Lithium-ion* (LIB) yang dapat diisi ulang menarik lebih banyak perhatian sebagai sumber daya yang sangat menjanjikan. Selain itu, baterai Li-ion dapat digunakan pada kendaraan listrik dan perangkat elektronik yang portabel dan juga memiliki kepadatan energi yang tinggi dan juga massa pakainya yang tahan lama atau panjang. Pada beberapa tahun terakhir, bahan perovskit (rumus umum ABO_3) telah menerima banyak perhatian untuk kristal kubik sederhana dan sifat fisik beragam yang memungkinkan penggunaannya dalam banyak teknologi menarik. Sifat fisik dan kimia yang sangat baik dari perovskit membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi. Bahan perovskit menunjukkan sifat yang sangat baik, seperti superkonduktivitas dan fotokatalisis yang efisien, dengan elemen doping di situs A dan situs B, atau situs oksigen. Selain itu struktur kisinya dapat disesuaikan melalui metode fisiokimia yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengapresiasi dan mengucapkan terima kasih kepada Universitas Palangka Raya atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Xie, Y. Dang, L. Wu, W. Liu, A. Tang, and Y. Luo, "Experimental and molecular simulating study on promoting electrolyte-immersed mechanical properties of cellulose/lignin separator for lithium-ion battery," *Polym Test*, vol. 90, 2020.
- [2] A. Kostopoulou, D. Vernardou, K. Savva, and E. Stratakis, "All-inorganic lead halide perovskite nanohexagons for high performance air-stable lithium batteries,"

- Nanoscale*, vol. 11, no. 3, pp. 882–889, 2019.
- [3] Z. Liu *et al.*, “Orthorhombic Nb₂O₅-x for Durable High-Rate Anode of Li-Ion Batteries,” *iScience*, vol. 23, no. 1, 2020.
- [4] Y. Zhao *et al.*, “Perovskite oxides La_{0.4}Sr_{0.6}Co_xMn_{1-x}O₃ (x = 0, 0.2, 0.4) as an effective electrocatalyst for lithium–air batteries,” *Green Energy and Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 78–85, 2018.
- [5] N. Imanishi and O. Yamamoto, “Perspectives and challenges of rechargeable lithium–air batteries,” *Mater Today Adv*, vol. 4, 2019.
- [6] E. A. R. Assirey, “Perovskite synthesis, properties and their related biochemical and industrial application,” *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 27, no. 6. Elsevier B.V., pp. 817–829, Sep. 01, 2019. doi: 10.1016/j.jsps.2019.05.003.
- [7] K. M. Hossain, M. Zahid Hasan, and M. Lokman Ali, “Understanding the influences of Mg doping on the physical properties of SrMoO₃ perovskite,” *Results Phys*, vol. 19, 2020.
- [8] C. G. Han, C. Zhu, Y. Aoki, H. Habazaki, and T. Akiyama, “MnO/N–C anode materials for lithium-ion batteries prepared by cotton-templated combustion synthesis,” *Green Energy and Environment*, vol. 2, no. 4, pp. 377–386, 2017.
- [9] A. El Kharbachi, O. Zavorotynska, M. Latroche, F. Cuevas, V. Yartys, and M. Fichtner, “Exploits, advances and challenges benefiting beyond Li-ion battery technologies,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 817, 2020, doi: 10.1016/j.jallcom.2019.153261.
- [10] Q. Hu *et al.*, “Facile syntheses of perovskite type LaMO₃ (M=Fe, Co, Ni) nanofibers for high performance supercapacitor electrodes and lithium-ion battery anodes,” *J Alloys Compd*, vol. 852, 2021.
- [11] M. Li, X. Xiao, Y. Liu, W. Zhang, Y. Zhang, and L. Chen, “Ternary perovskite cobalt titanate/graphene composite material as long-term cyclic anode for lithium-ion battery,” *J Alloys Compd*, 2017.
- [12] Y. Zhao *et al.*, “Enhanced optical reflectivity and electrical properties in perovskite functional ceramics by inhibiting oxygen vacancy formation,” *Ceram Int*, pp. 24–25, 2020.
- [13] M. Guo *et al.*, “Resource utilization of spent ternary lithium-ions batteries: Synthesis of highly active manganese-based perovskite catalyst for toluene oxidation,” *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 102, pp. 268–275, 2019.
- [14] D. F. Arfianto, D. Fahmi, and D. A. Asfani, “Pemantauan, Proteksi, dan Ekualisasi Baterai Lithium-Ion Tersusun Seri Menggunakan Konverter Buck-Boost dan LC Seri dengan Kontrol Synchronous Phase Shift,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [15] A. Satriady, W. Alamsyah, A. H. I. Saad, and S. Hidayat, “Pengaruh Luas Elektroda Terhadap Karakteristik Baterai LiFePO₄,” *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. 06, no. 02, pp. 43–48, 2016.