



Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel CaO dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Menggunakan Metode Kopresipitasi

Nur Hayati, Widodo Budi Kurniawan*, Indah Puspita

Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu Balunijuk, Merawang, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

*E-mail korespondensi: widodokurniawan1@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:
28 Agustus 2023
Revisi:
12 Februari 2024
Diterima:
30 Juni 2024

Kata Kunci:

Kopresipitasi,
nanopartikel CaO,
kerang darah

Abstract

The lithium ion battery is a type of secondary battery. A good component to be used as the anode of a lithium ion battery is $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO). LTO has a low conductivity value so doping is necessary. Doping particle size greatly affects the conductivity of LTO. The purpose of this doping was carried out to find out how the effect of CaO nanoparticle doping on the conductivity value of the LTO battery anode using the coprecipitation method by varying the molarity of NaOH, namely 1M, 3M and 7M. Based on the results of research on the influence of NaOH molarity, it produces different sizes of nanoparticles. The smallest nanoparticle size was obtained in the 3M sample variation, which was 175.0 nm. With a purity of CaO nanoparticles of 96.35%. While the conductivity value of the lithium ion battery doped with CaO nanoparticles with three variations of NaOH molarity, the optimum value was obtained in the 1M sample, which was 1.06×10^{-6} S/cm. This is because the 1M variation produces very low impurities compared to the 3M and 7M variations which have more impurities, this can affect the conductivity value.

PENDAHULUAN

Baterai ion lithium merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*Rechargeable*) yang banyak digunakan terutama pada berbagai peralatan elektronik *portable*. Salah satu bahan yang dapat dijadikan anoda dari baterai ion lithium ialah $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO). Upaya untuk meningkatkan kinerja anoda LTO adalah dengan *doping*. Proses doping pada anoda LTO dapat dilakukan dengan menyisipkan Ca, Mg, Al, Fe, dan Nb ke dalam kristal LTO [1]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penambahan doping Ca (dalam bentuk CaCO_3) dari cangkang kerang darah dengan kemurnian sebesar 97.67% pada anoda LTO menghasilkan konduktivitas sebesar 8.99×10^{-5} S/cm. CaCO_3 berbasis bahan alam memiliki struktur yang lebih halus sehingga memudahkan atom Ca terdoping pada struktur LTO [2, 3].

Kerang darah merupakan jenis kerang yang umum dijumpai dan melimpah keberadaannya. Cangkang kerang darah mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang secara fisik mempunyai pori-pori yang memiliki kemampuan mengadsorpsi atau menyerap zat-zat lain ke dalam pori-pori permukaannya. Kalsium oksida (CaO) dapat diperoleh dari senyawa Kalsium karbonat (CaCO_3) melalui pelepasan senyawa karbondioksida [4]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memodifikasi kalsium oksida adalah mengubahnya menjadi partikel berskala nanometer atau

disebut sebagai nanopartikel. Partikel yang berukuran nano memiliki sisi aktif yang lebih luas karena rasio luas permukaan terhadap volumenya yang lebih tinggi. Peningkatan kereaktifan bahan ini dapat membantu proses penyerapan sehingga berlangsung lebih mudah [5]. Nanopartikel merupakan partikel berukuran nano sekitar 10-1000 nm (dibawah 1 mikro) [6]. Material dengan struktur nanopartikel umumnya memiliki sifat yang berbeda dengan struktur aslinya. Beberapa sifat tersebut dapat dimodifikasi melalui pengontrolan ukuran partikel, pengontrolan komposisi kimia, modifikasi permukaan dan pengontrolan interaksi antar partikel. Selain itu, tingkat keaktifan nanopartikel kalsium oksida yang lebih tinggi diharapkan mampu mempercepat proses pendopingan partikel CaO pada anoda LTO.

Berbagai metode dikembangkan dalam mensintesis nanopartikel salah satunya yaitu metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi memiliki beberapa keunggulan yaitu proses pengendapan sangat sederhana sehingga memudahkan pemisahannya pada suhu rendah, peralatan yang digunakan sederhana, dan waktu yang digunakan relatif cepat [7]. Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sintesis nanopartikel dengan menggunakan metode kopresipitasi menghasilkan ukuran partikel yang semakin kecil jika molaritas NaOH yang digunakan semakin tinggi. Variasi Molaritas NaOH yang digunakan pada penelitian ini yaitu yaitu 1M, 3M dan 7M [8].

Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan ekstraksi kalsium oksida dari cangkang kerang darah yang dimodifikasi menggunakan metode kopresipitasi. Selanjutnya, dilakukan proses doping dengan menyisipkan nanopartikel CaO pada anoda LTO. Pengaruh variasi konsentrasi NaOH terhadap ukuran dan struktur kristal nanopartikel CaO yang dihasilkan merupakan parameter yang diamati pada penelitian ini. Selain itu, pengaruh CaO yang dihasilkan dari variasi konsentrasi NaOH yang didoping pada bahan anoda LTO terhadap struktur kristal dan nilai konduktivitas listrik bahan anoda juga diamati pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah preparasi limbah cangkang kerang darah. Pada tahapan ini, kerang darah dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari. Selanjutnya dilakukan penghalusan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan ukuran 200 mesh. Serbuk cangkang kerang kemudian dikeringkan selama 12 jam dalam oven pada suhu 100 °C.

Tahapan selanjutnya adalah tahapan pembuatan nanopartikel CaO menggunakan metode kopresipitasi. Tahapan ini diawali dengan melarutkan 50 gr serbuk cangkang kerang darah ke dalam larutan HCl 2M dan dilakukan perendaman selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan penetralan dengan aquades dan dilakukan pengeringan. Serbuk cangkang kerang darah yang telah kering selanjutnya dilakukan perendaman di dalam 300 ml larutan NaOH yang konsentrasinya divariasikan menjadi 1, 3, dan 7 Molar selama 24 jam, kemudian dilakukan pencucian dengan aquades hingga pH netral. Proses ini dilanjutkan dengan penetesan larutan HCl 2 Molar, yang dilanjutkan dengan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan berwarna putih. Endapan kemudian dicuci dengan aquades lalu disaring dengan kertas saring dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 1 jam. Selanjutnya, serbuk hasil endapan dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 900 °C selama 4 jam.

Serbuk yang dihasilkan dari proses kalsinasi selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan XRF untuk menentukan komposisi unsur. Pengujian menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) selanjutnya dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel. Analisis data dari pengujian X-Ray *Diffraction* (XRD) juga dilakukan pada sampel yang dihasilkan dari proses kalsinasi untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada serbuk cangkang kerang darah.

Tahapan berikutnya adalah pendopongan nanopartikel CaO pada anoda LTO. Pada tahapan ini, ketiga serbuk nanopartikel CaO yang telah dihasilkan dari tahapan sebelumnya dicampurkan dengan anoda LTO dengan rumus $\text{Li}_{4-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Pencampuran dilakukan dengan penghalusan bahan CaO dan LTO menggunakan mortar secara bersama – sama hingga homogen dan kemudian diayak dengan ukuran 200 mesh. Selanjutnya, serbuk campuran yang dihasilkan dilakukan kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 700 °C selama dua jam. Proses ini diikuti oleh proses sintering pada suhu 800 °C selama 4 jam. Analisis XRD kemudian digunakan untuk mengidentifikasi bahan aktif. Tabel 1 menunjukkan formulasi sampel dan kode bahan aktif anoda.

Tabel 1 Formulasi dan kode sampel bahan aktif anoda.

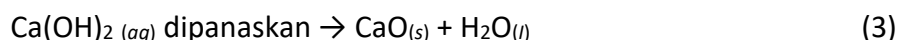
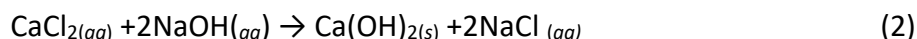
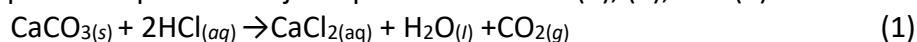
Formulasi	CaO (mol)	Li (mol)	Matelrial	Konseltrasi NaOH
$\text{Li}_{4-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	0.15	3.85	$\text{Li}_{3.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	1M
	0.15	3.85	$\text{Li}_{3.95}\text{Ca}_{0.05}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	3M
	0.15	3.85	$\text{Li}_{3.90}\text{Ca}_{0.10}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	7M

Selanjutnya, sintesis lembaran anoda LTO dilakukan dengan pencampuran serbuk bahan campuran yang telah disiapkan pada tahapan sebelumnya sebanyak 0,5 gram seperti pada Tabel 1 dengan PVDF dan karbon konduktif (AB). Pencampuran ini dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer*, perbandingan massa bahan aktif ($\text{Li}_{4-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$), PVDF, dan AB adalah 80%: 10%: 10%. Proses pencampuran ini dilakukan selama satu jam dalam larutan NMP. Setelah itu, hasil pencampuran dituangkan ke dalam wadah cetakan dan kemudian dikeringkan selama dua jam menggunakan oven dengan suhu 100 °C. Lembaran anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ yang terdoping CaO dikarakterisasi dengan analisis EIS [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode kopresipitasi memiliki beberapa proses pertama adalah pelarutan serbuk cangkang kerang darah yang telah di oven selama 12 jam menggunakan larutan HCl untuk menghilangkan senyawa pengotor yang ada di dalam serbuk cangkang kerang darah. Proses kedua adalah presipitasi menggunakan larutan NaOH. Proses terakhir adalah dilakukan pelarutan kembali dengan menggunakan HCl. Tahap ini di lakukan dengan tujuan untuk memperkecil ukuran serbuk cangkang kerang darah tersebut. Kalsium klorida (CaCl_2) yang di presipitasi dengan NaOH akan menghasilkan endapan berupa kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan garam (NaCl). Garam (NaCl) merupakan produk samping berupa larutan yang kemudian di netralisasi menggunakan aquades. Endapan ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang terbentuk kemudian di kalsinasi pada suhu 900°C untuk menghilangkan senyawa organik yang terkandung pada serbuk cangkang kerang darah kemudian akan terbentuk serbuk kalsium Oksida (CaO).

Reaksi yang terjadi pada tahapan ini disajikan pada Persamaan (1), (2), dan (3).



Reaksi pencampuran asam dan basa yang dilakukan menyebabkan larutan menjadi jenuh dan menghasilkan endapan kalsium yang halus dan berbentuk nano. Analisis PSA (*Particle Size Analyzer*) dilakukan untuk mengetahui ukuran nanopartikel yang dihasilkan pada penelitian ini.

Tabel 2 diameter rata-rata nanopartikel CaO menggunakan analisis PSA.

Konsentrasi NaOH	Diameter Rata-rata (nm)	<i>Polydispersity Index</i> (PDI)
1 M	804.6	0.486
3 M	175.0	0.423
7 M	303.7	0.686

Berdasarkan hasil analisis PSA pada Tabel 2, ukuran nanopartikel CaO terbesar diperoleh pada sampel CaO yang dihasilkan menggunakan NaOH 1 M, yaitu sebesar 804.6 nm. Sementara itu, nanopartikel terkecil diperoleh pada sampel CaO yang dihasilkan menggunakan NaOH 3 M, yaitu sebesar 175.0 nm. Sementara itu, serbuk CaO yang dihasilkan menggunakan larutan NaOH 7 M memiliki ukuran partikel 303.7 nm. Konsentrasi NaOH yang semakin tinggi akan menyebabkan jumlah nanopartikel CaO yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini disebabkan ion Na^+ lebih reaktif dibandingkan dengan ion Ca^{2+} . Hal ini menyebabkan ion – ion Na^+ menarik ion – ion Cl^- sehingga menghasilkan endapan NaCl dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Konsentrasi NaOH yang semakin tinggi akan menyebabkan jumlah ion Na^+ bertambah, sehingga endapan yang terbentuk semakin banyak [10]. Hal ini juga menyebabkan ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil dengan peningkatan konsentrasi NaOH yang digunakan dari 1 M menjadi 3 M.

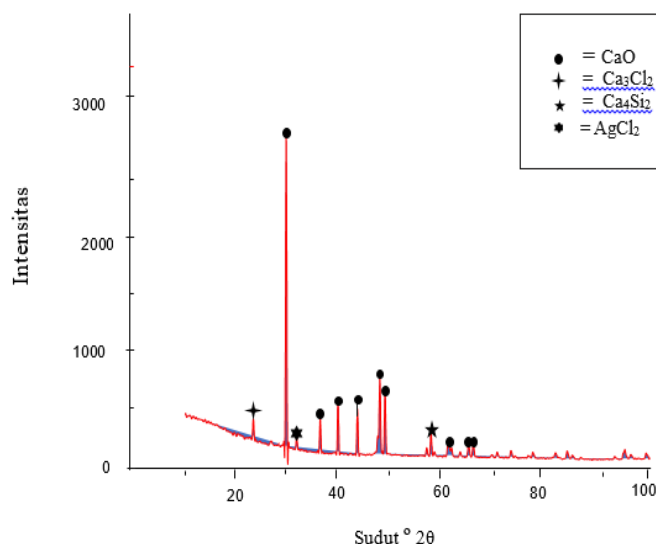
Pada peningkatan konsentrasi NaOH menjadi 7 M, ukuran nanopartikel yang dihasilkan meningkat menjadi 303.7 nm. Hal ini mungkin disebabkan karena terjadi aglomerasi atau penggumpalan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *polydispersity index* (PDI). Nilai *polydispersity index* (PDI) mengindikasikan homogenitas dari ukuran nanopartikel CaO. Partikel yang memiliki homogenitas yang semakin tinggi akan memiliki nilai PDI yang semakin mendekati 0 [11]. Berdasarkan data pada Tabel 2, sampel CaO dengan konsentrasi NaOH 7 M memiliki nilai PDI yang paling besar, yaitu 0.686. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat homogenitas sampel ini paling rendah dibandingkan sampel lainnya.

Tabel 3 Hasil Analisa XRF Dari Nanopartikel CaO dari Cangkang Kerang Darah

Unsur	Konsentrasi (%)
Ca	96,35
Si	0,63
Ag	0,59
Sr	0,39
Cl	0,32
Zr	0,02
Al	0,4
Unsur lainnya	0,15

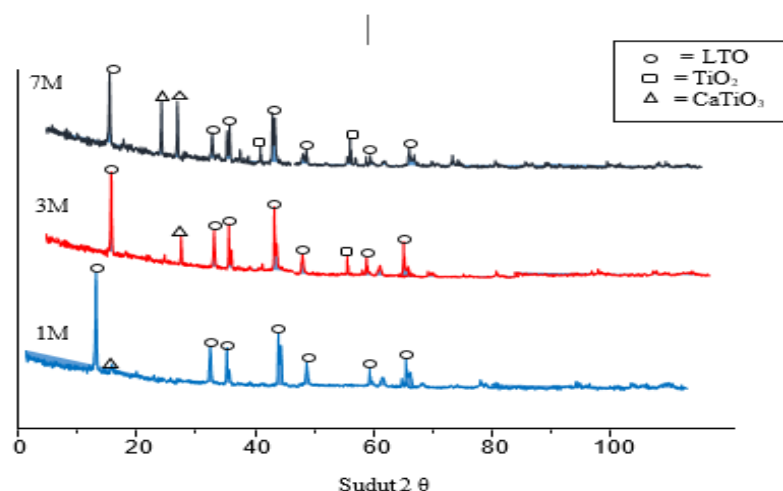
Parameter selanjutnya yang dilakukan analisis adalah komposisi unsur yang diuji menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF). Hasil analisis XRF pada serbuk nanopartikel CaO dari cangkang kerang darah ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan data pada Tabel 3, kandungan unsur yang paling dominan pada serbuk nanopartikel CaO dari cangkang kerang darah yang dimodifikasi dengan metode kopresipitasi adalah unsur Ca, yaitu sebesar 96,35%.

Selain unsur Ca, serbuk nanopartikel CaO yang dihasilkan memiliki unsur pengotor lain yang terdiri dari unsur Cl, Ag, Si, Ar, Zr, Al dan unsur lainnya dengan persentase kurang dari 1%. Keberadaan unsur pengotor tersebut menandakan proses sintesis yang dilakukan belum sepenuhnya menghilangkan unsur selain Ca yang ada pada limbah cangkang kerang darah. Kandungan unsur kalsium pada penelitian ini termasuk tinggi karena memiliki kandungan kalsium lebih dari 90% ($\text{Ca} \geq 90\%$).



Gambar 1. Pola puncak difraksi serbuk nanopartikel CaO

Parameter berikutnya yang diamati adalah kristalinitas nanopartikel CaO yang diukur menggunakan pengujian XRD. Hasil pengujian XRD pada Gambar 1 menunjukkan fasa kristal yang paling dominan pada sampel yang dihasilkan adalah fasa kristal CaO. Hasil ini sesuai dengan hasil pengujian XRF yang menunjukkan komposisi paling dominan berupa unsur Ca. Puncak-puncak fasa kristal CaO diamati pada sudut 2θ 29.51°, 39.54°, 43.29°, 47.63°, dan 48.62°. Puncak-puncak yang dihasilkan telah sesuai dengan fasa kristal senyawa CaO yang terbentuk pada COD (*Crystallography Open Database*) entry 96900-8606. Namun ada beberapa puncak senyawa CaO pada penelitian ini yang tidak dimiliki oleh *database* COD yaitu pada sudut 2θ berturut-turut 23.16°, 36.09°, 57.54° hal ini telah sesuai berdasarkan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa jika terdapat puncak senyawa selain CaO pada sudut 2θ yaitu senyawa Ca₃Cl₂ sebesar 1,4 %, Ca₄Si₂ sebesar 3,5 % dan AgCl₂ sebesar 2,8 % hal ini menandakan bahwa fasa impuritas (pengotor) tersebut muncul ketika proses preparasi dan sintesis atau ketika dilakukan pengujian sampel [12]. Berdasarkan analisis hasil data XRD menggunakan *software* Match, struktur kristal CaO yang terbentuk adalah kubik.



Gambar 2. Pola puncak difraksi bahan aktif anoda LTO yang terdoping CaO limbah cangkang kerang darah

Gambar 2 menunjukkan pola puncak difraksi bahan aktif anoda yang terdoping CaO dengan konsentrasi NaOH yang berbeda – beda. Pada Gambar 2, tanda titik menunjukkan puncak LTO. Puncak pola difraksi LTO dengan intensitas tertinggi berturut-turut yaitu pada variasi sampel 1M NaOH pada sudut difraksi $18,46^\circ$, $35,65^\circ$, $43,32^\circ$, dan $62,88^\circ$. Selanjutnya, puncak pola difraksi LTO pada variasi sampel 3M NaOH berturut-turut terdapat pada sudut $18,37^\circ$, $35,56^\circ$, $43,23^\circ$ dan $62,82^\circ$. Sementara itu, pola puncak difraksi pada variasi sampel 7M NaOH berturut-turut terdapat pada sudut $18,48^\circ$, $35,68^\circ$, $43,37^\circ$, dan $62,92^\circ$. LTO pada puncak-puncak tersebut telah sesuai dengan data COD (*Crystallography Open Database*) dengan nomor 1001098. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa fasa CaO tidak ditemukan dalam struktur LTO. Hal ini telah sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Subhan (2017) dan Priyono (2019) menunjukkan bahwa penambahan doping Ca berbasis bahan alam tidak mengubah struktur *host* LTO pada sudut 2θ [13]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pendopingan telah berhasil dilakukan. Fasa yang mendominasi dari ketiga sampel bahan aktif anoda LTO ialah $\text{Li}_{1.33}\text{Ti}_{1.67}\text{O}_4$ atau spinel dari $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) dengan struktur Kristal berbentuk kubik. Akan tetapi pada setiap sampel ditemukan beberapa fasa TiO_2 dan CaTiO_3 . Adanya puncak pengotor (Impuritas) tersebut dapat muncul kemungkinan disebabkan oleh prekursor TiO_2 yang tidak bereaksi secara sempurna pada proses sintesis bahan aktif anoda LTO [14]. Berikut merupakan tabel hasil analisis semi kuantitatif dengan menggunakan aplikasi *match 2* ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 hasil analisis semi kuantitatif dengan menggunakan aplikasi *match 2*

Konsentrasi NaOH	% Kuantitatif		
	Fasa LTO (%)	Fasa TiO_2 (%)	Fasa CaTiO_3 (%)
1M	73	-	26.2
3M	68,7	17,7	23,2
7M	50,5	28,4	21,1

Selain itu, pengotor pada bahan aktif anoda LTO dapat disebabkan oleh prekursor TiO_2 yang tidak bereaksi secara sempurna pada proses kalsinasi. Kemungkinan lain terbentuknya anatase juga disebabkan oleh adanya hidrogen titanate hasil sintesis nanopartikel CaO dengan larutan

HCl yang tidak bereaksi bersama Li^+ , dimana setelah dilakukan kalsinasi akan terbentuk struktur kristalnya kembali. Hal ini yang menyebabkan terbentuknya puncak TiO_2 . Hasil analisis XRD parameter kristal bahan aktif anoda LTO dianalisis menggunakan perangkat lunak *match 2*. Struktur Kristal dari bahan aktif anoda LTO berbentuk yang telah di analisis dengan perangkat lunak *match 2* di hasilkan parameter kisi berbentuk kubik. Parameter kisi kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan jarak antar kisi, yang biasanya diwakili dengan dhkl. Persamaan jarak antar planar untuk sistem kubik ditunjukkan Persamaan (1).

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (1)$$

Keterangan :

D : Jarak antar kisi Å

h_{kl} : Indeks miller

A : Parameter kisi Å

Hasil perhitungan parameter kisi Å untuk masing-masing sampel yaitu 1M sebesar 8,3570 Å, kemudian pada sampel 3M sebesar 8,3570 Å dan pada sampel dengan variasi 7M sebesar 8,3570 Å. Data parameter kisi dari setiap sampel ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil data Parameter kisi.

Kode Sampel	Parameter Kisi (Å)
1M	8,3570
3M	8,3570
7M	8,3570

Parameter kisi kristal tidak berubah ketika molaritas NaOH ditambahkan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5. Parameter kisi yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses pendopingannya berhasil, dan menunjukkan bahwa ion Ca^{2+} mensubstitusi ion Li^+ pada komposisi senyawa $\text{Li}_{4-x}\text{Ca}_x\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Parameter kisi dan volume sel dapat berubah sebagai akibat dari munculnya fasa lain pada pola difraksi, seperti impuritas TiO_2 anatase dan CaTiO_3 . Faktor tambahan, seperti doping yang berlebihan, dapat menyebabkan fase berubah atau pembentukan fase yang tidak diantisipasi). Bahan aktif anoda LTO yang terdoping nanopartikel CaO adalah *Polyvinylidene Flouride* (PVDF), yang berfungsi sebagai binder atau polimer pengikat, dan *Acetylene Black* (AB) berfungsi sebagai karbon konduktif. Proses ini dilakukan dengan menggunakan kedua bahan ini. PVDF memiliki perbandingan massa 80%: 10%: 10%. Lembaran anoda, yang dibuat untuk sampel 1 M, 3 M, dan 7 M, dibuat dalam bentuk lingkaran dengan diameter 1,2 cm². Pada penelitian ini, pengujian EIS dilakukan dengan program *Zview*. Nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) dihitung untuk menentukan nilai konduktivitas. Hasil pencocokan data Nyquist Plot, yang diolah menggunakan model Sel Randles Sederhana. Perhitungan data konduktivitas, yang dihasilkan dari data Nyquist Plot, ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Data nilai konduktivitas anoda baterai LTO.

Kode Sampel	Tebal Sampel (cm)	R_{ct} (Ω)	Konduktivitas (S/cm)	χ^2
1M	0,047	37121	$1,06 \times 10^{-6}$	0,002578
3M	0,047	$1,51 \times 10^{10}$	$2,60 \times 10^{-12}$	0,22226
7M	0,047	$1,31 \times 10^{15}$	$2,98 \times 10^{-17}$	0,13893

Berdasarkan pada hasil data nilai konduktivitas anoda LTO pada penelitian ini yang ditunjukkan pada Tabel 6, penambahan doping nanopartikel CaO dengan menggunakan tiga variasi molaritas NaOH dapat mempengaruhi nilai resistensi muatan (R_{ct}). Semakin besar konsentrasi molaritas NaOH yang digunakan maka semakin besar pula nilai resistansi. Nilai resistansi muatan terendah diperlihatkan pada sampel 1M yaitu sebesar 37121Ω dan nilai resistansi muatan tertinggi diperlihatkan pada sampel 7M yaitu sebesar $1,31 \times 10^{15} \Omega$. Adapun nilai konduktivitas semakin kecil seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan NaOH. Sampel 1M memiliki konduktivitas tertinggi sebesar $1,06 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$, dan sampel 7M memiliki konduktivitas terendah sebesar $2,98 \times 10^{-17} \text{ S/cm}$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini nilai konduktivitas LTO paling maksimal diperoleh pada sampel 1M. Nilai χ^2 mengindikasikan akurasi dari pencocokan data, ketika dilakukan pencocokan data jika yang di hasilkan semakin kecil nilai χ^2 (mendekati 0) maka semakin bagus kualitas pencocokan data yang dilakukan. Indikator dalam menentukan nilai konduktivitas dari R_{ct} dapat dilihat dari ukuran diameter R_{ct} . Jika diameter pola setengah lingkaran lebih kecil, resistansi pola akan lebih rendah, dan nilai konduktivitas akan lebih tinggi, ataupun sebaliknya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi konsentrasi NaOH sebesar 1 M, 3 M, dan 7 M memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ukuran nanopartikel CaO yang dihasilkan pada penelitian ini. Ukuran partikel terkecil didapatkan pada variasi konsentrasi NaOH 3 M dengan ukuran partikel 175 nm. Nanopartikel CaO yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan 3 variasi molaritas NaOH memiliki fasa kristal berbentuk kubik dengan kemurnian nanopartikel CaO sebesar 95,45%. Sementara itu, nilai konduktivitas anoda baterai LTO yang terdoping nanopartikel paling maksimum pada anoda LTO yang mendapatkan penambahan CaO dengan variasi NaOH 1M yang memiliki nilai konduktivitas sebesar $1,06 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rahmatsyah, "Analisis Pola Struktur Kalsium Karbonat (CaCO_3) Pada Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Di Bukit Kerang Kabupaten Aceh Tamiang," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. IX, no. 1, pp. 23-32, 2021.
- [2] P. M. & R. Insani S, "Analisis Pola Struktur Kalsium Karbonat (CaCO_3) Pada Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Bukit Kerang Kabupaten Aceh Tamiang," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 9 (1), pp. 23-32, 2021.
- [3] E. Marhan, "Pengaruh Doping CaCO_3 Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Terhadap Struktur Kristal dan Nilai Konduktivitas Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$," 2021.
- [4] D. Renika, M. Wijaya and D. E. Pratiwi, "Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (NaOH) Dalam Sintesis Nanosilika Dari Tongkol Jagung dengan Metode Kopresipitasi Effect Of NaOH Concentration In Synthesis Of Nanosilica by Corn Cob With Coprecipitation Method," *hemica: J. Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, vol. XXII, no. 2, p. 59, 2021.
- [5] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati and T. Handayani, "Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.
- [6] E. Commission, GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION, European Commission-Research General Directorate, 2004.

- [7] V. A. Fabiani, F. Sutanti, D. Silvia and M. A. Putri, "Green Synthesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Pucuk Idat (*Cratogeomys*) Sebagai Bioreduktor," *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. I, no. 2, pp. 68-76, 2018.
- [8] E. A. Setiadi, N. Shabrina, H. R. B. Utami, N. F. Fahmi, T. Kato, S. Iwata and E. Suharyadi, "Sintesis nanopartikel cobalt ferrite (CoFe_2O_4) dengan metode kopresipitasi dan karakterisasi sifat kemagnetannya," *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. III, no. 1, pp. 55-62, 2013.
- [9] L. Silvia and M. Zainuri, "Analisis Silika (SiO_2) Hasil Kopresipitasi Berbasis Bahan Alam menggunakan Uji XRF dan XRD," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. XVI, no. 1, pp. 12-17, 2020.
- [10] A. Nandiyanto, B. Maharani and R. Ragaditha, "Calcium Oxide Nanoparticle Production and its Application as Photocatalyst," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. XXX, no. 3, pp. 168-181, 2023.
- [11] R. Tungadi, "The Effect of Ultrasonication Time on Particle Size, Polydispersity Index, and Stability Evaluation of Anthocyanin Liposomes," *Universal Journal of Pharmaceutical Research*, vol. IX, no. 1, pp. 8-13, 2024.
- [12] H. Izzati, "Sintesis dan Karakterisasi Kekristalan Nanosilika Berbasis Pasir Bancar.," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. II, no. 3, 2013.
- [13] A. Subhan, D. Setiawan, S. Saptari and P. BA, "Analisa Koefisien Difusi Anoda Lto Yang Didoping Ca Dari Limbah Kulit Telur Untuk Aplikasi Baterai Lithium-Ion Berdaya Tinggi," *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, vol. VII, no. 2, pp. 6-11, 2017.
- [14] F. Akbar, R. Kusumaningrum, M. R. S. Jamil, A. Noviyanto, W. B. Widayatno, A. S. Wismogroho and N. T. Rochman, "Sintesis $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ dari Limbah Kerang dengan Metode Solvotherma," *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, vol. XV, no. 3, pp. 110-113, 2019.