

# Studi Pengaruh Bahan Aditif Multi Walled Carbonnanotube (MWCNT) dan Acetylene Black (AB) pada Komposit LTO sebagai Bahan Elektroda untuk Baterai Li-ion

TIARA HARDAYANTI UTAMA<sup>[1]</sup>, RAMLAN<sup>[1]</sup>, DAN ACHMAD SUBHAN<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia, <sup>[2]</sup> Staff Pusat Penelitian Fisika-LIPI, Komplek PUSPIPTEK, Tangerang Selatan, Indonesia

**Intisari:**  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  atau LTO merupakan salah satu material alternatif untuk menggantikan graphite sebagai komponen anoda pada baterai Li-ion. Hal ini juga didukung dengan adanya struktur material LTO yang tidak mengalami perubahan bentuk selama terjadi interkalasi ion  $\text{Li}^+$ . Penelitian ini fokus terhadap masalah pemilihan material komposit aditif *Acetylene Black* (AB) dan *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT), sementara LTO sebagai *filler* yang digunakan. Pembahasan utama dalam penelitian ini yaitu menganalisa efek dari kedua bahan aditif dan juga efek penambahan massa bahan aditif MWCNT dengan variasi massa sebesar 2%wt, 4%wt dan 8%wt. Dari hasil pengujian XRD menunjukkan terbentuknya fasa LTO pada semua sampel dengan parameter kisi 8.35 Å. Untuk hasil pengujian SEM, terjadi aglomerasi pada MWCNT. Untuk mengetahui sifat elektrokimia LTO komposit dilakukan pengujian baterai *full cell* yang terdiri dari pengujian EIS, *cyclic voltammetry* dan pengujian kapasitas *charging discharging*. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil bahwa penggunaan AB memiliki performa baterai yang lebih baik dari pada MWCNT. Sedangkan untuk hasil pengujian konduktivitas lembaran LTO komposit didapatkan bahwa dengan penambahan massa aditif MWCNT sebanyak 4%wt dapat meningkatkan konduktivitas listrik hingga mencapai  $1.56 \times 10^{-2}$  S/m.

**Kata kunci:** Baterai Li-ion, LTO, Acetylene Black, MWCNT, Komposit dan Konduktivitas.

**Abstract:**  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  or LTO is one of the alternative materials to replace graphite as the anode component in Li-ion battery. It is also supported by the LTO material structure that does not change shape during the  $\text{Li}^+$  ion intercalation. This research focuses on the problem of selection of composite materials additives Acetylene Black (AB) and Multi Walled Carbon Nanotube (MWCNT), while the LTO as filler used. The main discussion in this research is to analyse the effects of both additive and also the effect of the addition of additives MWCNT mass with the mass variation of 2%wt, 4%wt and 8%wt. From the test results of XRD showed the formation of the LTO phase in all samples with lattice parameters 8.35 Å. For the test results of SEM, agglomeration occurs in the MWCNT. To determine the electrochemical properties of the composite LTO half-cell battery testing and full cell which consists of testing EIS, cyclic voltammetry, and testing of charging-discharging capacity. Based on this research showed that the use of AB has a better battery performance of the MWCNT. As for the results of testing the conductivity of the composite sheet LTO found that with the addition of additives masses as much as 4% wt MWCNT could increase the electrical conductivity of up to  $1.56 \times 10^{-2}$  S/m.

**Keywords:** Li-ion battery, LTO, Acetylene Black, MWCNT, Composite, and Conductivity.

**Email:** utamatiaharddyanti@rocketmail.com

## 1 PENDAHULUAN

D i era globalisasi ini perkembangan teknologi semakin pesat, misalnya saja handphone, tablet, gadget portable yang sekarang ini rata-rata sudah dimiliki oleh kalangan masyarakat. Salah satu komponen yang dimiliki peranan penting dalam teknologi tersebut adalah baterai, hal ini memungkinkan baterai sebagai alat penyimpanan energinya. Pada perkembangan riset baterai para ilmuwan membuat konsep baik itu dari kapasitas, *life cycle*, laju kapasitas dan lain sebagainya.

Baterai Lithium ion misalnya yang sekarang ini sedang dikembangkan terutama dalam pemilihan material komponen selnya. Anoda yang biasanya digunakan pada baterai Li-ion yaitu graphite. Keunggulan graphite memiliki kapasitas teoritik yang tinggi yaitu 372 mAh/g, beda tegangan sebesar 0.1 V (vs.  $\text{Li}/\text{Li}^+$ ) dan memiliki siklus hidup yang lebih lama, tetapi saat tegangan rendah, larutan elektrolit tidak stabil maka akan mengalami dekomposisi<sup>[1]</sup>. Kondisi ini akan menumbuhkan dendrit lithium pada lapisan anoda sehingga mudah terjadinya hubungan pendek dalam baterai yang berakibat eksplosif dari segi faktor keamanan<sup>[2]</sup>. Lithium titanate oxide (LTO) atau  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  merupakan material anoda yang me-

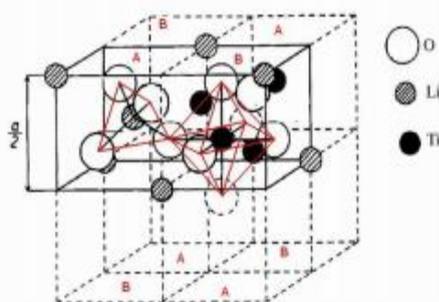
miliki potensi sebagai pengganti graphite. Secara teoritik, LTO memiliki kapasitas sebesar 175 mAh/g dan memiliki beda tegangan yang stabil yaitu 1.55 V (vs. Li/Li<sup>+</sup>) yang menyebabkan adanya perpindahan ion lithium pada anoda selama proses interkalasi<sup>[3]</sup>. Kapasitas teoritik energi yang tersimpan Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> dapat ditentukan dengan persamaan (1)<sup>[4]</sup>.

$$q = \frac{nF}{3600 \times M} \text{ mAh/g} \quad (1)$$

Berat atom Li = 6.9, Ti = 47.8 dan O = 16

Berat molekul Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> 458.6 g/mol

Dari bilangan avogadro diketahui 1 mol material mengandung 96.500 Coulomb. Maka 1 gram Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> memiliki kapasitas listrik sebesar =  $3 \times 96500 \text{ C} / 3600 \times 458.6 \text{ g/mol} = 0.1753 \text{ Ah/g} = 175.3 \text{ mAh/g}$ . Selain itu LTO memiliki struktur spinel *Face Centered Cubic* (FCC) dalam space groups Fd-3m<sup>[5]</sup> strukturnya dapat dilihat pada gambar 1:



Gambar 1. Kedudukan atom-atom dalam 2 subsel unit kubik dari struktur spinel Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub><sup>[5]</sup>

Meskipun demikian konduktivitas elektrik ( $\sim 10^{-13}$  S/cm) dan difusi lithium ( $\sim 10^{-15}$  cm<sup>2</sup>/S) yang dimiliki LTO masih rendah<sup>[6]</sup>. Untuk mengatasi masalah ini, ada beberapa hal yang dapat kita lakukan seperti mengubah ukuran partikel yang akan membuat jarak difusi ion lithium dalam fase padat yang lebih pendek atau juga melakukan doping dengan Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> dan K<sup>+</sup>. Kemudian untuk meningkatkan konduktivitas elektrik dapat juga mengkomposit LTO dengan karbon, Zn, CNT, Graphene, dan lain-lain<sup>[6]</sup>.

Dalam komposit LTO, *Multi Walled Carbon Nanotube* (MWCNT) dan *Acetylene Black* (AB) berfungsi sebagai bahan aditif. MWCNT merupakan *carbon nanotube* yang memiliki dinding lebih dari satu (berlapis-lapis) atau sekumpulan SWCNT yang berkumpul pada satu senral/poros<sup>[7]</sup>. Pada komposit, MWCNT membentuk sebuah conductive path aliran elektron pada maerial komposit, namun konsentrasi MWCNT yang terlalu banyak dapat menyebabkan

terbentuknya aglomerat pada material komposit<sup>[8]</sup>. Sifat dan karakteristik dari material MWCNT dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Spesifikasi serbuk MWCNT<sup>[9]</sup>

Parameter	Keterangan
Nama kimia	Multiwalled Carbon Nanotube
Formula	C
Chemical family	Synthetic graphite
Konduktivitas elektrik (S/cm)	$10^3 - 10^5$
Konduktivitas termal (W/(mK))	$\sim 2000$
Luas area (m <sup>2</sup> /g)	$> 100$
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	0.03 - 0.06
pH	6 - 7

Begitu juga dengan *acetylene black* (AB) yang merupakan salah satu *carbon black*. Pada komposit, dispersi *carbon black* akan membentuk jaringan antar karbon dalam polimer. Ukuran yang semakin kecil dengan pendispersian yang merata akan mengoptimalkan pembasahan yang terjadi dalam komposit. Hal ini akan mampu meningkatkan sifat konduktivitas listrik<sup>[8]</sup>.

## 2 METODE PENELITIAN

### Pembuatan Lembaran dan Baterai Koin

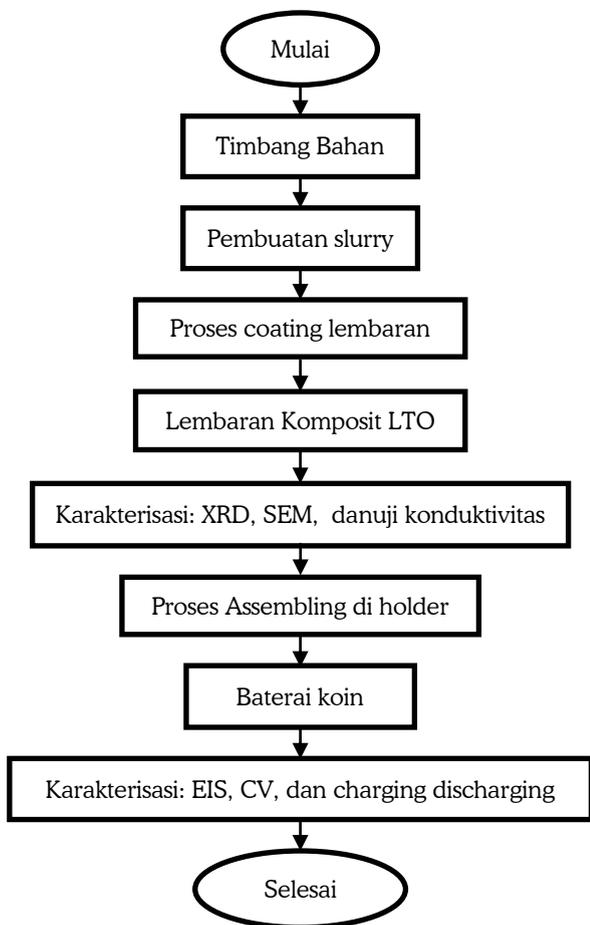
Pada penelitian ini, bahan yang dipergunakan adalah serbuk LTO komersil berfungsi sebagai filler, serbuk AB dan MWCNT sebagai aditif, serbuk PVDF berfungsi sebagai matriks dan pelarut yang digunakan adalah DMAC. Proses pembuatan lembaran elektroda LTO komposit, pertama dilakukan dengan 2 variasi bahan aditif yaitu S1 menggunakan AB sebagai aditifnya dengan perbandingan massa 86%wt: 2%wt: 10%wt (LTO:AB:PVDF) sedangkan S2 menggunakan MWCNT sebagai aditifnya dengan perbandingan massa yang sama, kemudian dilakukan juga variasi massa aditif MWCNT dengan 3 variasi yaitu S2 (86%wt: 2%wt: 10%), S3 (85%: 4%wt: 10%wt) dan S4 (8%wt, 8%wt, dan 81%wt).

Selanjutnya dilakukan pencampuran bahan (pembuatan *slurry*) dengan menggunakan magnetic stirrer (T = 70°C dan  $\omega$  265 rpm). Campuran material (*slurry*) dicoating di atas foil Cu dengan ketebalan 200 mikron yang kemudian menjadi lembaran tipis dengan metode *tape casting* yang berbasis *Doctor Blade*. Selanjutnya dilakukan karakterisasi pada sampel.

### Karakterisasi

Setelah terbentuk lembaran, dilakukan karakterisasi yang meliputi: pengujian XRD, SEM, konduktivitas lembaran, EIS, *cyclic voltammetry*, dan charging dis-

charging. Pada lembaran dilakukan pengujian XRD (Merk Rigaku tipe Smartlab), SEM (Hitachi tipe SU35000), dan pengujian konduktivitas elektrik (Hi-oki 3522-50 LCR Hitester) frekuensi yang diberikan 1 kHz – 100 kHz dengan tegangan 0.5 mV. Selanjutnya untuk mengetahui performa baterai dilakukan assembling didalam *glove box*. Dimana ukuran diameter LTO 23 mm yang dipersiapkan sebagai elektroda counter nya,  $\text{LiFePO}_4$  sebagai elektroda kerjanya dengan ukuran diameternya 27 mm, separator yang digunakan berbahan polypropylene dengan diameter 27 mm, sedangkan  $\text{LiPF}_6$  digunakan sebagai elektrolitnya. Setelah semua komponen sel baterai tersusun diholder dilakukan uji EIS dengan jangkauan frekuensi  $0.01 < f < 10$  kHz dan tegangan 20 mV. Kemudian dilanjutkan pengujian cyclic voltammetry dengan range voltase 0.6 V – 2.6 V dan scan rate nya  $50 \mu\text{V/s}$ . Untuk pengujian *charging discharging* range voltase yang digunakan  $0.8 < V < 2.55\text{V}$  dengan arus yang berbeda.

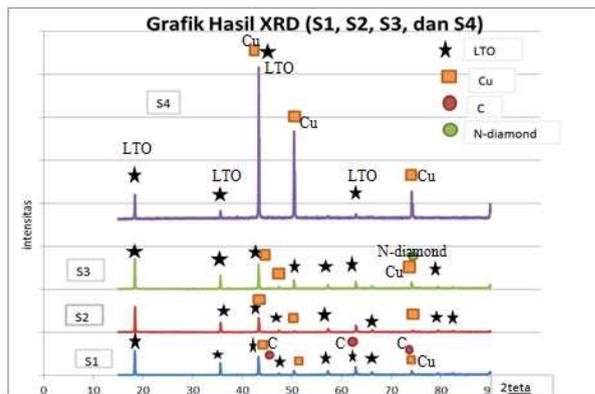


Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan lembaran dan Baterai Koin

### 3 HASIL PERCOBAAN

#### Hasil XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi karena adanya perlakuan yang diberikan pada sampel.



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X (XRD) untuk S1, S2, S3, dan S4

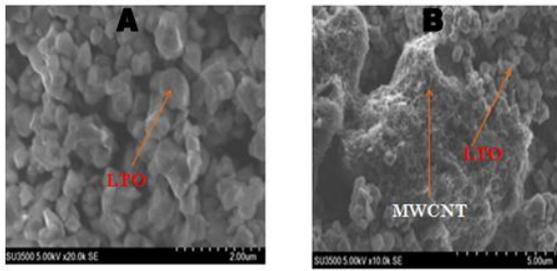
Besar  $\alpha = \beta = \gamma$  yaitu  $90^\circ$ , sementara grup ruangnya  $Fd-3 m^{[10]}$ . Pada hasil difraksi terdapat fasa Cu, hal ini disebabkan pada saat karakterisasi XRD, sampel yang digunakan berupa lembaran yang menggunakan foil Cu<sup>[11]</sup>. Dengan terlihatnya fasa dari Cu, ini menunjukkan bahwa sinar-X yang ditembakkan dapat menembus foil Cu. Pada sampel S2 dan S4 tidak terdapat fasa MWCNT.

Berdasarkan hasil XRD terlihat bahwa pada S1, S2, S3, dan S4 terdapat fasa dari  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . Dari analisa XRD yang menggunakan bantuan software analisis PDXL dengan bantuan data standar JCPDS/ICDD diketahui bahwa struktur kristal  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  adalah kubik FCC dengan parameter kisi  $a = b = c$  sebesar (S1 = 8.3566 Å, S2 = 8.3544 Å, S3 = 8.3557 Å, dan S4 = 8.3568 Å) dan memiliki sudut yang sama rendah dan dalam kondisi amorf<sup>[10]</sup>. Kemudian pada sampel S3 terbentuk fasa N-diamond dengan hkl (104), terbentuknya fasa ini diduga struktur MWCNT menyamai N-diamond karena MWCNT dan N-diamond merupakan contoh alotrop karbon.

#### Hasil SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui perbedaan morfologi permukaan lembaran LTO komposit *Acetylene Black* dan lembaran LTO komposit MWCNT.

Gambar 4a merupakan morfologi dari lembaran LTO komposit AB dengan perbesaran 20.000 kali. Berdasarkan hasil SEM untuk sampel S1, yang terlihat dominan yaitu material LTO dengan bentuk spheric/bulat dan ukuran yang hampir sama tersebar dipermukaan lembaran.



Gambar 4. Morfologi lembaran LTOkomposit(a) AB (b) MWCNT dengan pengamatan SEM

Gambar 4b LTO komposit MWCNT dengan perbesaran 10.000 kali, di mana hasil scanning lembaran aditif MWCNT terbentuk serabut yang beraglomerasi sedangkan LTO dengan bentuk *spheric* yang tersebar hampir merata menyelimuti gumpalan MWCNT. Hal ini menunjukkan bahwa pendispersian dengan menggunakan *magnetic stirre* masih membuat LTO dan MWCNT tidak tersebar dengan homogen. Ini dikarenakan adanya surface area yang besar dari MWCNT serta gaya Van der Waals sehingga membentuk aglomerat<sup>[8]</sup>.

**Konduktivitas Listrik Lembaran**

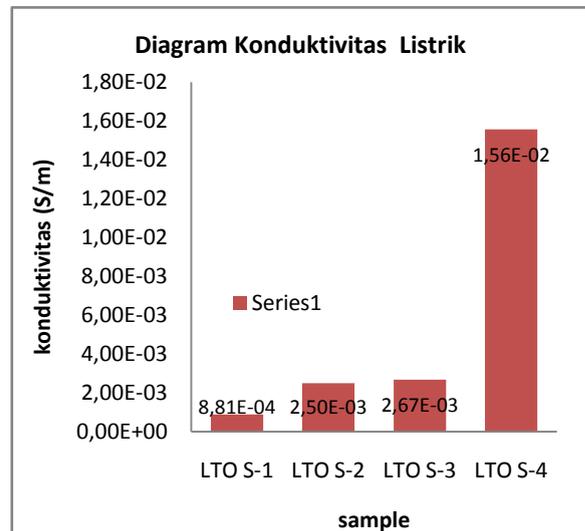
Pengujian konduktivitas elektrik pada lembaran dilakukan dengan menggunakan alat Hioki 3522-50 LCR Hitester. Setelah didapatkan harga impedansi dari lembaran komposit LTO, kemudian dapat dihitung nilai konduktivitas listriknya dengan menggunakan persamaan 2:

$$\sigma = \frac{RA}{t} \tag{2}$$

dengan,  $R$  = hambatan yang terukur ( $\Omega$ ),  $\rho$  = Resistivitas ( $\Omega.m$ ),  $t$  = tebal sampel (m), dan  $A$  = luas penampang sampel ( $cm^2$ )

Dari perhitungan konduktivitas lembaran didapatkan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Dari Gambar itu terlihat bahwa dengan adanya peningkatan konduktivitas listrik, ini menunjukkan bahwa benar MWCNT memiliki sifat konduktivitas yang tinggi sehingga memberikan dampak positif pada lembaran anoda yang dibuat.

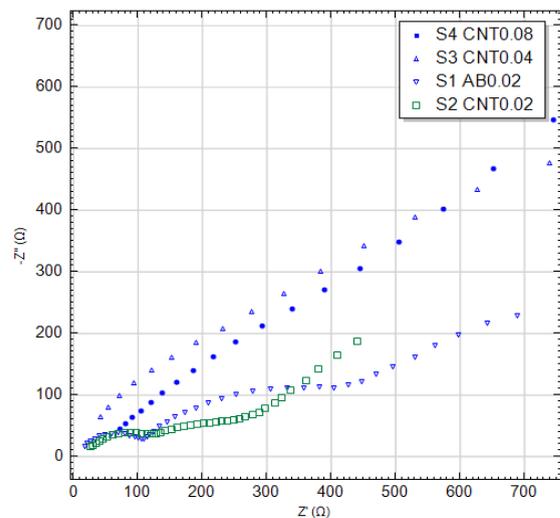
Peningkatan nilai konduktivitas lembaran elektroda komposit LTO, dengan bertambahnya massa MWCNT hingga 4wt%, konduktivitasnya mencapai  $1.56 \times 10^{-2} S/m$ . Hal ini dikarenakan, dengan penambahan MWCNT membentuk sebuah *conductive path* antara butiran LTO dan LTO lainnya<sup>[8]</sup>.



Gambar 5. Diagram Perbandingan Konduktivitas listrik (S1, S2, S3, dan S4)

**Hasil Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)**

Dari Gambar 6 yang merupakan grafik impedansi kompleks untuk sampel S1, S2, S3, dan S4. Terlihat bahwa S1 dan S2 menampilkan pola busur lebih kecil dibandingkan S3 dan S4. Pola EIS disusun dari frekuensi tinggi hingga menengah dan garis miring pada frekuensi rendah.



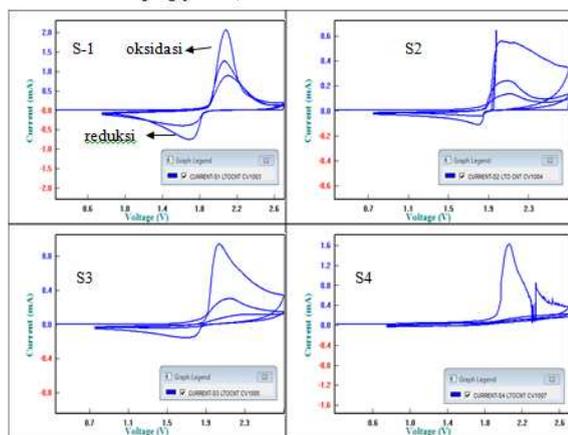
Gambar 6. Grafik Impedansi Kompleks dari setiap sampel (S1, S2, S3, dan S4) LTO vs LFP

Berdasarkan grafik impedansi kompleks dan nilai  $R_{ct}$  yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa  $\sigma_{S1} > \sigma_{S2} > \sigma_{S3} > \sigma_{S4}$ , karena S1 memiliki hambatan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) yang lebih rendah dibandingkan S2. Namun jika dibandingkan dengan S3, dan S4, S2 memiliki hambatan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) yang

lebih rendah sehingga memiliki konduktivitas ionik yang lebih tinggi yang memicu kapasitas *discharging* tinggi. Pada penelitian ini, komposit MWCNT meningkatkan konduktivitas elektrik tetapi menurunkan konduktivitas ionik. Hal ini juga bersesuaian dengan hasil SEM, dimana terlihat bahwa MWCNT yang beraglomerasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya dengan penambahan CNT yang terlalu banyak dapat memberikan dampak sulitnya penyebaran dan mudah membentuk agregasi, hal ini akan menyebabkan peningkatan impedansi dan kemudian menyebabkan pemakaian penurunan kapasitas<sup>[12]</sup>.

### Hasil Cyclic Voltammetry

Dari grafik dibawah ini dapat kita lihat adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada range potensial tertentu, hal ini ditunjukkan dengan munculnya peak pada grafik. Peak oksidasi terjadi pada grafik yang menghadap kebawah dan peak reduksi pada peak puncak yang menghadap ke atas. Data-data yang diperoleh dari pengujian CV berupa kurva potensial (V) – arus (mA) .



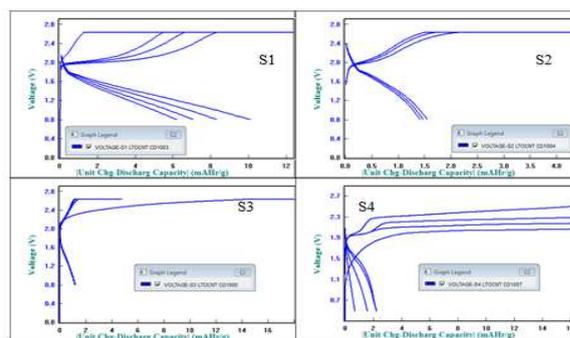
Gambar 7. Cyclic Voltamogram LTO vs LFP

Gambar 7 menunjukkan *cyclic voltamogram* LTO vs LFP. Setiap puncak terlihat reversible dalam kisaran potensial 0.7 V – 2.6 V. Dari Gambar diatas beberapa puncak dikaitkan dengan reaksi redoks  $Ti^{+3}/Ti^{+4}$ . Pada S1 untuk reaksi oksidasi pertama terjadi pada titik puncak X (potensial) sebesar ~ 2.1 V dan sumbu Y (current) sebesar 2 mA. Sedangkan untuk reaksi reduksi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~1.7 V dan sumbu Y (current) sebesar ~0.6 mA. Pada S2, reaksi oksidasi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~1.9 V dan sumbu Y (current) sebesar ~0.6 mA. Untuk reaksi reduksi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~1.7 V dan sumbu Y (current) sebesar 0.1 mA. Pada S2 dapat dilihat pada range ~2.5 V untuk circle 1, 2, dan 3 terbentuk reaksi oksidasi dimana ionlithium yang seharusnya berpindah dari anoda ke

katoda pada saat charging namun terbentuk SEI sehingga menghambat proses interkalasi/de-interkalasi ion  $Li^{[13]}$ . Hasil Cyclic Voltammetry pada S3, reaksi oksidasi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~2 V dan sumbu Y (current) sebesar ~0.9 mA. Untuk reaksi reduksi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~1.8 V dan sumbu Y (current) sebesar 0.1 mA. Pada S3 juga mengalami hal yang sama seperti hal S2 dimana peak reduksi dan oksidasi tidak seimbang. Terbentuk reaksi oksidasi dimana ion lithium yang seharusnya berpindah dari anoda ke katoda, hal ini menyebabkan peak reduksinya kecil. Kemudian hasil Cyclic Voltammetry S4 reaksi oksidasi pertama terjadi pada sumbu X (potensial) sebesar ~2.1 V dan sumbu Y (current) sebesar ~1.6 mA. Walaupun peak oksidasi pada sampel ini lebih besar dari pada sampel sebelumnya (S2,S3) namun untuk reaksi reduksinya hampir tidak terjadi. Hal ini bias pengaruh dari sifat graphene pada MWCNT yang mengikat ion Li pada saat terjadi interkalasi/de-interkalasi sehingga akan terbentuk SEI dan juga pengaruh aglomerasi pada sampel seperti pada uji SEM, apalagi dengan jumlah MWCNT yang lebih banyak hal ini membuat MWCNT mudah beraglomerasi. Semakin banyak aglomerasi yang terjadi maka proses interkalasi/de-interkalasi ion lithium, transport kinetik dan konduktivitas ionik akan menurun<sup>[14]</sup>.

### Hasil ChargingDischarging

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat WBCS 3000 dimana potensialnya  $0.8 < V < 2.55$  V, hal ini disesuaikan dengan tegangan hasil CV.



Gambar 8. Hasil Uji Charge-Discharge LTO vs LFP

Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian *charging-discharging* yang dilakukan berulang selama 4 cycle. Kapasitas sel semakin menurun ketika dilakukan pengujian cycle berikutnya. Hal ini terjadi mengindikasikan ion Li yang berinterkalasi mengalami jumlah yang terus menurun dan menyebabkan terjadinya pembentukan SEI<sup>[2]</sup>.

Pada S1 didapatkan hasil kapasitas discharging ~10 mAh/g. Hasil uji charge discharge S2 kapasi-

tasnya sebesar ~1.7 mAh/g, untuk S3 kapasitas yang dihasilkan saat uji *charging discharging* sebesar ~1.8 mAh/g sedangkan S4 kapasitasnya sebesar ~2.2 mAh/g.

Berdasarkan dari keempat sampel dapat diamati bahwa kapasitas S3 dan S4 mengalami penurunan yang dratis mulai dari *cycle* yang pertama, namun pada *cycles* selanjutnya mengalami penurunan yang relative konstan. Sedangkan pada S1 dan S2, pada *cycle* pertama memiliki stabilitas yang lebih baik dari pada kedua sampel sebelumnya (S3 dan S4), hal ini dikarenakan pada S1, dan S2 ion lithium mudah untuk berinterkalasi /deinterkalasi pada host (terutama pada S1). Hal ini bersesuaian dengan hasil EIS (pada baterai full cell) dimana impedansi pada S3 dan S4 lebih besar dibandingkan S1 dan S2, dengan besarnya nilai impedansi menyebabkan sifat kapasitas yang rendah, hal ini dikarenakan sulitnya ion Li berinterkalasi/deinterkalasi, dan juga aglomerasi juga menurunkan konduktivitas ionik pada katoda sehingga kapasitasnya rendah<sup>[14]</sup>.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil XRD pada lembaran komposit LTO teridentifikasi beberapa fasa (S1: LTO, karbon dan Cu, S2: LTO, dan Cu, S3: LTO, N-diamond, dan Cu, S4: LTO, dan Cu). Untuk pengujian SEM, terjadi aglomerasi pada sampel yang menggunakan aditif MWCNT.

Dari hasil pengujian konduktivitas listrik lembaran, bahan aditif dan variasi massa aditif mempengaruhi peningkatan nilai konduktivitas lembaran elektroda. Dimana S4 (penambahan MWCNT 4wt%) memiliki nilai konduktivitas yang paling tinggi yaitu sebesar  $1.56 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ .

Dari pengujian EIS, *cyclic voltammetry*, dan *charging discharging*, sampel S1 (penambahan acetylene black 2wt%) memiliki performa yang lebih baik dibandingkan sampel S2 (penambahan MWCNT 2 wt%). Namun dengan meningkatkan jumlah massa MWCNT tidak menjanjikan performa baterai lebih baik juga.

#### REFERENSI

[1] Zhang, J., Cao, H., Tang, X., Weifeng, F., Peng, G., dan Qu, J., 2013. *Graphite/Graphene Oxide Composite as High Capacity and Binder-free Anode Material for Lithium Ion Batteries*. Journal of Power Source 241 (20113) 619-626.

- [2] Subhan, A., 2011. *Tesis Fabrikasi dan Karakterisasi Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> untuk Bahan Anoda Baterai Lithium Keramik*. Depok: Universitas Indonesia.
- [3] Fang, W., Zuo, P., Ma, Y., Cheng, X., Liao, L., dan Yin, G., 2013. *Facile Preparation of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/AB/MWCNTs Composite with High-Rate Performance for Lithium Ion Battery*. Journal Electrochimica Acta 94 (2013) 294-299.
- [4] Kim, J.K., 2013. *Advanced Materials of Rechargeable Lithium Batteries*. Sweden: Chalmers University of Technology.
- [5] Prihandoko, Bambang., dan Achmad Subhan. 2011. *Pemanfaatan soda lime silica dalam pembuatan komposit elektrolit baterai lithium*. Disertasi Fakultas Teknik: Universitas Indonesia.
- [6] Chunfu, Lin., 2014. *Thesis Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Based Anode Materials for High Power Lithium-ion Batteries*. National University of Singapore: Singapore.
- [7] Rohman, Maulidanir. 2012. *Skripsi Studi Karakteristik Kelistrikan komposit Carbon Nanotube-Polyvinylidene fluoride (CNT-PVDF)*. Semarang: Univeritas Diponegoro.
- [8] Prayitno, Didi, 2012. *Skripsi Pengaruh Variasi Penambahan Multi Walled Carbon Nanotube terhadap Karakteristik Pelat Bipolar Komposit Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)*. Depok: Universitas Indonesia
- [9] Liu, X., Huang, Z.D., Oh, S., Zhang, B., Ma, P C., dan Yuen, M. M. F., 2011. *Carbon nanotube (CNT)-based composites as electrode material for rechargeable Li-ion batteries: A review*. Journal Elsevier Composite Sains and Technology 72 (2012) 121-144.
- [10] Sun, X., Hedge, M., Zhang, Y., He, M., Gu, L., Wang, Y., Shu, J., Radovanovic, P.V., Cui, B., 2014. *Structure and Electrochemical Properties of spinel Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Nanocomposite as Anode for Lithium Ion Battery*. Journal Electrochemical Science 9 (2014) 1583-1596.
- [11] Yao, X.L, Xie, S., Nian, H.Q., Chen, C.H., 2008. *Spinel Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> as a reversible anode material down to 0 V*. Journal of alloy and Compounds 465 (2008) 375- 379.
- [12] Zhang, H., Chen, Y., Li, J., He, C., Chen., 2014. *Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>/CNTs Composite Anode Material for Large Capacity and High-rate Lithium Ion Batteries*. International Journal of Hydrogen Energy 39 (2014) 16096-16102.
- [13] Varzi, A., 2012. *Dissertation Investigation on Multi Walled Carbon Nanotubes for Lithium Ion Battery Applications*. Itali: Ulm University.
- [14] Waluyo, H., dan Noerochiem, L., 2014. *Jurnal Pengaruh Temperatur Hydrothermal Terhadap Performa Elektrokimia LiFePo<sub>4</sub> Sebagai Katoda Baterai Ion Lithium Type Aqueous Elektrolit*. ITS: Vol. 3, No. 2.