

HOMOGENITAS PRODUKSI BATERAI ION LITIMUM BERDASARKAN VARIANS KAPASITAS PENGISIAN, KAPASITAS PELEPASAN DAN EFISIENSI PENGISIAN-PELEPASAN

PRODUCTION HOMOGENITY OF LITHIUM-ION BATTERY BASED ON VARIANS OF CHARGE CAPACITY, DISCHARGE CAPACITY AND CHARGE-DISCHARGE EFFICIENCY

Daniel Fajar Puspita, Susanto Sigit Rahardi

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T), Jl. Sangkuriang No. 14, Bandung
Email: danielfajar7@gmail.com, susantosr@yahoo.com

Diterima: 2 Februari 2016

Direvisi: 4 April 2016

Disetujui: 3 Mei 2016

ABSTRAK

Penelitian mengenai stabilisasi produksi baterai ion litium berdasarkan parameter kapasitas pengisian, kapasitas pelepasan dan efisiensi pengisian-pelepasan telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah prosedur pembuatan baterai ion litium ini dapat menghasilkan produk yang homogen. Pada penelitian material selanjutnya hal ini berguna untuk meyakinkan bahwa perubahan kualitas dari produk baterai yang dihasilkan merupakan pengaruh dari material, bukan karena variabel proses perakitan. Pada penelitian ini dipakai lembaran elektroda siap pakai untuk meniadakan pengaruh variasi bahan baku terhadap kualitas sel baterai yang dihasilkan. Sel baterai dibuat di laboratorium riset baterai B4T. Baterai dibuat sebanyak 3 *batch* dengan jumlah baterai 8 buah setiap *batch*. Baterai yang dihasilkan diuji dengan alat *battery analyzer* merek Berkeley buatan USA dengan arus 0,5 C pada saat *constant-current charging* dan voltase 4,2 V sewaktu *constant-voltage charging* selama 10 siklus pada saat uji kinerja dan arus 0,1 C pada saat pengisian awal. Hasil yang didapat adalah *batch C* menghasilkan sel-sel baterai yang lebih homogen yang ditandai dengan nilai varians dan simpangan baku yang paling kecil dibandingkan *batch* lainnya. Selain itu pada saat uji pengisian-pelepasan 10 siklus, *batch C* juga memperlihatkan kinerja yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proses yang dipakai pada *batch C* dapat menghasilkan sel baterai ion litium berkinerja baik dan homogen.

Kata kunci: stabilisasi produksi, ion litium, kapasitas, efisiensi

ABSTRACT

Research on production stabilization of lithium-ion battery based on charge capacity, discharge capacity and charge-discharge efficiency parameters has been done. The objective of this research is to know whether the procedure of making lithium-ion battery gives homogen products. It would be beneficial for the next material research, which is to ensure that the battery performance acquired solely affected by materials, not by assembly process. On the research, coated electrode sheet was used, to minimise the effect of raw material variation. Battery cells were made in B4T battery research laboratory for 3 batches, which are 8 batteries for each batch. Batteries are analyzed by battery analyzer Berkeley, USA at 0.5 C constant-current charge, 4.2 V constant-voltage charge for 10 cycles during performance test and 0.1 C constant-current charge, 4.2 V constant-voltage during initial charging. The result shows that batch C gives more homogeneous result with smaller varians and standard deviation number. Besides that on performance testing, batch C also gives higher performance. These conclude that the process used in batch C gives good performace and homogeneous batteries.

Keywords: production stabilization, lithium-ion, capacity, efficiency

PENDAHULUAN

Baterai ion litium adalah salah satu jenis baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang mampu menyimpan energi listrik dan dipakai secara berulang-ulang selama beberapa siklus tertentu. Baterai jenis ini dipakai secara luas dalam berbagai aplikasi, seperti di bidang transportasi, telekomunikasi, sistem pencahayaan jalan, *power back-up unit*, *power tools*, dan keperluan lainnya [1,2]. Penggunaan baterai ion litium yang cukup tinggi tak lepas dari kelebihan-kelebihan yang dimiliki jika dibandingkan dengan baterai isi ulang lainnya, antara lain sebagai berikut.

1. Baterai ion litium memiliki energi spesifik yang lebih tinggi.
2. Memiliki tingkat kehilangan listrik (*self-discharge*) paling kecil dibandingkan baterai isi ulang lainnya.
3. Tidak ada *memory effect*, artinya kita tidak perlu mengosongkannya secara total sebelum diisi ulang.
4. Memiliki siklus pengisian-pelepasan paling tinggi sekitar 400-1000 siklus [3].

Karena berbagai kelebihan itulah baterai lithum-ion banyak diproduksi. Untuk menunjang keinginan pasar yang semakin meningkat, riset yang berkaitan dengan pengembangan material baru keamanan [4,5], maupun peningkatan kinerja baterai terus dilakukan.

Penelitian yang berkaitan dengan pengembangan material baru telah banyak dilakukan. Penelitian ini mencakup jenis material maupun proses pembuatannya. Material tersebut selanjutnya dibuat menjadi baterai, untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja baterai. Salah satu parameter untuk mengetahui kinerja baterai adalah jumlah energi yang tersimpan dalam baterai yang dikenal sebagai kapasitas baterai. Pada baterai ion litium, kapasitas digambarkan dalam satuan *mili ampere hour* (mAh).

Dalam baterai, selain jenis dan kualitas bahan baku, proses perangkaian (*assembly*) juga menentukan kualitas baterai yang dihasilkan. Proses perangkaian yang kurang optimal bisa menurunkan kualitas baterai. Sebagai contoh apabila proses *sealing* kurang optimal, ada kemungkinan elektrolit akan bocor yang mengakibatkan baterai gagal produksi.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang tabilisasi produksi baterai ion litium

(*reproducibility*). Dalam hal ini, parameter stabilitas yang dilihat adalah kapasitas dari sel baterai yang dihasilkan. Yang dimaksud dengan *reproducibility* adalah kemampuan untuk mengulangi suatu proses dan menghasilkan hasil yang relatif sama. Hal ini sangat penting untuk menunjukkan bahwa proses yang dijalankan sudah valid dan benar.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat apakah prosedur yang dipakai dalam membuat baterai ion litium ini bisa menghasilkan produk yang homogen, dengan memakai bahan baku yang sama kualitasnya. Pada penelitian material selanjutnya hal ini diperlukan untuk meyakinkan bahwa perubahan kualitas dari produk baterai yang dihasilkan merupakan pengaruh dari material, bukan karena variabel proses perakitan. Selain itu, proses perangkaian baterai yang diperoleh diharapkan dapat memiliki manfaat bagi industri yang bergerak dalam produksi baterai ion litium.

BAHAN DAN METODE

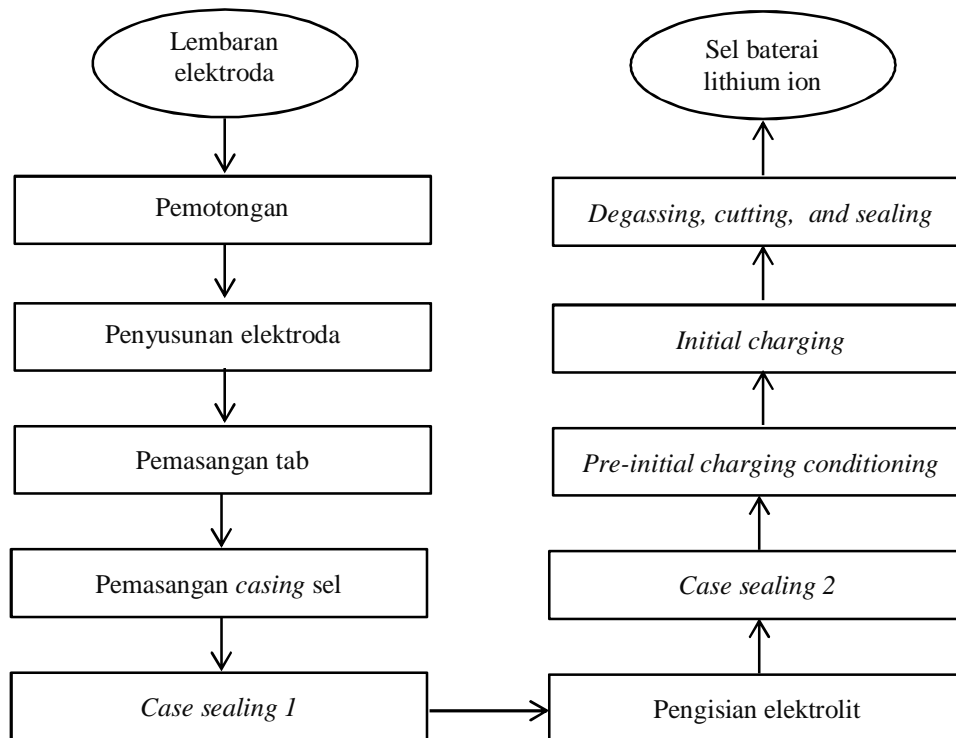
Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Cathode coated sheet, double-sided* dengan bahan aktif LiFePO_4 , *current collector aluminium, double-sides active material density* 320 g/m², *specific capacity* 127 mAh/g, luasan lapisan katoda : 11 x 6,4 cm²
2. *Anode coated sheet, double-sided* dengan bahan aktif grafit, *current collector : copper foil* 9 µm, *double-sides active material density*: 120 g/m², *specific capacity* 330 mAh/g, luasan lapisan anoda : 11 x 6,4 cm²
3. *Aluminium tab* untuk katoda
4. *Nickel tab* untuk katoda
5. *Separator: monolayer polyethylene membrane*, tebal 16 µm, dilapisi dengan lapisan alumina *double-sided*
6. Elektrolit : LiPF_6
7. *Casing : aluminium laminated film*, ketebalan 115 µm.

Bahan-bahan tersebut diperoleh dari PT KGC Sainifik Indonesia pada bulan Desember 2015. Pada penelitian ini dipakai lembaran elektroda siap pakai dengan asumsi bahwa kualitas lembaran elektroda seragam, untuk meniadakan pengaruh variasi bahan baku terhadap kualitas sel baterai yang dihasilkan. Bahan-bahan tersebut dibuat menjadi sel baterai

di laboratorium riset baterai B4T. Proses pembuatan baterai ion litium menggunakan

lembaran elektroda siap pakai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Proses Pembuatan Baterai Ion Litium Menggunakan Lembaran Katoda Siap Pakai

Elektroda disusun dengan cara menempatkan katoda anoda secara bergantian tergantung banyak tumpukan yang diinginkan. Pada penelitian ini dipakai 1 katoda dan 2 anoda dalam satu sel baterai. Diantara katoda dan anoda diberi separator untuk menghindari *short-circuit* (korslet). Yang dimaksud dengan satu sel baterai (*battery cell*) adalah unit terkecil baterai yang bisa dipakai sebagai unit penyimpanan energi listrik secara independen. Elektrolit yang dipakai sebanyak 6 gram untuk tiap sel baterai. Pada saat *initial charging*, sel diisi dengan arus 0,1 C sewaktu *constant current charging* dan voltase 4,2 V sewaktu *constant-voltage charging*. Yang dimaksud dengan 1 C adalah suatu kondisi pengisian (*charging*) atau pemakaian (*discharging*) yang mana dengan arus tersebut, baterai bisa penuh dalam waktu 1 jam [6]. Misalnya, agar baterai dengan kapasitas 1000 mAh dapat penuh dalam waktu 1 jam, maka baterai diisi dengan arus 1000 mA.

Pada penelitian ini baterai dibuat sebanyak 3 *batch* dengan jumlah baterai 8 buah setiap *batch*. Baterai yang dihasilkan diuji dengan alat *battery analyzer* merek Berkeley buatan USA dengan arus 0,5 C pada saat *constant current charging* dan voltase 4,2 V sewaktu *constant-*

voltage charging. Parameter yang akan diamati adalah kapasitas pengisian, kapasitas pelepasan dan efisiensi pengisian-pelepasan.

Data untuk proses pengisian awal baterai diolah untuk mendapatkan nilai varians dan simpangan baku melalui persamaan [7].

$$\text{Varians} \quad : \sigma^2 = \frac{\sum x^2 - n(\bar{x})^2}{n-1} \quad \dots(1)$$

$$\text{Simpangan baku} \quad : \sigma = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n(\bar{x})^2}{n-1}} \quad \dots(2)$$

Keterangan :

σ^2 = varians

σ = simpangan baku

x = nilai tiap sampel

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat dari tiap sampel

n = jumlah sampel

\bar{x} = rata-rata nilai sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengisian Awal Baterai

Pada pengisian awal (*initial charging*), baterai diisi dengan arus kecil (0,1 C). Proses pengisian awal ini juga sering disebut dengan *formation process*. Selama proses ini, lapisan

solid-electrolyte interphase (SEI) yang stabil terbentuk di elektroda negatif dan memungkinkan juga terbentuk di elektroda positif. Fungsi dari SEI ini adalah untuk menghalangi terbentuknya *electrode-electrolyte interphases* dan juga reaksi samping yang lain. Dipakai arus kecil, agar proses pembentukan bisa berjalan lebih optimal [8].

Tabel 1. Data Pengisian Awal untuk *Batch A*

No	Kode sel	Kapasitas pengisian (mAh)	Kapasitas pelepasan (mAh)	effisiensi (%)
1	A001	234,00	213,90	91,41
2	A002	215,80	184,60	85,54
3	A003	164,50	143,60	87,29
4	A004	182,40	164,20	90,02
5	A005	168,40	129,70	77,02
6	A006	181,20	159,20	87,86
7	A007	210,50	191,70	91,07
8	A008	154,50	130,10	84,21
σ^2		789,24	920,50	
σ		28,09	30,34	
\bar{x}		188,91	164,63	

Tabel 2. Data Pengisian Awal untuk *Batch B*

No	Kode sel	Kapasitas pengisian (mAh)	Kapasitas pelepasan (mAh)	effisiensi (%)
1	B009	139,10	117,30	84,33
2	B010	205,60	186,10	90,52
3	B011	224,70	192,20	85,54
4	B012	197,20	175,60	89,05
5	B013	213,70	190,50	89,14
6	B014	223,60	195,50	87,43
7	B015	210,60	192,20	91,26
8	B016	211,90	195,30	92,17
σ^2		752,80	695,34	
σ		27,44	26,37	
\bar{x}		203,30	180,59	

Tabel 3. Data Pengisian Awal untuk *Batch C*

No	Kode sel	Kapasitas pengisian (mAh)	Kapasitas pelepasan (mAh)	effisiensi (%)
1	C017	237,60	217,20	91,41
2	C018	212,50	192,00	90,35
3	C019	201,90	179,80	89,05
4	C020	200,70	182,30	90,83
5	C021	210,10	189,80	90,34
6	C023	195,10	181,70	93,13
7	C024	206,30	175,90	85,26
1	C017	237,60	217,20	91,41
σ^2		191,84	192,78	
σ		13,85	13,88	
\bar{x}		209,17	188,39	

Pada proses pengisian awal, data untuk *batch A,B* dan *C* dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Dari ketiga tabel tersebut dapat dilihat bahwa *batch C* menghasilkan baterai yang lebih homogen, yang ditandai dengan nilai varians (σ^2) dan simpangan baku (σ) yang paling kecil berturut-turut sebesar 191,84 dan 13,85 untuk kapasitas pengisian dan 192,78 dan 13,88 untuk kapasitas pelepasan.

Pada *batch A*, data kapasitas yang didapat masih heterogen dengan kisaran data dari 154,5 mAh sampai 234 mAh untuk kapasitas pengisian dan dari 130,10 mAh sampai 213,90 mAh untuk kapasitas pelepasan. Namun setelah beberapa penyempurnaan prosedur dan parameter proses, didapat hasil yang jauh lebih baik pada *batch C*, yaitu dari 195,10 mAh sampai 237,60 mAh untuk kapasitas pengisian dan dari 175,90 mAh sampai 217,20 mAh untuk kapasitas pelepasan.

Dari segi kinerja, *batch C* juga menghasilkan baterai dengan kinerja yang paling baik dengan kapasitas pengisian rata-rata sebesar 209,17 mAh dan kapasitas pelepasan rata-rata sebesar 188,39 mAh. Angka ini lebih besar dari pencapaian pada *batch A* dan *B*. Dari segi kinerja dan keragaman hasil pada proses *initial charging* dapat dilihat bahwa prosedur dan parameter proses yang dipakai pada *batch C* mampu menghasilkan baterai dengan kinerja yang lebih baik dan lebih seragam.

Pengujian Sel Baterai

Tahapan selanjutnya yang harus dilakukan adalah uji kinerja sel baterai. Baterai ion litium dibuat dengan maksud agar baterai dapat diisi dan dipakai secara berulang-ulang (*rechargeable battery*). Oleh karena itu untuk pengujian kinerja baterai akan melalui proses pengisian-pelepasan sebanyak 10 siklus.

Untuk proses *charging*, baterai akan diisi dengan arus 0,5 C sewaktu *constant-current charging* dan voltase 4,2 V sewaktu *constant-voltage charging*. Untuk proses *discharging*, kondisi yang dipakai adalah 0,5 C *constant-current discharging*. Pada tahapan ini, yang akan dibandingkan hanya *batch B* dan *C*. *Batch B* mewakili proses hasil perumusan awal sedangkan *batch C* mewakili proses yang sudah mengalami perbaikan.

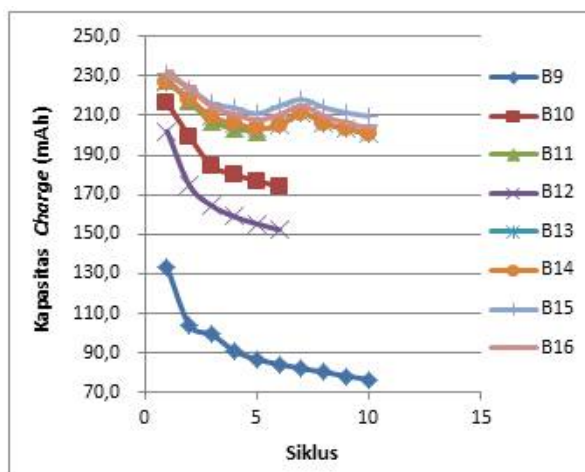
1. Kapasitas Pengisian (*Charging Capacity*) (mAh)

Perbandingan antara *batch B* dan *C* untuk kapasitas pengisian dapat dilihat di Gambar

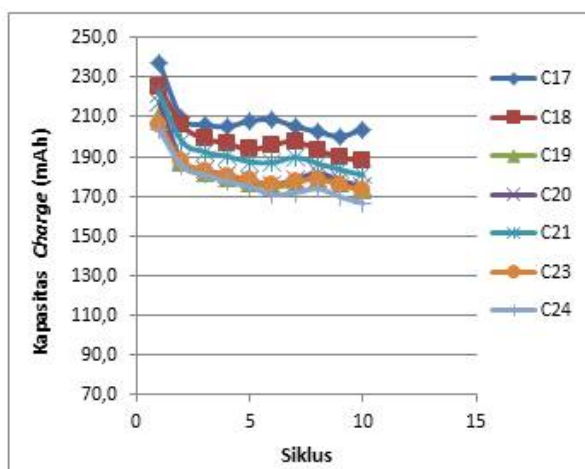
2 dan 3. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa kinerja keseluruhan *batch C* lebih baik daripada *batch B*.

Dari Gambar 3, bila kita mengabaikan kinerja pada siklus pertama, kinerja *batch C* pada siklus kedua sampai kesepuluh relatif stabil. Kita bisa menganggap bahwa pada siklus pertama masih terdapat penyesuaian kondisi baterai.

Bila kita bandingkan dengan Gambar 2, kinerja sel baterai yang relatif stabil hanya terdapat pada sel dengan kode B11, B13, B14, B15 dan B16 sedangkan pada sel B9, B10, dan B12 terjadi penurunan kinerja yang cukup nyata. Selain itu kinerja sel B9 jauh di bawah sel baterai lainnya. Penurunan kapasitas pengisian untuk B9, B10 dan B12 berturut-turut adalah 56,6 mAh, 42,3 mAh, dan 49,8 mAh sedangkan untuk *batch C*, rata-rata penurunan kapasitas pengisian adalah sebesar 37,4 mAh.



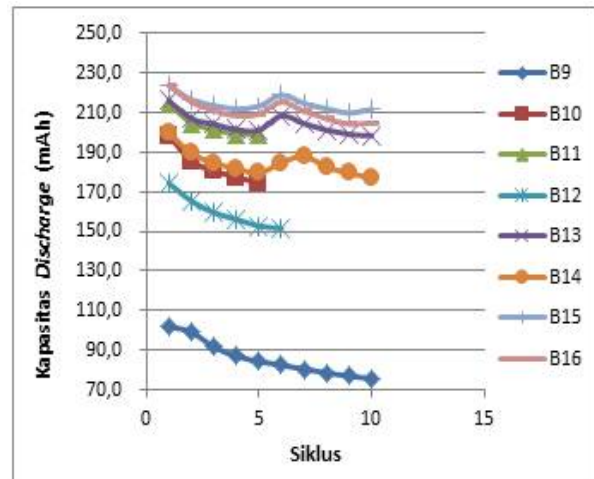
Gambar 2. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch B* untuk Parameter Kapasitas Pengisian (mAh)



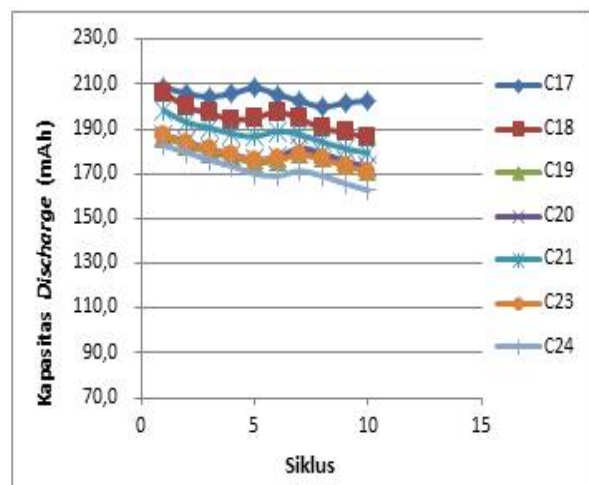
Gambar 3. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch C* untuk Parameter Kapasitas Pengisian (mAh)

2. Kapasitas Pakai (*Discharge Capacity*) (mAh)

Seperti pada kapasitas pengisian, *batch C* juga lebih baik pada kinerja kapasitas pelepasan. Pada *batch B*, sel dengan kode B9 dan B12 memiliki kinerja dibawah sel lainnya, sedangkan pada *batch C* kinerjanya relatif stabil.



Gambar 4. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch B* untuk Parameter Kapasitas Pelepasan (mAh)



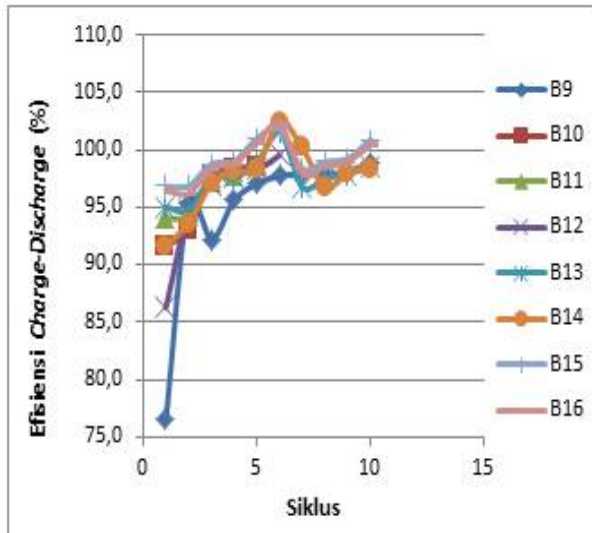
Gambar 5. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch C* untuk Parameter Kapasitas Pelepasan (mAh)

3. Efisiensi Pengisian-Pelepasan (%)

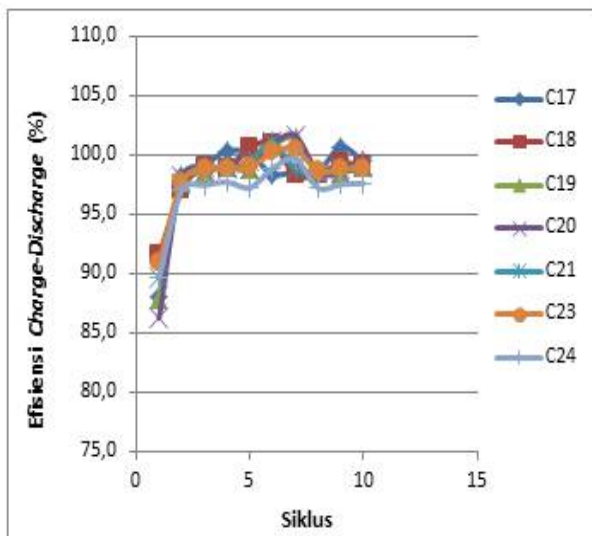
Pada efisiensi pengisian-pelepasan, *batch B* menunjukkan hasil yang lebih heterogen, walaupun untuk sebagian besar datanya masih di atas 90 %. Kinerja yang paling rendah adalah sel baterai B9 dengan efisiensi pada siklus pertama adalah yang paling kecil yaitu 76,5 %.

Untuk *batch C*, kinerja antar sel-sel baterai menunjukkan kecenderungan yang

lebih homogen. Apabila kita mengabaikan siklus pertama pada masing-masing sel, didapat data efisiensi yang relatif stabil, yaitu di atas 97,1 %. Dari data-data tersebut dapat diartikan bahwa dari segi efisiensi pengisian-pelepasan, *batch C* memiliki kinerja yang lebih tinggi, lebih homogen, dan lebih stabil dibandingkan dengan *batch B*.



Gambar 6. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch B* untuk Parameter Kapasitas Efisiensi Pengisian-Pelepasan (%)



Gambar 7. Hasil Uji Kinerja Sel Baterai *Batch C* untuk Parameter Kapasitas Efisiensi Pengisian-Pelepasan (%)

Pada pembuatan baterai, banyak faktor yang menentukan kualitas baterai. Salah satu teori yang membahas hal ini adalah teori 5M+1E [9]. Sesuai namanya faktor-faktor tersebut

dapat dibagi menjadi 6 kategori yaitu *man*, *machine*, *material*, *measurement*, *method* dan *environment*. Dari sisi operator (*man*), operator yang lebih terampil akan menghasilkan baterai yang lebih baik. Selain itu operator yang berbeda bisa jadi akan menghasilkan baterai dengan kualitas yang berbeda pula. Hal yang serupa juga berlaku untuk mesin yang dipakai untuk membuat baterai. Mesin (*machine*) yang berbeda dapat memberikan hasil baterai yang berbeda. Dari sisi proses (*methode*), SOP untuk perangkaian juga terus mengalami perbaikan. Perbaikan ini merupakan buah dari pengalaman dan pengamatan dari operator dan supervisor. Dari segi bahan baku (*material*), bahan dari asal yang berbeda akan menghasilkan baterai dengan kualitas yang berbeda juga. Selain itu untuk material yang sensitif terhadap oksidasi, jika sudah dibuka cukup lama, akan menurunkan kinerja baterai yang dihasilkan.

Pada percobaan ini, faktor operator, mesin, lingkungan, pengukuran dan bahan baku sebagai penyebab variasi kualitas bisa diabaikan. Hal tersebut diasumsikan dengan pertimbangan bahwa baterai dibuat dengan mesin dan di lingkungan yang sama, dan bahan baku yang dipakai berasal dari sumber yang sama. Selain itu, baterai dibuat oleh operator yang sama.

Terjadinya perbedaan kualitas kemungkinan besar disebabkan oleh perbedaan proses yang dilakukan. Proses pengerjaan yang lebih teliti dan rapi pada tahap pemotongan, *stacking*, pemasangan *tab* menyebabkan kualitas produk yang lebih baik, yang ditunjukkan dengan meningkatnya kapasitas dan efisiensi pengisian-pelepasan. Selain itu modifikasi proses juga dilakukan pada tahap *initial charging*. Pada tahap pengisian awal, terbentuk lapisan antar muka padat-cair (*solid-liquid interface*) [10]. Lapisan ini bersifat konduktif, akan tetapi bila terlalu tebal akan menghalangi ion Li^+ untuk terinterkalasi di antara lapisan karbon pada grafit di anoda, sehingga bisa mengurangi kapasitas. Pada percobaan ini belum ditemui titik optimal, akan tetapi kinerja yang didapat makin baik. Pada beberapa sampel baterai, kapasitas yang didapat tidak sebanyak baterai lainnya. Hal tersebut terjadi kemungkinan karena pada saat *case sealing 2* (setelah pengisian elektrolit) terjadi sedikit kebocoran, sehingga sebagian elektrolit menguap, yang mengakibatkan penurunan kapasitas baterai.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dari segi kinerja dan keragaman hasil pada proses *initial charging* dapat dilihat bahwa prosedur dan parameter proses yang dipakai pada *batch C* mampu menghasilkan baterai dengan kinerja yang lebih baik yang ditunjukkan dengan kapasitas pengisian rata-rata sebesar 209,17 mAh dan kapasitas pelepasan rata-rata sebesar 188,39 mAh dan baterai yang lebih seragam dengan nilai varians (σ^2) dan simpangan baku (σ) yang paling kecil berturut-turut sebesar 191,84 dan 13,85.
2. Dari sisi kapasitas pengisian dan kapasitas pelepasan, *batch C* memiliki kinerja yang lebih homogen dan lebih stabil dibandingkan *batch B*. Pada *batch B* terdapat baterai kode B9 yang kinerjanya 50% dari baterai lainnya.
3. Bila dilihat dari efisiensi pengisian-pelepasan, kinerja sel-sel pada *batch C* lebih homogen bila dibandingkan dengan *batch B*. Dan apabila kita mengabaikan hasil pada siklus pertama, *batch C* memberikan kinerja yang lebih stabil dan lebih baik daripada *batch B* yaitu di atas 97,1 %.
4. Perlu dicari parameter pada *initial charging* yang memberikan kapasitas dan efisiensi pengisian-pelepasan yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," *J. Power Sources.*, vol. 226, pp. 272–288, 2013.
- [2] Y. Li, J. Yao, E. Uchaker, J. Yang, Y. Huang, and M. Zhang, "Leaf-Like V 2 O 5 Nanosheets Fabricated by a Facile Green Approach as High Energy Cathode Material for Lithium-Ion Batteries," pp. 1171–1175, 2013.
- [3] Z. Wang, L. Zhou, X. Wen, and D. Lou, "Metal Oxide Hollow Nanostructures for Lithium-ion Batteries," pp. 1903–1911, 2012.
- [4] G. Zhang, L. Yu, H. Bin Wu, H. E. Hoster, X. Wen, and D. Lou, "Formation of ZnMn 2 O 4 Ball-in-Ball Hollow Microspheres as a High-Performance Anode for Lithium-Ion Batteries," 2012.
- [5] J. Wen, Y. Yu, C. Chen, "A Review on Lithium-ion Batteries Safety Issues : Existing Problems and Possible Solutions", *Mater. Express*, Vol. 2 No. 3 pp. 197-212, 2012.
- [6] X. Wu, Y. Guo, J. Su, J. Xiong, Y. Zhang, and L. Wan, "Carbon-Nanotube-Decorated Nano-LiFePO 4 @ C Cathode Material with Superior High-Rate and Low-Temperature Performances for Lithium-Ion Batteries," vol. 5, pp. 1155–1160, 2013.
- [7] J. Berk, S Berk, "Quality management for Technology Sector", Delhi, Repika Press Pvt Ltd, 2001.
- [8] P.B. Balbuena, Y.X. Wang, "Lithium Ion Batteries: Solid Electrolyte Interphase", Imperial College Press, London. ISBN 1860943624, 2004.
- [9] W. Sonphuak and N. Rojanarowan, "International Journal of Industrial Engineering Computations," vol. 4, pp. 505–516, 2013.
- [10] S. S. Zhang, "A review on electrolyte additives for lithium-ion batteries," vol. 162, no. July, pp. 1379–1394, 2006.

