

Migrasi Baterai Lithium dari Mode Otomotif ke Mode Penyimpan Energi untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Junaidi¹⁾, Kho Hie Khwee²⁾, Ayong Hiendro³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak,
e-mail : junaidi@ee.untan.ac.id

Abstract– Baterai Lithium dapat bekerja pada dua mode operasi, yaitu: mode otomotif (MO) dan mode penyimpanan energi (MP). Kerja MO untuk mengasut mesin kendaraan dengan arus besar pada periode sesaat, sedangkan kerja MP berfungsi menyimpan dan memasok energi listrik kepada beban dalam jangka waktu tertentu. Karena beroperasi pada arus besar, maka siklus pakai baterai MO akan berkurang lebih cepat daripada MP. Pada makalah ini diperkenalkan model dua-fasa MO-MP dan strategi untuk mendapatkan titik alih terbaik dari MO ke MP pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan memperhitungkan tingkat efisiensi dan State of Health (SOH) baterai. Hasil analisis menunjukkan bahwa model-400 (MO 400 siklus/MP 800 siklus) memiliki kinerja terbaik ditinjau dari tingkat efisiensi dan SOH.

Keywords– Baterai lithium, SOH, mode otomotif, mode penyimpanan, tenaga surya

1. Pendahuluan

Sistem penyimpanan energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan baterai (baterai elektrokimia), flywheel (baterai mekanik) dan super kapasitor (baterai elektrostatik). Sistem penyimpanan energi listrik menggunakan baterai elektrokimia adalah yang paling umum digunakan pada saat ini. Selain berfungsi sebagai penyimpanan energi, baterai juga diperlukan oleh kendaraan sebagai pemasok energi listrik guna mengasut mesin dan sumber energi bagi berbagai perangkat listrik di dalam kendaraan tersebut. Dengan demikian terdapat 2 fungsi utama baterai dalam aplikasi di bidang teknik elektro, yaitu: aplikasi mode otomotif dan aplikasi mode penyimpanan energi.

Dalam aplikasi mode otomotif (MO) dan mode penyimpanan energi (MP), baterai jenis asam timbal paling sering digunakan. Akan tetapi dengan perkembangan di bidang material yang semakin maju, sedikit demi sedikit terjadi peralihan penggunaan baterai Lithium sebagai pengganti baterai asam timbal. Baterai Lithium memiliki banyak keunggulan, antara lain: memiliki kerapatan energi yang tinggi dan mampu bertahan relatif lebih lama.

Untuk penggunaan dalam MO, baterai dipersyaratkan mampu memasok arus yang besar guna mengasut mesin

kendaraan dan akibatnya usia pemakaian baterai menjadi berkurang. Setelah kapasitas baterai melemah menjadi di bawah 70%, maka baterai tidak akan mampu lagi mengasut mesin kendaraan. Akan tetapi baterai tersebut masih memenuhi persyaratan untuk dioperasikan pada MP karena sistem penyimpanan energi tidak memerlukan arus sesaat yang sangat besar untuk memenuhi beban listrik. Persyaratan sebagai MO, baterai harus mampu memasok energi listrik secara kontinyu dalam waktu yang cukup lama dalam periode tertentu.

Para peneliti dan pemerintah saat ini termotivasi dengan isu-isu penghematan energi, pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi penyimpanan energi. Pemanfaatan baterai sekunder dapat menjadi salah satu solusi yang potensial untuk isu-isu tersebut [1]. Baterai sekunder telah diproduksi dalam berbagai bentuk, yaitu baterai basah (baterai asam-timbal) dan baterai kering (baterai Lithium). Beberapa jenis dari baterai tersebut telah dijual bebas, dan ada juga yang masih dalam tahap penelitian. Baterai kering Lithium jenis Li-ion telah dikomersialkan dan umumnya digunakan sebagai sumber listrik di banyak perangkat portabel karena memiliki kerapatan energi spesifik yang tinggi dan berumur teknis yang panjang. Dalam beberapa dekade terakhir, pemakaian baterai Li-ion berkembang sangat pesat. Baterai Li-ion mulai diproduksi massal pada tahun 2003. Pasar global baterai ini sudah bernilai sekitar satu miliar USD pada saat itu dan pada tahun 2014 berkembang menjadi 4,5 miliar USD, dan penjualan diprediksi akan lebih besar lagi sampai dengan tahun 2020 [2].

Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) adalah salah satu jenis material yang digunakan dalam hampir semua jenis baterai Li-ion. Material LiFePO₄ pada katoda memberikan kemampuan kepada baterai untuk mempertahankan proses discharge agar konstan [3]. Namun sisi kelemahan dari LiFePO₄ adalah memiliki sifat konduktivitas listrik yang rendah, di mana LiFePO₄ murni hanya memiliki konduktivitas listrik rata-rata sekitar 10⁻⁹ S/cm [4]. Karbon aktif dapat dipergunakan untuk meningkatkan nilai konduktivitas LiFePO₄. Untuk meningkatkan kinerja baterai, material yang digunakan sebagai katoda terdapat campuran unsur mangan (Mn) di dalamnya yaitu LiMn_xFe_{1-x}PO₄. Dengan material campuran tersebut, tegangan kerja

baterai dapat dinaikkan dengan memperbesar kandungan unsur Mn dan kapasitas baterai dapat ditingkatkan dengan menaikkan kandungan besi (Fe) di dalam campuran tersebut [5].

Karena memiliki banyak kelebihan, antara lain: stabilitas termal, kinerja dinamik, dan toleransi discharge yang baik [6], maka baterai Li-ion biasanya digunakan sebagai penyimpan energi listrik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan sistem UPS. Selain itu baterai Li-ion juga dipergunakan pada kendaraan angkutan dan alat-alat pertanian [7]. Baterai yang digunakan untuk aplikasi otomotif (kendaraan angkutan dan alat-alat pertanian) memiliki karakteristik yang berbeda dengan baterai untuk aplikasi penyimpanan energi listrik (mode penyimpanan). Baterai untuk kerja MO mempersyaratkan kapasitas dan tegangan yang lebih besar daripada untuk MP, karena berfungsi untuk mengasut dan menggerakkan perangkat yang memerlukan daya besar.

Baterai Li-ion akan berkurang kapasitasnya setelah sekian lama dipergunakan pada mode MO, sehingga tidak bisa lagi untuk mengasut dan menggerakkan kendaraan angkutan atau alat-alat pertanian, akan tetapi kemungkinan masih bisa dimanfaatkan untuk sistem penyimpanan energi listrik seperti dilaporkan pada penelitian [8-10].

Dari penelitian yang telah dilakukan [11-12], terdapat 3 cara untuk meningkatkan efisiensi baterai Li-ion, yaitu: (1) baterai sebagai penyimpan energi listrik dioperasikan di antara rentang beban puncak dan beban normal untuk mengurangi rugi-rugi penyaluran daya listrik, (2) modifikasi material dan proses fabrikasi untuk meningkatkan volume dan kerapatan energi baterai, (3) pemanfaatan baterai bekas untuk meningkatkan nilai pakai baterai tersebut.

Dari hasil penelitian terkini, pemanfaatan baterai bekas adalah salah satu cara terbaik untuk meningkatkan nilai pakai dan umur baterai. Sebagai contoh baterai otomotif setelah tidak dapat dipergunakan lagi oleh kendaraan, selanjutnya masih dapat dimanfaatkan sebagai penyimpan energi listrik, sehingga memperpanjang nilai pakai dan meningkatkan kinerja baterai secara keseluruhan jika dihitung dari nilai investasinya [8, 11-13].

Dalam makalah ini diperkenalkan model dan strategi untuk transformasi baterai Lithium dari MO menjadi MP pada sistem PLTS dengan cara membandingkan nilai SOH baterai pada MO dan MP tersebut. Selanjutnya nilai efisiensi optimum baterai, peralihan dari MO dan MP juga ditentukan sehingga memperpanjang nilai pakai dan meningkatkan kinerja baterai secara keseluruhan.

2. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah ukuran banyaknya energi dalam baterai yang dapat dilepas mulai dari keadaan penuhnya sampai habis. Besar kapasitas baterai ditentukan dalam satuan Ah. Kapasitas baterai dipengaruhi oleh discharge rate yang diterapkan kepada

baterai tersebut. Semakin tinggi nilai arus discharge akan mengakibatkan kapasitas baterai semakin berkurang. Pengaruh arus discharge terhadap kapasitas baterai dapat ditentukan dengan kurva kapasitas. Kurva kapasitas baterai dibuat dengan cara mengukur kapasitas baterai dengan menerapkan arus discharge konstan tertentu [14-15].

Untuk menunjang sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan seringkali menggunakan nilai discharge rate C/20. Dengan discharge rate C/20, baterai 100Ah dapat beroperasi dengan arus pelepasan 5A selama 20jam untuk mengosongkan baterai. Pada proses pengisian baterai (charging) maka charge rate yang paling efisien adalah antara C/10 dan C/3. Tingkat pengisian tersebut hanya dapat dilakukan dalam periode yang singkat dan jika diterapkan untuk periode yang lama akan menjadi tidak ekonomis.

Pelepasan energi tidak boleh dilakukan sampai baterai kosong sama sekali karena akan memendekkan umur baterai. Umur baterai adalah ukuran lama maksimum pemakaian baterai sampai perlu segera diganti. Umur baterai dapat dinyatakan dalam jumlah siklus, siklus penuh, kWh dan tahun. Satu siklus baterai sama dengan proses pelepasan energi baterai sampai pada nilai DOD (depth of discharge) tertentu dan kemudian diisi penuh kembali.

3. Baterai Mode Otomotif

Baterai otomotif adalah baterai isi ulang sebagai pemasok energi listrik ke kendaraan mobil. Baterai ini digunakan untuk mengasut (starting), pencahayaan (lighting) dan pengapian (ignition) kendaraan sehingga disebut juga sebagai baterai SLI (Starting-Lighting-Ignition). Adapun fungsi utama baterai otomotif adalah untuk menghidupkan mesin. Setelah mesin berjalan, daya untuk mobil ini diberikan oleh alternator. Pada umumnya penggunaan baterai untuk mengasut mesin kendaraan memerlukan proses discharge (DOD) rendah (1% - 3%) dari kapasitas baterai, namun arus listrik yang dilepas dari baterai sangat tinggi (100A - 200A) dalam periode waktu yang singkat. Selain itu baterai juga berfungsi memasok energi listrik untuk perangkat listrik kendaraan (lampu, dll) pada saat mesin kendaraan dalam keadaan berhenti.

Baterai Li-ion pada saat ini lebih banyak digunakan dibandingkan dengan baterai asam-timbal dengan pertimbangan pengurangan berat total kendaraan. Untuk kendaraan kecil hanya memerlukan satu baterai Li-ion 12V. Sedangkan untuk kendaraan yang lebih besar (truk, traktor) yang bermesin diesel biasanya menggunakan dua baterai Li-ion 12V yang dipasang seri untuk mendapatkan sistem 24V.

Besar arus listrik yang dilepas oleh baterai dapat ditentukan dan diukur berdasarkan besaran discharge rate baterai. Discharge rate adalah ukuran kemampuan baterai menyalurkan daya listrik secara terus menerus dalam periode waktu tertentu (discharge time). Pada umumnya nilai discharge time dari baterai otomotif berkisar 1-2 jam. Baterai juga dapat dinilai dari

kapasitasnya (dalam satuan Ah). Baterai berkapasitas 100Ah berarti baterai tersebut mampu memasok arus listrik sebesar 5A dalam waktu 20 jam. Namun kapasitas baterai dapat berubah dan tergantung kepada nilai discharge rate. Peningkatan discharge rate menyebabkan pengurangan kapasitas baterai. Pengurangan kapasitas baterai tidak linier terhadap peningkatan discharge rate.

Tabel 1. Kapasitas Baterai dan Discharge Rate

Discharge Time (jam)	Kapasitas
20	100%
10	87%
8	83%
6	75%
5	70%
3	60%
2	50%
1	40%

Penjelasan dari tabel 1 adalah baterai dengan kapasitas 100Ah dapat memasok kapasitas penuh 100% apabila proses discharge dilakukan selama 20 jam dengan arus 5A. Secara teoritis dengan discharge rate 50A seharusnya baterai dapat memasok listrik selama $100\text{Ah} \div 50\text{A} = 2$ jam. Akan tetapi pada kenyataannya untuk 2 jam discharge rate, kapasitas baterai telah berkurang menjadi 50% (50Ah). Sehingga dengan discharge rate 50A baterai hanya mampu memasok listrik selama $50\text{Ah} \div 50\text{A} = 1$ jam.

4. Baterai Mode Penyimpan Energi

Baterai penyimpanan energi listrik (misalnya: PLTS) adalah baterai yang digunakan untuk dapat menyimpan energi listrik dalam jumlah besar, kemudian melepaskan energi listrik pada saat dibutuhkan untuk memasok kebutuhan beban listrik. Proses discharge baterai (DOD) pada umumnya dapat dilakukan sampai 80% dari kapasitas baterai. Proses DOD pada baterai tidak diperbolehkan lebih tinggi dari 80% karena dapat memperpendek usia pakai baterai tersebut.

Berbeda dengan mode otomotif di mana baterai harus memasok energi yang besar dengan cepat untuk mengasut mesin penggerak dengan beban yang berat. Untuk mode penyimpanan energi, baterai hanya perlu memasok energi yang cukup dalam rentang waktu yang lama untuk memenuhi kebutuhan beban listrik.

5. State of Health

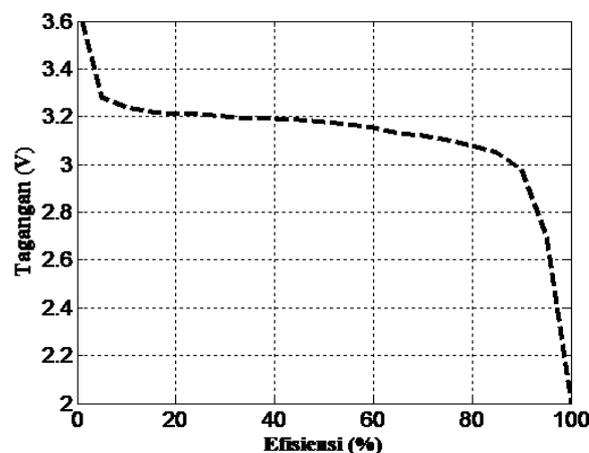
State of health (SOH) adalah indikator yang menyatakan kondisi baterai saat ini dibandingkan dengan kondisi idealnya. Nilai SOH 100% berarti kondisi baterai sama dengan spesifikasi baterai. Pada umumnya, baterai baru memiliki SOH 100% dan nilai SOH nya akan menurun seiring dengan waktu pemakaian.

Nilai SOH adalah parameter penting dalam strategi migrasi baterai dari MO ke MP, karena nilai SOH menentukan kondisi kelayakan baterai dan dapat memprediksi usia pemakaian baterai. Nilai ambang

batas SOH yang layak tergantung jenis aplikasi yang menggunakan baterai. Untuk aplikasi MO, nilai SOH yang layak adalah minimal antara 60%-70%, sedangkan untuk MP diperlukan SOH minimal antara 30%-40%. Untuk menentukan SOH dari baterai diperlukan parameter lain dari baterai yang diperoleh dari hasil pengukuran, yaitu: resistansi internal, kapasitas, tegangan, discharge rate dan jumlah siklus charge-discharge. Lama waktu pemakaian baterai dapat diukur berdasarkan jumlah siklus charge-discharge. Parameter-parameter tersebut berubah nilainya seiring dengan waktu lamanya pemakaian baterai. Semakin lama waktu pemakaian baterai dan dengan meningkatnya discharge rate, maka nilai resistansi dalam baterai akan meningkat (konduktivitas menurun), serta terjadi pelemahan kapasitas dan tegangan baterai. Perubahan nilai parameter-parameter tersebut mempengaruhi perubahan nilai SOH baterai.

6. Hasil dan Bahasan

Grafik efisiensi baterai Li-ion 60Ah ditunjukkan pada gambar 1. Untuk mendapatkan data charge-discharge baterai pada mode otomotif (MO) dan mode penyimpanan (MP), arus charge-discharge pada MO diatur antara 60A – 300A dengan nilai rata-rata sekitar 180A. Kemudian baterai tersebut digunakan untuk beroperasi pada MP di sistem PLTS yang terdiri dari panel PV, inverter, dan baterai Li-ion. Selama pengujian MP dengan beban AC, arus charge-discharge sekitar 30A.



Gambar 1. Efisiensi Baterai

Efisiensi baterai ditentukan pada titik migrasi dari MO ke MP dengan menggunakan 4 model migrasi baterai. Tabel 2 menunjukkan 4 model migrasi dari MO ke MP tersebut. Selama pengujian, setiap proses charge-discharge baterai tegangan baterai dijaga berada dalam rentang 2,0V dan 3,6V.

Dari hasil pengujian, baterai dengan efisiensi terbaik adalah model-400 yaitu mode MO 400 siklus dan mode MP 800 siklus. Sedangkan model-1000 menunjukkan kinerja yang paling jelek pada MO 1000 siklus dan migrasi ke MP 200 siklus. Hal ini disebabkan model-400 memiliki resistansi yang paling kecil dibandingkan dengan model-600, model-800 dan model-1000.

Tabel 2. Model Migrasi dari MO ke MP

Model	(MO (Jumlah Siklus))	MP (Jumlah Siklus)
M-1000	1000	200
M-800	800	400
M-600	600	600
M-400	400	800

Selanjutnya State of health (SOH) digunakan untuk menentukan kinerja baterai pada berbagai kondisi proses siklus charge-discharge. Sehingga SOH dapat menentukan tingkat kerusakan pada baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai SOH setiap model migrasi adalah sebagai berikut: model-1000 SOH = 31,34%, model-800 SOH = 40,22%, model-600 SOH = 65,79% dan model-400 SOH = 98,10%. Dari hasil-hasil SOH, model-400 mengalami tingkat kerusakan yang paling rendah atau dengan kata lain dengan nilai SOH 98,10% berarti baterai hanya mengalami kerusakan sedikit.

7. Kesimpulan

Baterai Lithium dapat diaplikasikan untuk beroperasi pada MO dan MP selama siklus pemakaian. Dari hasil analisis model migrasi MO ke MP, baterai yang dioperasikan sampai 400 siklus pada MO kemudian dialihfungsikan ke MP (800 siklus) memiliki efisiensi dan SOH terbaik.

Referensi

- [1]. J. Shim, K.A. Striebel, "Cycling performance of low-cost lithium ion batteries with natural graphite and LiFePO₄", *Journal of Power Sources*, vol. 119, hal. 955–958, 2013.
- [2]. IEA, *Global EV outlook, understanding the electric vehicle landscape to 2020*, 2013.
- [3]. S.G. Stewart, V. Srinivasan, J. Newman, "Modeling the performance of lithium-ion batteries and capacitors during hybrid-electric-vehicle operation", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 155(9), hal. A664–A671, 2008.
- [4]. M.S. Whittingham, "Lithium batteries and cathode materials", *Chemical Reviews*, vol. 104(10), hal. 4271–4301, 2004.
- [5]. X.H. Liu, T. Saito, T. Doi, S. Okada, J.I. Yamaki, "Electrochemical properties of rechargeable aqueous lithium ion batteries with an olivine-type cathode and a Nasicon-type anode", *Journal of Power Sources*, vol. 189, hal. 706–710, 2009.
- [6]. M.L. Lee, Y.H. Li, S.C. Liao, J.M. Chen, J.W. Yeh, H.C. Shih, "Li₄Ti₅O₁₂-coated graphite as an anode material for lithium-ion batteries", *Applied Surface Science*, vol. 258, hal. 5938–5942, 2012.
- [7]. B. Diouf, R. Pode, "Potential of lithium-ion batteries in renewable energy", *Renewable Energy*, vol. 76, hal. 375–380, 2015.
- [8]. L. Ahmadi, A.Yip, M. Fowler, S.B. Young, R.A. Fraser, "Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 6, hal. 64–74, 2014.
- [9]. A. Poullikkas, "A comparative overview of large-scale battery systems for electricity storage", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 27, hal. 778–788, 2013.
- [10]. P.J. Hall, E.J. Bain, "Energy-storage technologies and electricity generation", *Energy Policy*, vol. 36, hal. 4352–4355, 2008.
- [11]. C. Heymans, S.B. Walker, S.B. Young, M. Fowler, "Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-leveling", *Energy Policy*, vol. 71, hal. 22–30, 2014.
- [12]. J.S. Neubauer, A. Pesaran, B. Williams, M. Ferry, J. Eyer, "A techno-economic analysis of PEV battery second use: repurposed-battery selling price and commercial and industrial end-user value", in *Proceed. The SAE World Congress 2012*, hal. 24–26, 2012.
- [13]. J.S. Neubauer, A. Pesaran, "The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications", *Journal of Power Sources*, vol. 196, hal. 10351–10358, 2011.
- [14]. Junaidi, A. Hiendro, Y.M. Simanjuntak, "Battery control strategy for hybrid power generation systems", *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, hal. 456–462, 2012.
- [15]. A. Hiendro, "Aplikasi metode variable charging strategy pada sistem photovoltaic/ mikrohidro/ diesel untuk menghemat penggunaan bahan bakar", *ELKHA Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1(2), 2008.