

Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Konduktivitas Listrik pada Bahan Elektrolit Padat $\text{Li}_{1.3}\text{Ti}_{1.7}\text{Al}_{0.3}(\text{PO}_4)_3$ (LTAP) dengan Menggunakan Metode *Liquid Mixing*

Dita Viantyas, Mochamad Zainuri

Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: zainuri@physics.its.ac.id

Abstrak— Telah dilakukan penelitian untuk mensintesis bahan elektrolit padat $\text{Li}_{1.3}\text{Ti}_{1.7}\text{Al}_{0.3}(\text{PO}_4)_3$ (LTAP) dengan metode *liquid mixing*. Penelitian dilakukan dengan bahan dasar serbuk Lithium Carbonat, serbuk Aluminium murni, Titanium Butoxide, Asam Phospat dan pelarut HCl. Sintesis elektrolit padat $\text{Li}_{1.3}\text{Ti}_{1.7}\text{Al}_{0.3}(\text{PO}_4)_3$ dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur. Variasi temperatur digunakan pada 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C, dimana waktu kalsinasi untuk semua variasi temperatur selama 2 jam. Karakterisasi bahan dilakukan dengan menggunakan pengujian DTA/TG, Difraktometer Sinar-X (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), dan Konduktivitas Listrik. Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Match! dan penghalusan Rietveld menggunakan software Rietica. Peningkatan perlakuan temperatur memperkecil struktur NASICON sehingga nilai konduktivitas listrik juga semakin menurun. Pada temperatur 600°C memiliki struktur NASICON terbanyak yaitu 65,78% dan konduktivitas listrik yang paling tinggi mencapai $8,71 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$. Ukuran partikel elektrolit padat $\text{Li}_{1.3}\text{Ti}_{1.7}\text{Al}_{0.3}(\text{PO}_4)_3$ sebesar 0,1-1 μm , semakin tinggi perlakuan temperatur maka ukuran partikel semakin besar.

Kata kunci : elektrolit, mixing, sintesis, LTAP

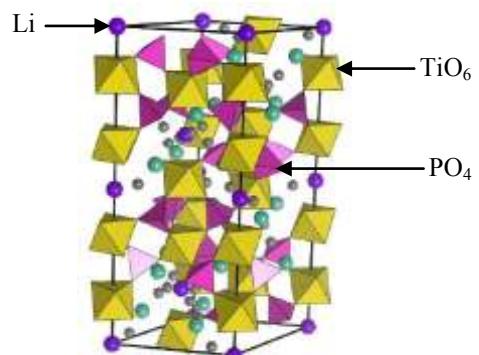
I. PENDAHULUAN

Salah satu perkembangan terbaru teknologi material dalam dunia sains yaitu menciptakan teknologi canggih yang mobile seperti baterai ion lithium yang digunakan pada mobil listrik. Baterai merupakan komponen penyimpanan energi listrik yang bersifat portable[1]. Penerapan baterai ion lithium telah tersebar luas dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Baterai ion lithium padat menjadi baterai yang diunggulkan untuk masa mendatang karena baterai ini mempunyai kapasitas yang besar, tahan lama, ringan dan tidak merusak lingkungan. Baterai lithium terdiri dari 3 komponen dasar yaitu katoda, anoda dan elektrolit, dimana ketiga komponen tersebut sangat mempengaruhi kualitas dari baterai ion lithium[2]. Elektrolit padat merupakan salah satu komponen utama pada baterai ion lithium, Aono menunjukkan bahwa konduktivitas pada elektrolit padat $\text{Li}_{1.3}\text{Ti}_{1.7}\text{Al}_{0.3}(\text{PO}_4)_3$ mencapai $7 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ pada temperatur 298K, yaitu dua kali lebih tinggi dari $\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)_3$ [3].

Kinerja elektrokimia dari elektrolit padat sangat tergantung pada struktur bahan, konduktivitas listrik, dan dimensi yang terkait dengan *surface area* permukaan

partikel[4]. Pembuatan elektrolit padat ini akan menggunakan teknologi sederhana, yaitu dengan metode *liquid mixing*. Dimana metode tersebut dilakukan dengan cara melarutkan bahan-bahan prekursor untuk masing-masing ion mineral dan pada saat terbentuk prekursor dilanjutkan dengan proses *drying*. Untuk membentuk fase konduktif yang diinginkan (NASICON) dilakukan variasi temperatur kalsinasi berdasarkan perilaku panas dari hasil analisa pengujian DSC/TGA [5].

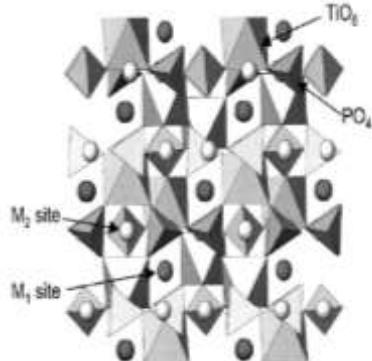
Lithium Titanium Aluminium Phospat merupakan salah satu elektrolit padat, material ini mempunyai konduktivitas listrik dan kerapatan massa yang sangat tinggi. LTAP berasal dari material dasar LTP (Lithium Titanium Phospat) yang berstruktur NASICON, pendopingan Al merupakan suatu cara untuk mendapatkan material elektrolit padat yang lebih konduktif, dimana ion Al menggantikan Ti [6]. Elektrolit padat ini sangat mudah digunakan karena berpotensi diaplikasikan pada berbagai teknologi. Hal tersebut dikarenakan material elektrolit LTAP memiliki kerapatan energi yang tinggi pada baterai. Struktur NASICON dapat dideskripsikan seperti ikatan kovalen pada $\text{A}_2(\text{PO}_4)_3$ yang terdiri dari PO_4 tetrahedral dan AO_6 oktaedral, yang mana bentuknya interkoneksi 3D dan bertindak kisi-kisi (M1 dan M2) dengan ion konduktif litium terdistribusikan pada gambar 1 dan gambar 2 berikut [7].



Gambar 1 Struktur NASICON [12]

Secara umum, struktur NASICON mempunyai konduktivitas ionik yang baik karena adanya kanal-kanal. Dan jumlah kisi-kisi bertindaknya sangat besar sehingga kerapatannya menjadi

tinggi dan penghalang pergerakan ion sangat rendah sehingga ion-ion mudah sekali untuk bergerak. Hal tersebut berkontribusi terhadap tingginya nilai konduktivitas dari bahan LTP. Konduktivitas ion Li pada LTP besarnya sangat terkait dengan kerapatan ioniknya. Nilai konduktivitas ion Li



Gambar 2 Struktur kristal NASICON dengan posisi indikasi dari M1 dan M2 [8]

pada bahan LTP sekitar 2×10^{-9} S/cm dengan kerapatan relatif sekitar 70%, dan untuk nilai konduktivitas 1×10^{-3} S/cm mempunyai nilai kerapatan relatif mendekati 100% [9].

Penambahan doping yang dikenakan pada LTP menunjukkan performa atau kualitas konduktivitas listrik yang semakin meningkat, contohnya doping aluminium, silikon, dll. Oleh karena itu, persyaratan bahan dan kombinasi yang terbaik untuk meningkatkan kualitas LTP sampai sekarang masih banyak dilakukan penelitian [10].

Metode pencampuran basah atau *liquid mixing* merupakan metode yang menggunakan proses kimiawi. Metode ini pada dasarnya melakukan pelarutan sampel dengan H₃PO₄ dengan menjaga pH, temperatur, dan kecepatan pengadukan konstan sampai larutan tersebut menjadi padatan [11].

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis elektrolit padat LTAP, dengan menggunakan metode *liquid mixing*. Keunggulan dari penelitian ini, adalah proses dilakukan pada temperatur yang rendah dimana pada penelitian sebelumnya elektrolit padat LTAP didapatkan dengan pemanasan pada temperatur yang cukup tinggi. Pelarut yang digunakan pada penelitian ini adalah asam phospat (H₃PO₄). Untuk menentukan perilaku struktur dari bahan elektrolit padat LTAP serta mikrostruktur, komposisi fase, dan konduktivitas listrik digunakan peralatan uji DSC/TGA, uji difraksi sinar-X (XRD), uji Scanning Electron Microscope (SEM) dan uji LCR Two Probe. Hasil keluaran X-Ray Diffractometry dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Match! untuk identifikasi fasa dan penghalusan Rietveld menggunakan software Rietica untuk identifikasi komposisi fasa pada sampel.

II. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lithium Karbonat (Li₂CO₃), serbuk aluminium murni (Al), Titanium Butoxide (TiC₁₆H₃₆O₄), Asam Phospat (H₃PO₄), larutan HCl, dan aquades digunakan sebagai bahan pelarut Li₂CO₃ dan Al. Sintesis Li_{1.3}Ti_{1.7}Al_{0.3}(PO₄)₃ dibuat dengan metode *liquid mixing*. Lithium karbonat (Li₂CO₃) dilarutkan

dalam aquades pada suhu kamar ~ 30° C dan diaduk sekitar 1,5 jam dalam *magnetic stirrer* sampai larutan berwarna bening. Kemudian aluminium dilarutkan dalam HCl yang ditambahkan aquades pada temperatur kamar ~ 30°C, selanjutnya dilakukan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2,5 jam sampai larutan bening sempurna. Setelah larutan Li₂CO₃ dan Al berwarna bening ditambahkan TiC₁₆H₃₆O₄ dan H₃PO₄ sampai menjadi homogen pada temperatur 100° C, kemudian ditambahkan aquades sehingga diperoleh larutan dengan homogenitas yang tinggi. Sampel dibiarkan kering, setelah itu ditumbuk menggunakan cawan mortar agar serbuk lebih halus. Prekursor Li_{1.3}Ti_{1.7}Al_{0.3}(PO₄)₃ ini dikeringkan di dalam oven pada suhu 150° C selama 3 jam kemudian dilakukan pengujian DSC/TGA.

Setelah serbuk prekursor terbentuk, kemudian dilakukan kalsinasi dengan variasi temperatur yaitu 600°C; 700°C; 800°C; 900°C dan 1000°C kemudian dilakukan pengujian X-Ray Diffractometer (XRD). Untuk pengujian selanjutnya dibutuhkan sampel dalam bentuk pellet, preparasi sampel pellet yaitu dengan mencampurkan serbuk PVA 3% kedalam serbuk LTAP, kemudian dimortar selama 30 menit. Sampel dijadikan pellet dengan diameter 1,5cm dan ketebalan 1cm, setelah itu disinter pada temperatur 600 °C selama 5 jam. Dilakukan pengujian Scanning Microscope Electron (SEM) dan Uji Konduktivitas Listrik.

Karakterisasi serbuk hasil sintesis menggunakan metode *liquid mixing* dilakukan dengan uji difraksi sinar-X. Dari hasil uji Difraksi Sinar-X diperoleh informasi berupa komponen fasa yang terbentuk. Setelah itu hasil uji difraksi sinar-X dianalisis dengan software Match dan Rietica untuk mengetahui komposisi fasa yang terbentuk. Selain itu karakterisasi juga dilakukan dengan uji SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui bentuk morfologi dari elektrolit padat LTAP dan uji Konduktivitas Listrik untuk mengetahui sifat konduktif dari sampel.

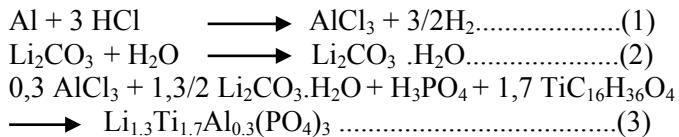
Uji XRD dalam penelitian ini menggunakan radiasi Cu-K α dengan panjang sinar-X 1,54056 Å dan analisis sudut 10° - 60° dengan step size 0,02°. Analisis data XRD menggunakan perangkat lunak Match! untuk mengidentifikasi fasa dan Rietica untuk mengetahui komposisi fasa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Sintesis Elektrolit Padat LTAP dengan Metode Liquid Mixing

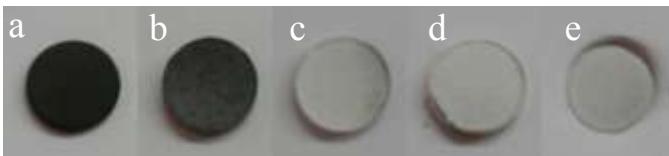
Sintesis elektrolit padat LTAP dilakukan dengan menggunakan metode *liquid mixing*. Pelarut H₃PO₄ (asam phospat) digunakan sebagai pelarut Lithium Karbonat (Li₂CO₃), serbuk aluminium murni (Al), dan Titanium Butoxide (TiC₁₆H₃₆O₄). Proses sintesis elektrolit padat LTAP pada penelitian ini dilakukan dengan variasi temperatur kalsinasi yaitu 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C.

Pada tahapan awal proses sintesis elektrolit padat LTAP, proses pelarutan Lithium Karbonat (Li₂CO₃) dan serbuk aluminium murni (Al) yang dilakukan oleh agen pelarut berupa asam phospat (H₃PO₄) menghasilkan serbuk berwarna putih seperti pada gambar 3 sesuai dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Gambar 3 Serbuk Prekursor LTAP

Setelah menjadi serbuk, material tersebut dimortar secara bersamaan dengan pengikatnya yaitu *Polyvinil Alcohol* (PVA). Sampel ditekan sebesar 3 ton dan ditahan selama 5 menit untuk dijadikan pellet. Kemudian pellet tersebut disinter dalam gas nitrogen pada temperatur 600°C selama 5 jam. Dimana proses preparasi tersebut digunakan untuk pengujian SEM dan konduktivitas listrik. Pellet yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Serbuk elektrolit padat LTAP pada variasi temperatur (a) 600°C, (b) 700°C, (c) 800°C, (d) 900°C dan (e) 1000°C

Pada gambar 4 tersebut terlihat degradasi warna akibat perbedaan temperatur kalsinasi. Dan pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan maka warna sampel yang dihasilkan semakin terang (putih bersih), begitu pula sebaliknya. Proses kalsinasi tersebut bertujuan untuk mendapatkan serbuk elektrolit padat LTAP dengan ukuran distribusi yang homogen.

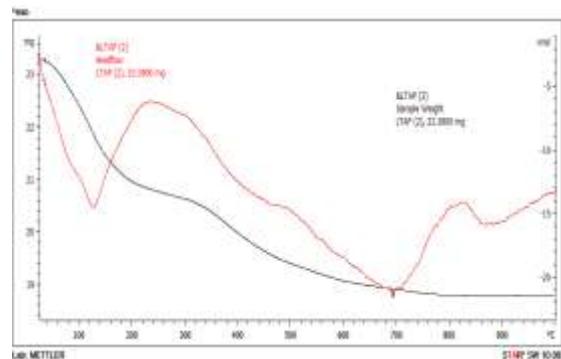
B. Hasil Pengujian DSC/TGA

Pada penelitian ini untuk menentukan pembentukan prekursor dilakukan melalui proses pemanasan, tahapan pengeringan dan kalsinasi. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Differential Scanning Calorimetry* /*Thermo-Gravimetric Analisys* (DSC/TGA).

Untuk mengetahui perilaku pemanasan terhadap bahan prekursor LTAP, analisa DSC/TGA pada bahan elektrolit padat dilakukan dengan mempersiapkan prekursor LTAP dalam bentuk serbuk yang selanjutnya dikenakan variabel temperatur ruang sampai temperatur 1000°C. Hasil pengamatan DSC/TGA dapat dilihat pada gambar 5.

Pada hasil pengujian DSC/TGA terjadi peristiwa kestabilan massa yang stagnan pada temperatur sekitar 600°C dan terjadi peristiwa eksoterm pada temperatur 800°C-1000°C, dengan adanya peristiwa ini maka dilakukan kalsinasi pada variasi temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C, dan 1000°C. Sehingga berdasarkan hasil DSC/TGA

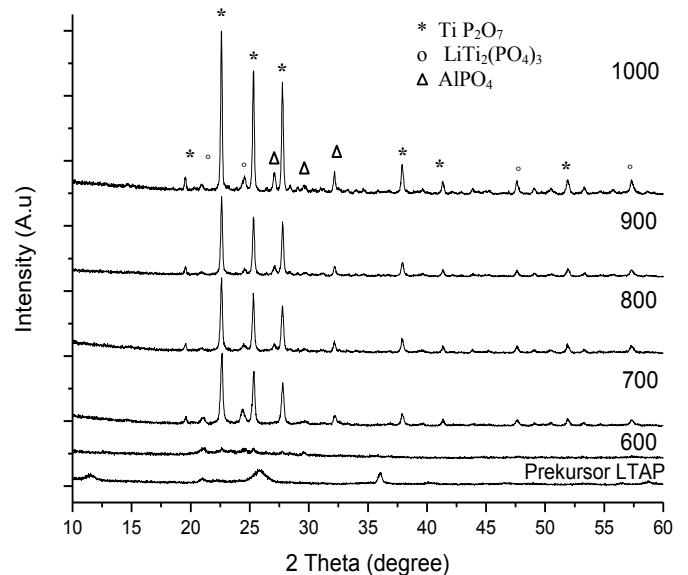
dapat disimpulkan bahwa prekursor LTAP dapat terbentuk sempurna menjadi LTAP pada suhu diatas 600°C.



Gambar 5 Kurva Analisis DSC/TGA pada Serbuk Prekursor LTAP

C. Pengukuran Difraksi Sinar-X Sintesis Elektrolit Padat LTAP dengan Metode Liquid Mixing

Hasil pengamatan temperatur pada DSC/TGA dapat digunakan sebagai acuan pembentukan fase-fase tertentu yang dikehendaki. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut range antara 600°C - 1000°C merupakan kondisi temperatur-temperatur krusial yang perlu diidentifikasi pembentukan fasanya. Identifikasi terbentuknya fase-fase dapat menggunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik fasa yang terbentuk pada sampel uji setelah proses kalsinasi dalam pembuatan elektrolit padat LTAP.



Gambar 6 Pola XRD LTAP pada prekursor dan variasi temperatur kalsinasi 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C selama 2 jam

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara pola difraksi prekursor LTAP dan LTAP setelah di kalsinasi, dimana terjadi pergeseran-pergeseran puncak pada LTAP setelah di kalsinasi. Pada pola difraksi prekursor terdapat puncak disekitar sudut 12, dimana puncak tersebut merupakan fase AlPO_4 , namun fase ini

tidak terdapat pada LTAP setelah di kalsinasi. Hal ini dapat dikatakan bahwa pada saat proses kalsinasi fase AlPO_4 melebur menjadi fase lain atau bergabung dengan fase yang lebih dominan.

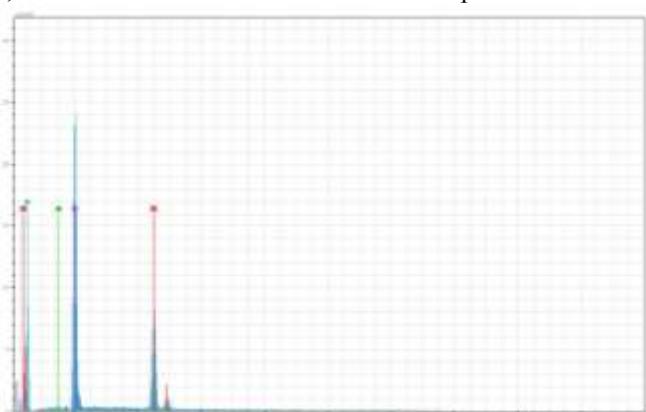
Tabel 1 Luaran hasil perhitungan komposisi fasa $\text{Li}_{1,3}\text{Ti}_{1,7}\text{Al}_{0,3}(\text{PO}_4)_3$ pada variasi temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C selama 2 jam

Sampel	Kandungan fasa yang terbentuk (% berat)		
	$\text{LiTi}_2(\text{PO}_4)$	TiP_2O_7	AlPO_4
LTAP 600°C	65.78	33.83	0.39
LTAP 700°C	22.50	75.81	1.69
LTAP 800°C	11.39	88.04	0.57
LTAP 900°C	9.07	90.64	0.29
LTAP 1000°C	14.13	84.57	1.31

Analisa lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *rietica* untuk menghitung komposisi fraksi berat fasa. Dari hasil keluaran penghalusan terhadap parameter-parameter pada setiap fasa, diperoleh prosentase komposisi fasa paling tinggi intensitas difraksinya pada temperatur 600°C. Hal ini dapat dibuktikan dengan terbentuknya fase LTP (NASICON) yang paling banyak yaitu mencapai 65.78% pada variasi temperatur paling rendah. Berdasarkan pola XRD yang diamati pada tabel 1 ada dua fase impuritas yaitu TiP_2O_7 dan AlPO_4 di dalam serbuk LTAP. Adanya fase TiP_2O_7 dan AlPO_4 akan mereduksi kandungan fosfor di dalam stokimetri LTAP.

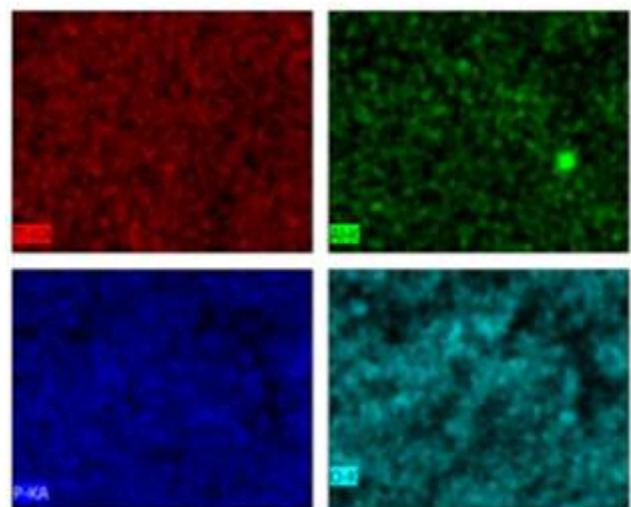
D. Ukuran Partikel pada Elektrolit Padat LTAP

Untuk mengetahui morfologi dari elektrolit padat lithium titanium aluminium phospat, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Sampel yang digunakan dalam pengamatan ini adalah $\text{Li}_{1,3}\text{Ti}_{1,7}\text{Al}_{0,3}(\text{PO}_4)_3$. Komposisi fase dapat diestimasi menggunakan SEM-EDX. Dimana komposisi dari hasil SEM-EDX akan berbeda dengan hasil stokimetri yang telah dirumuskan sebelumnya. Deviasi ini dapat terjadi karena ketidakakuratan EDX, dimana ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu orientasi, densitas material, dan lain-lain. Hal ini dapat dilihat dari gambar 7, dimana dapat kita ketahui komposisi yang terdapat pada LTAP yaitu untuk elemen O 64,31%, elemen Al 0,07%, elemen P 21,49% dan elemen Ti 14,13%. Pada EDX untuk elemen Li tidak dapat terdeteksi.



El	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	C Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[%]
O	8	K-series	47.35	43.36	64.31	27.0
Al	13	K-series	0.08	0.08	0.07	0.0
P	15	K-series	30.63	28.05	21.49	1.2
Ti	22	K-series	31.12	28.51	14.13	0.9
<hr/>						
Total: 109.18 100.00 100.00						

Gambar 7 Persebaran Atom Komposisi Penyusun LTAP Secara Kuantitatif

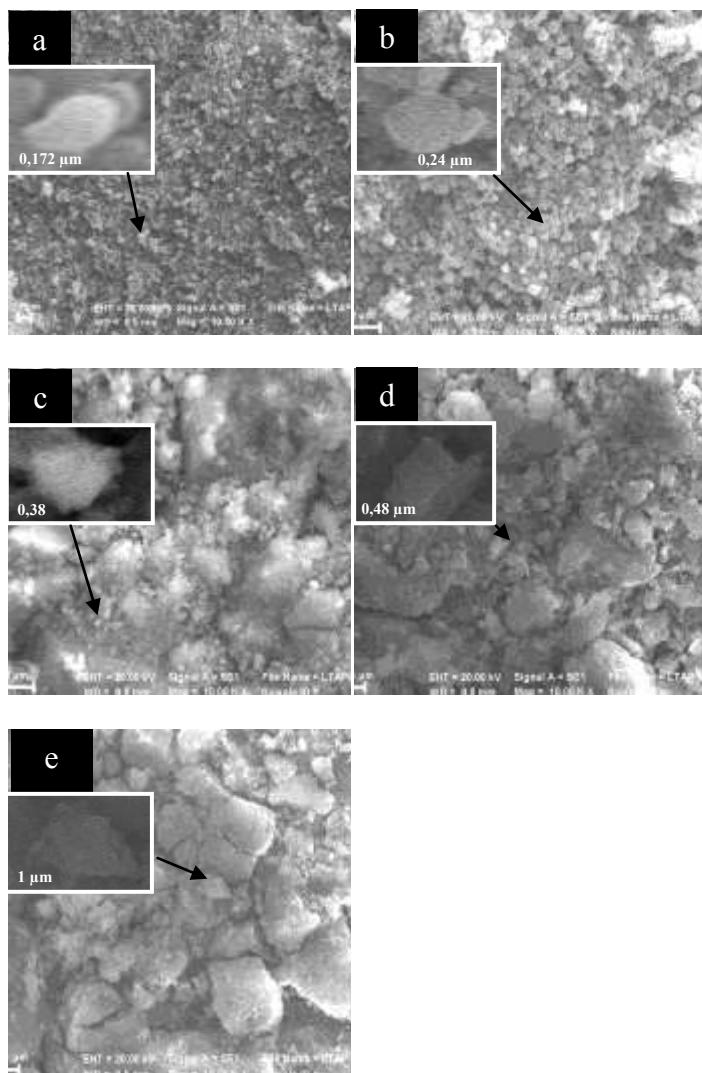


Gambar 8 Penyebaran Komposisi Penyusun LTAP Menggunakan SEM-EDX

Untuk dapat membuktikan terbentuknya elektrolit padat LTAP dapat dilihat melalui hasil SEM-EDX dari gambar 8. Terlihat bahwa persebaran dari komposisi penyusun partikel LTAP menyebar menyelimuti permukaan elektrolit padat LTAP. Penyebarannya tidak hanya pada tepi LTAP, namun menyelimuti seluruh permukaan LTAP, hal ini dapat dilihat pada gambar 8.

Pengamatan morfologi pada sampel LTAP dapat dilihat pada gambar 8 yang dilakukan dalam keadaan pellet. Berdasarkan pengamatan SEM struktur LTAP mempunyai dimensi partikel sekitar 0,1-1 μm . Hal ini dapat membuktikan bahwa elektrolit padat LTAP yang terbentuk pada temperatur 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C dan masih terjadi aglomerasi antar partikel LTAP.

Dari gambar 9 dapat membandingkan ukuran partikel berdasarkan temperatur dan perubahan komposisi kimia dapat merubah ukuran partikel. Hal itu terjadi pada penelitian ini bahwa semakin tinggi perlakuan temperatur yang diberikan maka ukuran partikel pada sampel juga akan semakin besar. Dimana dapat kita lihat pada gambar 8 bahwa pada temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C memiliki ukuran partikel dan komposisi fase yang berbeda-beda. Perbedaan ukuran partikel dan keuniforman dapat mempengaruhi performa elektrokimia pada material kristalin elektrolit padat.



Gambar 9 Bentuk Morfologi Elektrolit Pellet LTAP pada variasi temperatur kalsinasi (a) 600°C, (b) 700°C, (c) 800°C, (d) 900°C dan (e) 1000°C selama 2 jam

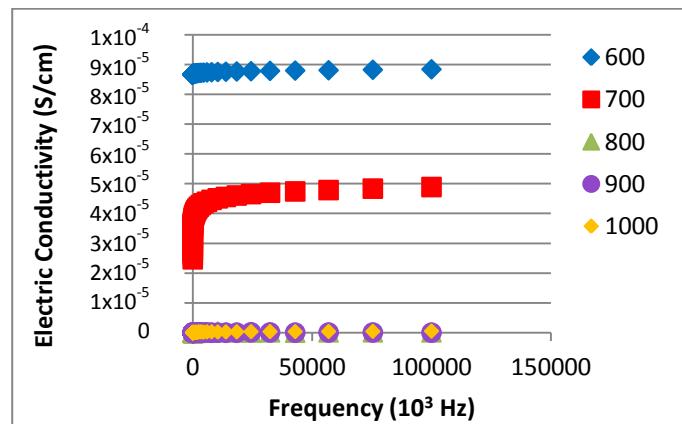
E. Hasil Konduktivitas Listrik pada Elektrolit Padat LTAP

Untuk mengetahui sifat konduktivitas listrik dari elektrolit LTAP maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan *LCR* two probe. Data yang diperoleh dari pengujian ini yaitu berupa grafik hubungan antara frekuensi (Hz) dengan konduktivitas listrik (S/cm). Berikut ini merupakan hasil pengukuran sifat konduktivitas listrik untuk masing-masing variasi temperatur kalsinasi untuk nilai konduktivitas listrik (S/cm) dan nilai Impedansi (Ω) pada tabel 2. Berdasarkan tabel 2 dapat kita ketahui bahwa elektrolit padat LTAP merupakan material konduktif dengan nilai konduktivitas listrik yang tinggi. Dari hasil yang didapat untuk elektrolit padat LTAP pada variasi temperatur 600°C memiliki nilai konduktivitas listrik yang paling tinggi. Semakin besar nilai konduktivitas listrik pada elektrolit padat LTAP maka semakin kecil pula nilai impedansinya, dimana nilai konduktivitas listrik berbanding terbalik dengan nilai impedansi suatu bahan.

Tabel 2 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik

LTAP	Konduktivitas Listrik (S/cm)	Impedansi (Ω)
600°C	$8,71 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^3$
700°C	$3,76 \times 10^{-5}$	$7,01 \times 10^3$
800°C	$7,31 \times 10^{-8}$	$6,23 \times 10^6$
900°C	$4,07 \times 10^{-8}$	$6,81 \times 10^6$
1000°C	$1,76 \times 10^{-7}$	$2,07 \times 10^6$

Hal ini disebabkan karena adanya hambatan yang diberikan pada setiap sampel, semakin besar hambatan yang diberikan maka nilai konduktivitas listriknya juga akan semakin kecil begitupula sebaliknya. Untuk mengetahui perbandingan nilai konduktivitas listrik pada elektrolit padat LTAP dapat dilihat pada gambar 10 berikut ini. Pada gambar ini menunjukkan perbedaan nilai konduktivitas listrik pada masing-masing temperatur yang sangat signifikan. Berdasarkan perlakuan temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C, semakin tinggi temperatur yang diberikan maka nilai konduktivitas listriknya semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan temperatur yang tinggi akan mengurangi sifat konduktivitas dari suatu bahan, namun hal ini tidak berlaku untuk perlakuan temperatur 1000°C.



Gambar 10 Grafik Konduktivitas Hubungan antara Frekuensi dengan Konduktivitas pada Temperatur 600°C, 700°C, 800°C, 900°C dan 1000°C

Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui bahwa kandungan fase NASICON sangat mempengaruhi nilai konduktivitas listrik suatu bahan, sehingga semakin banyak komposisi fase NASICON pada suatu bahan maka nilai konduktivitasnya juga semakin tinggi. Hal ini terjadi karena struktur dari fase NASICON berupa chanal-chanal. Dengan adanya chanal-chanal maka ion lithium pada elektrolit padat LTAP akan mudah bergerak sehingga kerapatan muatan ion lithium semakin tinggi, hal ini menyebabkan nilai konduktivitas listrik LTAP juga semakin tinggi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Temperatur kalsinasi 600°C memiliki struktur fase NASICON yang paling tinggi yaitu sebesar 65,78%.
2. Kenaikan temperatur kalsinasi cenderung menurunkan fase-fase NASICON.
3. Dengan semakin meningkatnya fase NASICON maka nilai konduktivitas listriknya semakin meningkat, pada variasi temperatur 600°C menunjukkan konduktivitas listrik paling tinggi yaitu sebesar $8,71 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$.
4. Bentuk partikel untuk semua temperatur kalsinasi berbentuk *circular asimetri*, dengan ukuran dimensi partikel antara $0,1\text{-}1\mu\text{m}$, dimana ukuran tersebut akan meningkat dengan kenaikan temperatur kalsinasinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.S. Best, M. Forsyth, D.R. Macfarlane, *Solid State Ionics*, Vol 339 (2000) 136–137
- [2] Aurino P. Adityawan, *Sistem pengisian Batteray Lead Acid secara Adaptive*, PENS : Surabaya (2010)
- [3] 3B. Wang, J.B. Bates, F.X. Hart, B.C. Sales, R.A. Zuhr, J.D. Robertson, *J. Electrochem. Soc* (1996) 143:3203
- [4] 4H. Ohtsuka, Y. Sakurai, *Solid State Ionics* (2001) 144: 59
- [5] 5Bambang Prihandoko dkk, *Pembuatan Keramik LTAP sebagai Komponen Elektrolit pada Baterai Lithium Rechargeable*. Seminar Bidang Energi, Elektronika, Kendali, Telekomunikasi dan Sistem Informasi. Universitas Brawijaya : Malang (2000)
- [6] 6A. Patil V. Patil, D.W. Shin, J.W. Choi, D.D. Paik, S.J. Yoon, *Materials Research Bulletin* (2008) 43:1913-1942
- [7] 7P. Knauth. *Inorganic solid Li ion conductors: An overview*, *Solid State Ionics* (2009), doi:10.1016/j.ssi.2009.03.022
- [8] 8K. Takada, M. Tansho, I. Yanase, T. Inada, A. Kajiyama, M. Kouuchi, S. Kondo, M. Watanabe, *Solid State Ionics*, (2001) 139-241
- [9] 9J. Wolfenstine, et al, *Solid State Ion* (2009) 03 : 021
- [10] 10M. Catti. *Journal of Physics* 117 (2008), doi:10.1088/1742-6596/117/1/012008
- [11] 11Hua et al, "Factors Controlling Pure-phase Multiferroic BiFeO₃ Powders Synthesized by Chemical Coprecipitation", *Journal of Alloys and Compounds* Vol.509 (2010) p.2192-2197