

PENGARUH PEMANASAN PADA PROSES PELARUTAN *BINDER* TERHADAP KINERJA KATODA PADA SEL BATERAI ION-LITIUM

THE EFFECT OF HEATING DURING BINDER DISSOLUTION PROCESS ON THE PERFORMANCE OF CATHODE FOR LITHIUM-ION BATTERY

Daniel Fajar Puspita

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

Diterima : 24 Maret 2017

Direvisi : 13 April 2017

Disetujui : 4 Mei 2017

ABSTRAK

Penelitian mengenai pengaruh pemanasan pada proses pelarutan *binder* terhadap kinerja katoda pada sel baterai ion-litium telah dilakukan. Penelitian ini merupakan bagian dari teknologi *coating* yang diterapkan pada aplikasi baterai ion-litium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanasan pada proses pelarutan *binder* terhadap larutan *binder*, kualitas fisik katoda dan kualitas sel baterai ion-litium yang dibuat menggunakan larutan *binder* tersebut. *Slurry* untuk pembuatan katoda menggunakan bahan LiMn_2O_4 sebagai bahan aktif, *acetylene black* sebagai konduktif, NMP sebagai pelarut dan PVDF sebagai *binder*. Pelarutan *binder* dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* berpemanas dengan variasi suhu 25, 40 dan 80 °C. Dari hasil percobaan, didapat hasil bahwa proses pelarutan pada suhu 40 dan 80 °C menghasilkan larutan *binder* berwarna jernih kekuningan, sedangkan untuk variasi 25 °C menghasilkan larutan putih transparan. Daya rekat dan fleksibilitas paling baik diperoleh dari lembaran katoda dengan variasi suhu 25 °C. Untuk kualitas sel baterai, baterai yang paling baik didapat dari variasi 25 °C dengan tahanan dalam paling kecil dan kapasitas yang baik. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa pemanasan saat pelarutan *binder* mempengaruhi kualitas larutan *binder*, kualitas fisik katoda dan kualitas sel baterai ion-litium yang dihasilkan. Dari 3 macam variasi pemanasan yang dilakukan, pelarutan *binder* pada suhu 25 °C memberikan hasil yang paling baik secara keseluruhan.

Kata kunci : teknologi *coating*, pelarutan *binder*, katoda ion-litium

ABSTRACT

Research on the effect of heating during binder dissolution process on the performance of cathode for lithium-ion cell had been done. This research is a part of coating technology which is applied on lithium-ion battery. The objective of this research is to observe the effect of heating on dissolution process of binder on the binder solution, cathode sheet, and the cell itself. Slurry was prepared by using LiMn_2O_4 as an active substance, acetylene black as a conductive, NMP as solvent and PVDF as a binder. Binder dissolution was performed by utilizing heatable magnetic stirrer at temperature variations of 25, 40 and 80 °C. The results showed that the color of binder solution made at 40 and 80 °C were yellow transparent whereas that made at 25 °C was cloudy white transparent. The best binding strength and flexibility of cathode was obtained from 25 °C trial. The best quality cell was obtained from 25 °C trial which produced the lowest internal resistance with decent capacity. It can be concluded from this experiment that heating during dissolution process of binder affected the quality of binder solution, cathode sheet, and the cell. In general, of 3 heating temperature variable, binder dissolution at 25 °C give the best result.

Keywords : *coating technology, binder dissolution, lithium-ion cathode*

PENDAHULUAN

Teknologi *coating* memiliki peran yang luas dalam perkembangan peradaban manusia. Perkembangan teknologi *coating* tidak hanya

sebatas untuk keperluan proteksi dan estetika pada bangunan [1,2], industri otomotif [3], teknologi *coating* juga diperlukan di dalam industri energi. Pada industri pembangkit energi, teknologi *coating* dipakai dalam pembuatan sel

surya jenis *thin-film* [4]. Sedangkan untuk industri penyimpanan energi, teknologi *coating* digunakan pada saat pembuatan elektroda positif (katoda) [5] dan elektroda negatif (anoda) [6] pada baterai ion-litium.

Dengan berbagai keunggulannya, baterai ion-litium menjadi pilihan utama sebagai unit penyimpan energi. Selain memiliki bobot yang lebih ringan, baterai ion-litium juga memiliki densitas energi yang lebih besar dan mempunyai waktu siklus yang lebih panjang dari baterai sekunder generasi sebelumnya [7], seperti baterai jenis *lead-acid*, NiCd dan NiMH. Oleh karena itu, baterai ion-litium dipakai secara luas dalam berbagai aplikasi seperti peralatan komunikasi, perlengkapan portabel sampai dengan kendaraan listrik.

Perkembangan teknologi *coating* pada pembuatan lembaran elektroda (*electrode preparation*) tidak sepesat perkembangan penelitian di bidang material pada baterai ion-litium. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya literatur yang menyampaikan tentang perkembangan riset material untuk baterai ion-litium. Di sisi lain, literatur yang melibatkan teknologi *coating* untuk pembuatan lembaran elektroda jumlahnya relatif lebih sedikit.

Pada umumnya, untuk pembuatan lembaran katoda, bahan-bahan yang dipakai dicampur sehingga terbentuk *slurry* kemudian dilapiskan di atas lembaran aluminium sebagai substrat. Bahan baku *coating* pada pembuatan katoda mencakup bahan aktif (LiMn_2O_4 , LiFePO_4 , atau bahan aktif lainnya), material konduktif (berbasis karbon), pelarut (N-Methyl-2-pyrrolidone atau lebih dikenal dengan sebutan NMP), dan binder (polyvinylidene difluoride/PVDF). Dalam perkembangannya, ada juga peneliti yang menggunakan variasi dari PVDF sebagai binder (penggunaan co-polimer PVDF sebagai bahan pembuat binder) [8]. Sebagian peneliti memilih untuk menggunakan *water-based solvent* untuk pembuatan katoda [9]. Bahkan ada juga yang mengusulkan teknologi *solvent-free* dalam penyiapan lembaran katoda untuk baterai ion-litium [10].

Dari berbagai literatur, kebanyakan tidak menyebutkan metode pelarutan PVDF dalam NMP pada pembuatan *slurry*. Secara umum hanya disebutkan komposisi larutan *binder* berisi sekitar 5 % PVDF dalam NMP [11]. Namun ada juga sumber yang menyebutkan durasi pencampuran NMP dan PVDF selama 40

menit [12], tanpa menyebutkan temperatur pencampuran secara spesifik.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi temperatur pelarutan PVDF dalam NMP pada suhu 25, 40 dan 80 °C. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi suhu pelarutan PVDF terhadap larutan *binder*, lembaran katoda, begitu juga dengan kualitas baterai yang dibuat dari lembaran katoda tersebut. Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah diketahuinya pengaruh suhu pelarutan *binder* terhadap kinerja baterai ion-litium dan juga proses yang paling optimal untuk menghasilkan baterai dengan kinerja paling baik, khususnya pada tahapan penyiapan lembaran katoda.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di laboratorium riset baterai Balai Besar Bahan dan Barang Teknik. Bahan-bahan yang dipakai untuk pembuatan lembaran katoda adalah LiMn_2O_4 sebagai bahan aktif, *acetylene black* sebagai konduktif, NMP sebagai pelarut, PVDF sebagai binder dan lembaran aluminium foil sebagai substrat *current collector*. Sedangkan untuk membuat sel baterai, dibutuhkan bahan-bahan berupa lembaran katoda yang dibuat sendiri, lembaran anoda berbahan aktif grafit, separator, elektrolit LiPF_6 , aluminium tab, nikel tab dan *laminated aluminium casing*. Sel baterai memiliki bentuk *pouch*. Adapun formulasi katoda pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Peralatan yang dipakai untuk menyiapkan larutan *binder* adalah pengaduk magnetik yang dilengkapi dengan pemanas. Sebagai pencampur *slurry* katoda, digunakan *vacuum mixer*. Untuk menyiapkan lembaran katoda, dipakai alat *automatic coating and drying machine* dan *vacuum oven*. Pada penyiapan sel baterai, dipakai alat *electrode cutting machine*, *sealing machine*, *oven*, *glovebox* dan *ultrasonic welding*. Untuk pengujian kualitas sel baterai dipakai *internal resistance tester* dan *battery analyzer*. Bahan untuk penelitian didapat dari MTI sedangkan peralatan yang dipakai memiliki merek MTI atau Berkeley.

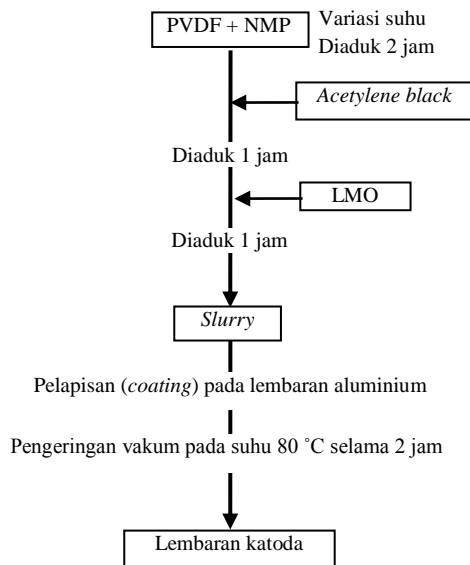
Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 2 tahapan besar yaitu pembuatan lembaran katoda dan pembuatan sel baterai. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 1 dan Gambar 2. Sulit untuk mendapatkan

campuran yang homogen apabila serbuk PVDF sebagai binder langsung dicampurkan dengan karbon konduktif dan bahan aktif. Untuk itu PVDF dilarutkan ke dalam NMP terlebih dahulu, baru kemudian dicampurkan karbon dan

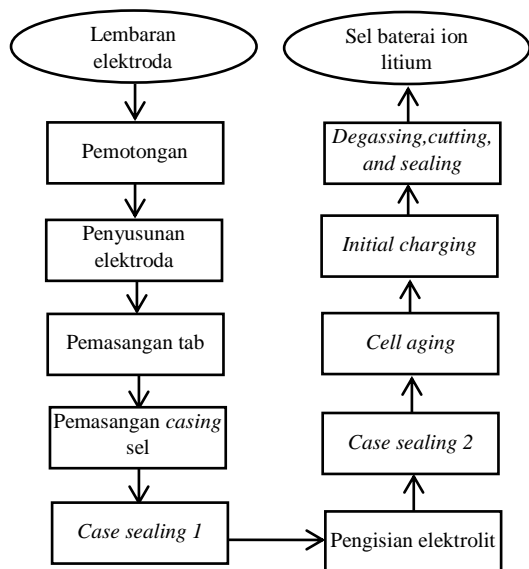
LiMn_2O_4 secara berturut-turut sehingga didapatkan slurry. Sel baterai yang dibuat berbentuk *pouch* yang terdiri dari satu lembaran anoda, elektroda dan katoda.

Tabel 1. Formulasi Lembaran Katoda

No	Bahan Penyusun	Fungsi	Persentase Berat (% w/w)	
			Berat Basah	Berat Kering
1	Lithium Mangan Oksida (LiMn_2O)	Bahan aktif sumber ion-litium	48,54	94,34
2	Acetylene Black	Material konduktif	0,97	1,89
3	N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP)	Pelarut	48,54	-
4	Polyvinylidene Difluoride (PVDF)	Perekat (<i>binder</i>)	1,94	3,77



Gambar 1. Proses Pembuatan Lembaran Katoda



Gambar 2. Proses Pembuatan Sel Baterai Ion-Litium [13]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampakan Visual Larutan Binder

Pada tahap awal pembuatan lembaran katoda, larutan *binder* disiapkan terlebih dahulu dengan cara melarutkan serbuk PVDF ke dalam NMP. Pada percobaan ini dipakai variasi suhu 25, 40 dan 80 °C selama 2 jam. Larutan yang dihasilkan dari pengadukan pada suhu 25 °C, larutan berwarna putih transparan, sedangkan pengadukan pada 40 dan 80 °C, berwarna transparan kekuningan. Warna larutan pada suhu 40 °C lebih cerah dari larutan pada suhu 80 °C. Terjadinya warna transparan kekuningan kemungkinan karena reaksi oksidasi atau terbentuknya ikatan konjugasi pada PVDF. Penambahan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada larutan PVDF-NMP menimbulkan perubahan warna karena terbentuknya ikatan konjugasi pada polimer PVDF [14]. Ikatan konjugasi kemungkinan juga bisa terbentuk karena pemanasan yang terus-menerus selama pelarutan sehingga terjadi perubahan warna menjadi kekuningan.

Karakteristik Lembaran Katoda Hasil Percobaan

Larutan *binder* yang dibuat kemudian ditambah dengan material konduktif dan bahan aktif yang mengandung litium dan diaduk sampai terbentuk *slurry*. *Slurry* yang didapat kemudian dilapisan di atas lembaran aluminium tipis dan dikeringkan sehingga didapat lembaran katoda kering. Katoda diberi kode berturut-turut A, B, dan C untuk lembaran yang dibuat dari larutan binder masing-masing pada suhu 25, 40 dan 80 °C. Tiap lembaran katoda dari masing-masing perlakuan memiliki karakteristik yang berbeda. Karakteristik yang diperoleh bisa dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Karakteristik Lembaran Katoda Hasil Percobaan

No	Karakteristik yang Diamati	Variasi Katoda dari Hasil Percobaan		
		A	B	C
1	Warna	Hitam	Hitam Kecoklatan	Hitam Kecoklatan (lebih terang)
2	Daya rekat lapisan katoda pada lembaran aluminium	Lapisan komposit lebih fleksibel dan daya lekat paling kuat	Agak mudah mengelupas	Mudah mengelupas dan mudah patah

Warna kecoklatan pada lembaran katoda B dan C kemungkinan terjadi karena pengaruh dari larutan *binder* yang dipakai. Warna larutan *binder* yang kekuningan membuat hasil akhir lembaran katoda menjadi hitam kecoklatan. Hal tersebut berbeda dengan kode A yang memiliki warna hitam.

Untuk daya rekat, lapisan katoda pada katoda A melekat paling kuat pada lembaran aluminium foil dibandingkan jenis lainnya. Ketika sampel katoda dilipat, lapisan katoda pada bagian lipatan untuk jenis sampel A masih menempel dan hanya sedikit yang mengelupas. Berbeda dengan katoda A, lapisan katoda pada lembaran katoda B dan C lebih mudah mengelupas. Bahkan pada lembaran C, sebagian lapisan katoda mengelupas dari lembaran aluminiumnya. Daya rekat yang lebih rendah pada lembaran B dan C kemungkinan terjadi karena selama proses pelarutan, sebagian polimerisasi pada PVDF sudah terjadi sehingga ikatan antara komposit dengan lapisan aluminium menjadi lebih lemah. Berbeda dengan lembaran B dan C, pada lembaran katoda A pemanasan terjadi hanya pada proses pengeringan. Pada tahapan ini NMP sebagai pelarut menguap karena adanya panas pada proses pengeringan saja. Komposit antara LMO, *acetylene black* dan PVDF terbentuk lebih baik dan merekat lebih kuat pada lembaran aluminium. Hal tersebut membuat daya lekat komposit pada lembaran aluminium untuk katoda A lebih baik dibandingkan dengan katoda B dan C.

Selain penggunaan sebagai material *binder* pada baterai ion-litium, PVDF juga digunakan untuk pembuatan komposit keramik-polimer

dalam aplikasi industri listrik dan elektronik. Komposit tersebut memiliki fleksibilitas yang tinggi. Komposit *thin-film* yang dihasilkan bersifat fleksibel, namun kadar PVDF yang digunakan mencapai 50-60% [15]. Pada percobaan yang dilakukan kadar PVDF yang digunakan hanya 3,77 %, yang tentunya fleksibilitas dari komposit yang dihasilkan akan lebih rendah. Durasi panas yang terlalu lama (pada saat pelarutan *binder* dan pengeringan) kemungkinan menyebabkan reaksi yang tidak diinginkan selama proses polimerisasi (reaksi oksidasi, konjugasi atau reaksi samping lainnya) yang bisa menurunkan fleksibilitas komposit yang terbentuk sehingga lapisan komposit yang dihasilkan menjadi mudah patah (*brittle*). Hal tersebut dapat dilihat dari lembaran katoda C dengan komposit yang lebih mudah patah dibandingkan dua lembaran katoda lainnya.

Kualitas Baterai Hasil Percobaan (Tahanan Dalam, Kapasitas)

Lembaran katoda yang telah dibuat kemudian dijadikan bahan baku untuk pembuatan sel baterai sesuai prosedur pada Gambar 2. Sel baterai berbentuk *pouch* yang berisi 1 katoda dan 1 anoda. Sel yang dibuat selanjutnya diuji tahanan dalam dan kapasitas untuk sel baterai menggunakan *internal resistance tester* dan *battery analyzer*. Pada tahapan ini, sel baterai diberi kode A, B dan C untuk mewakili masing-masing variasi perlakuan suhu seperti pada lembaran katoda. Nilai tahanan dalam dan kapasitas untuk 3 jenis baterai yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi Sel Baterai Hasil Percobaan

No	Karakteristik yang Diamati	Variasi Sel Baterai Hasil Percobaan		
		A	B	C
1	Tahanan dalam (mΩ)	52	63	88
2	Kapasitas (mAh)	80	82	85

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai tahanan dalam paling kecil dimiliki oleh baterai A sedangkan yang paling besar dimiliki oleh baterai C. Tahanan dalam pada baterai adalah tahanan yang memang dimiliki oleh baterai tersebut. Secara umum tahanan dalam dapat diartikan sebagai akibat dari terbatasnya konduktifitas ion dan elektron pada kolektor, material aktif, terminal, konektor dan elektrolit [16]. Untuk ketiga jenis baterai yang dibuat dalam percobaan, pada ketiganya diasumsikan bahwa tidak ada perbedaan pada material aktif, terminal, konektor dan elektrolit yang merupakan faktor-faktor yang mungkin mempengaruhi tahanan dalam. Namun pada percobaan ini, baterai C memiliki tahanan dalam paling besar, yang kemudian diikuti berturut-turut oleh baterai B dan A. Hal ini mungkin terjadi karena baterai C menggunakan lembaran katoda C yang sebagian lapisan komposisinya tidak melekat sempurna pada lembaran aluminium. Lembaran aluminium berfungsi sebagai *current collector* yang meneruskan arus listrik dari komposit katoda menuju aluminium *tab* sebagai terminal. Tidak melekatnya sebagian komposit katoda pada lembaran aluminium mengakibatkan berkurangnya permukaan kontak antara komposit katoda dan lembaran aluminium pada lembaran katoda yang mengakibatkan hambatan pada aliran arus listrik pada sisi katoda menjadi semakin besar. Hal inilah yang diduga sebagai penyebab lebih besarnya tahanan dalam pada baterai C dibandingkan baterai A dan B.

Dari sisi kapasitas, kapasitas paling tinggi dihasilkan pada baterai C, walaupun selisihnya tidak signifikan jika dibandingkan dengan baterai lainnya. Ini mungkin terjadi karena sewaktu pelarutan *binder* pada percobaan C, sebagian pelarut NMP menguap karena paparan panas sewaktu pelarutan. Penguapan pelarut pada variasi C lebih tinggi karena suhu yang digunakan yaitu 80 °C, lebih tinggi dari variasi B dan A yang suhunya berturut-turut adalah 40 dan 25 °C. Hal tersebut mengakibatkan *solid content* pada slurry untuk percobaan C lebih tinggi dari variasi lainnya. Sewaktu proses *coating*, jarak pada pisau pelapis (*doctor blade*) dengan lembaran aluminium dibuat sama. Namun karena kandungan bahan aktif (LMO) yang lebih tinggi, menyebabkan kandungan LMO yang lebih tinggi pada komposit yang terbentuk. Sebagai akibatnya kapasitas penyimpanan untuk baterai yang dibuat dengan katoda C menjadi lebih besar, untuk luas permukaan katoda yang sama.

Tahanan dalam yang semakin tinggi akan mengakibatkan durasi pemakaian baterai menjadi lebih singkat. Menurut hukum Fisika, energi listrik dapat dirumuskan melalui persamaan :

$$W = V \cdot I \cdot t \dots (1)$$

Apabila ingin dicari durasi pemakaian suatu unit penyimpan energi maka persamaan (1) dapat diubah menjadi :

$$t = \frac{W}{V \cdot I} \dots (2)$$

Tahanan R merupakan tahanan total dari tahanan beban dan tahanan internal untuk baterai dapat dilihat pada persamaan (3).

$$R = R_d + R_b \dots (3)$$

Hukum Ohm :

$$V = I \cdot R \dots (4)$$

Apabila persamaan (3) dan hukum Ohm pada persamaan (4) dimasukkan pada persamaan (2) maka akan didapat :

$$t = \frac{W}{I^2 \cdot (R_d + R_b)} \dots (5)$$

Keterangan :

- W : energi listrik (Joule)
- V : beda tegangan (Volt)
- I : arus (ampere)
- t : waktu (jam)
- R : tahanan total (Ohm)
- R_b : tahanan beban (Ohm)
- R_d : tahanan dalam baterai (Ohm)

Dari persamaan (5) dapat dilihat bahwa untuk dua baterai dengan kapasitas (W) yang sama, ketika dipasangkan beban (R_b) yang sama dengan arus (I) yang sama, baterai dengan tahanan dalam (R_d) lebih besar akan memberikan durasi pemakaian yang lebih singkat. Hal inilah yang menyebabkan baterai dengan tahanan dalam yang lebih besar memiliki durasi pakai yang lebih singkat, yang menurut bahasa orang awam baterai akan menjadi lebih cepat habis. Hal ini tentunya tidak diinginkan pada pemakaian baterai.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa pemanasan pada proses pelarutan *binder* memberikan pengaruh terhadap larutan hasil pelarutan, lembaran katoda dan sel baterai yang dihasilkan. Dari sisi larutan *binder*, pemanasan memberikan warna kekuningan pada larutan hasil yang kemungkinan diakibatkan oleh reaksi oksidasi atau pembentukan ikatan konjugasi pada polimer PVDF. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin pekat warna kekuningan yang dihasilkan. Untuk hasil lembaran katoda, pemanasan pada proses pelarutan mengakibatkan lapisan komposit katoda menjadi lebih getas dan daya lekat terhadap lembaran aluminium menjadi berkurang. Semakin tinggi suhu pemanasan, lapisan komposit katoda menjadi semakin getas dan daya lekat ke lembaran aluminium menjadi semakin rendah. Untuk sel baterai yang dibuat, semakin tinggi suhu pemanasan pada pembuatan larutan binder akan menghasilkan sel baterai yang memiliki tahanan dalam dan kapasitas baterai yang paling tinggi, walaupun perbedaan pada nilai kapasitas tidak terlalu signifikan.

Dari ketiga variasi suhu pelarutan pada pembuatan *binder*, yaitu pada suhu 25, 40 dan 80 °C, suhu 25 °C memberikan hasil yang paling baik, yang ditunjukkan dari warna hasil larutan *binder* yang masih putih transparan (tidak mengalami oksidasi/konjugasi), lembaran katoda yang paling lentur dan memiliki daya lekat paling kuat pada lembaran aluminiumnya dan sel baterai dengan nilai tahanan dalam paling kecil yaitu 52 mΩ dengan kapasitas yang baik. Sedangkan hasil paling buruk didapat dari variasi suhu 80 °C, yang memberikan larutan binder hasil berwarna kekuningan (mengalami oksidasi/pembentukan ikatan konjugasi), lembaran komposit katoda yang paling getas dan daya lekat paling rendah pada lembaran aluminium dan sel baterai dengan tahanan dalam paling tinggi yaitu 88 mΩ. Suhu pelarutan binder pada 80 °C memang memberikan kapasitas yang paling besar, yaitu 85 mAh, namun selisihnya tidak signifikan dibandingkan dengan variasi 25 °C. Kelebihan tersebut tidak sebanding dengan kekurangan pada larutan *binder* yang dihasilkan, kualitas katoda dan tahanan dalam sel baterai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Besar Bahan dan Barang Teknik atas izin yang diberikan. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Sigit, Sdr. Deni dan Sdri. Linda yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.D. Goncalves, L. Pel, J.D. Rodrigues, "Influence of Paints on Drying and Salt Distribution Processes in Porous Building Materials," *J. Construction and Building Materials* Vol. 23 pp. 1751–1759, 2009. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.08.006
- [2] D. Cahyadi, D.F. Puspita, "Pengembangan Formulasi Cat Tembok Emulsi Berbahan Acrylic untuk Meningkatkan Daya Saing IKM," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik* Vol. 4 No. 1, pp. 1-6, 2014
- [3] M.H. Nazir, Z. Khan, K. Stokes, "Modelling of Metal-Coating Delamination Incorporating Variable Environmental Parameters," *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol. 29:5, pp. 392-423, 2015. doi:10.1080/01694243.2014.990200
- [4] Y. S. Lee, T. Gershon, T. K. Todorov, W. Wang, M. T. Winkler, M. Hopstaken, O. Gunawan, and J. Kim, "Atomic Layer Deposited Aluminum Oxide for Interface Passivation of $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S},\text{Se})_4$ Thin-Film Solar Cells," *Adv. Energy Mater.*, pp. 1–5, 2016. doi:10.1002/aenm.201600198
- [5] D. Mohanty, A. S. Sefat, E. A. Payzant, J. Li, D. L. Wood, and C. Daniel, "Unconventional Irreversible Structural Changes in a High-Voltage Li-Mn-rich Oxide for Lithium-Ion Battery Cathodes," *J. Power Sources*, vol. 283, pp. 423-428, 2015. doi:10.1016/j.jpowsour.2015.02.087
- [6] B. Bitsch, J. Dittmann, M. Schmitt, P. Scharfer, W. Schabel, and N. Willenbacher, "A Novel Slurry Concept for The Fabrication of Lithium-Ion Battery Electrodes with Beneficial Properties," *J. Power Sources*, vol. 265, pp. 81-90, 2014. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.04.115
- [7] B. Diouf and R. Pode, "Potential of Lithium-ion Batteries in Renewable Energy," *Renew. Energy*, vol. 76, pp. 375-380, 2015. doi:10.1016/j.renene.2014.11.058

- [8] V. Barsykov and K. National, "The Influence of Polymer Binders on the Performance of Cathodes for Lithium-Ion Batteries," *Scientific Journal of Riga Technical University*, vol. 21, pp. 67–71, 2010.
- [9] P. Paolo, M. Carewska, C. Cento, and A. Masci, "Poly Vinyl Acetate Used as A Binder for The Fabrication of a LiFePO₄-Based Composite Cathode for Lithium-ion Batteries," *Electrochim. Acta*, vol. 150, pp. 129–135, 2014. doi:10.1016/j.electacta.2014.10.123
- [10] B. Ludwig, Z. Zheng, W. Shou, Y. Wang, and H. Pan, "Solvent-Free Manufacturing of Electrodes for Lithium-ion Batteries," *Nat. Publ. Gr.*, pp. 1–10, 2016. doi:10.1038/srep23150
- [11] D. L. W. Iii, J. Li, and C. Daniel, "Prospects for Reducing the Processing Cost of Lithium Ion Batteries," *J. Power Sources*, vol. 275, pp. 234–242, 2015. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.11.019
- [12] D. Liu, L. Chen, T. Liu, T. Fan, E. Tsou, and C. Tiu, "An Effective Mixing for Lithium Ion Battery Slurries," *Advances in Chemical Engineering and Science*, 4, pp. 515–528, 2014. Doi:10.4236/aces.2014.44053
- [13] D.F. Puspita, S. S. Rahardi, "Homogenitas Produksi Baterai Lithium-Ion Berdasarkan Varians Kapasitas Charge, Kapasitas Discharge dan Efisiensi Charge-Discharge", *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik* Vol. 6 No. 1 Juni 2016
- [14] F. Liu, M. R. M. Abed, and K. Li, "Preparation and Characterization of Poly(vinylidene fluoride)(PVDF)-based Ultrafiltration Membranes Using Nano-Al₂O₃," *Journal of Membrane Science*, vol. 366, pp. 97–103, 2011. doi:10.1016/j.memsci.2010.09.044
- [15] A. Marongiu, J. Drillkens, P. Sinhuber, D. U. Sauer, E. E. Conversion, S. S. Group, and E. O. N. Erc, "A Critical Overview of Definitions and Determination Techniques of The Internal Resistance Using Lithium-Ion , Lead-Acid , Nickel Metal-Hydride Batteries and Electrochemical Double-Layer Capacitors As Examples," *J. Power Sources*, vol. 296, pp. 365–376, 2015. doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.07.073
- [16] V. A. Online, B. Luo, X. Wang, Y. Wang, and L. Li, "Fabrication, Characterization, Properties and Theoretical Analysis of Ceramic/PVDF Composite Flexible Films with High Dielectric Constant and Low Dielectric Loss," *J. Mater. Chem. A*, vol. 2, pp. 510–519, 2014. doi:10.1039/c3ta14107a

