

SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO EKSTRAK *Sargassum* sp. DAN KARAKTERISTIK PRODUKNYA

Rodiah Nurbaya Sari^{1*}, Nurhasni², M. Ainul Yaqin²

¹Pusat Riset Kelautan, Jalan KS. Tubun Petamburan VI, Jakarta Pusat 10260,
Telepon (021) 53650157-53650158, Faks. (021) 53650158

²Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
*Korespondensi: rnurbayasari@gmail.com

Diterima: 21 April 2017/ Disetujui: 5 Agustus 2017

Cara sitasi: Sari RN, Nurhasni, Yaqin. 2017. Sintesis nanopartikel ZnO ekstrak *Sargassum* sp. dan karakteristik produknya. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(2): 238-254.

Abstrak

Sintesis nanopartikel seng oksida (ZnO) merupakan bidang riset yang sedang berkembang dengan aplikasinya yang luas digunakan di peralatan elektronik, farmasi, optik, dan kemasan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik ZnO ekstrak *Sargassum* sp. secara ramah lingkungan yang meliputi sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak *Sargassum* sp. dan seng nitrat 0,1 M sebagai bahan prekursor. Variasi yang dilakukan meliputi volume ekstrak *Sargassum* sp yaitu 5, 10, dan 20 mL dan suhu kalsinasi 400, 500, dan 600 °C. Karakterisasi dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pada panjang gelombang 450-4000 cm⁻¹ untuk mengkonfirmasi peran dari ekstrak *Sargassum* sp. mereduksi ion Zn²⁺ menjadi Zn⁰, *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui ukuran partikel, *Scanning Electron Microscopy with X-ray microanalysis* (SEM-EDS) untuk mengetahui foto dan komposisi kimia, dan *X-ray powder diffraction* (XRD) dengan anoda Cu pada bilangan gelombang 1,54187 Å untuk mengetahui tingkat kristalinitas. Hasil analisis instrumen PSA menunjukkan ukuran partikel ZnO yang dihasilkan meningkat dari 607 hingga 649 nm seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak dari 5 hingga 20% (v/v). Pencitraan SEM menunjukkan bahwa partikel yang didapat memiliki bentuk spherical dan EDS mengkonfirmasi keberadaan unsur-unsur seng dan oksigen. Sedangkan XRD menunjukkan ZnO memiliki sistem kristal heksagonal dan ukuran kristal mengecil dari 31,4 nm menjadi 14,7 nm seiring meningkatnya suhu kalsinasi dari 400 sampai 600 °C.

Kata kunci: kalsinasi, kristalinitas, partikel, *Sargassum* sp., SEM-ESD

Green Synthesis Nanoparticle ZnO Sargassum sp. Extract and The Products Characteristic

Abstract

The synthesis of zinc oxide (ZnO) nanoparticles is an emerging research area due to its wide range of applications, such as electronics, pharmaceuticals, optics and food packaging. In this study, described the green synthesis of ZnO nanoparticles and their characteristics using *Sargassum* sp. extract and 0.1 M zinc nitrate as the precursors. The variations include *Sargassum* sp. extracts volume of 5, 10, and 20 mL and the calcination temperature of 400, 500, and 600 °C. The characterization had been done such as the role of *Sargassum* sp. extract as a reducing agent for Zn²⁺ → Zn⁰ confirmed by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) spectra due to 450-4000 cm⁻¹ wavelength, the size of particles using Particle Size Analyzer (PSA), image and chemical composition using Scanning Electron Microscopy with X-ray microanalysis (SEM-EDS) and crystallinity using ray powder diffraction (XRD) with Cu anode at 1.54187 Å. Analysis with PSA instrument showed that ZnO particle size increased from 607 up to 649 nm along with increasing of extract concentration from 5 up to 20% (v/v). SEM imaging showed the formation of ZnO to be predominantly spherical and EDS data confirmed the existence of zinc and oxygen in the particles obtained. XRD analysis revealed hexagonal crystal system of ZnO nanoparticles and decreased in crystallite size was observed from 31.4 to 14.7 nm with increased in calcination temperature from 400 to 600 °C.

Keywords: calcination, crystallinity, particles, *Sargassum* sp., SEM-ESD

PENDAHULUAN

Penelitian yang melibatkan riset dan pengembangan teknologi pada skala atom, molekul, makromolekul mulai bergeser ke era nanoteknologi. Akibat dari penelitian tersebut adalah manusia berpeluang memanipulasi suatu material hingga orde nanometer untuk menghasilkan sifat yang dikehendaki. Nanoteknologi tidak dapat dipisahkan dari nanopartikel (Marchiol *et al.* 2016). Nanoteknologi sudah memanfaatkan material logam untuk dijadikan nanopartikel, di antaranya adalah unsur Zn (zink) dalam bentuk oksidanya yaitu seng oksida (ZnO).

Material ZnO telah digunakan sebagai bahan baku sunscreen yang efektif dalam menyerap sinar UV dan diaplikasikan pada bidang elektronik seperti dalam UV laser, perangkat *light-emitting-diodes* (LED) hingga elektroda photovoltaic (Kołodziejczak-radzimska dan Jesionowski 2014). Riset terbaru menunjukkan ZnO memiliki kemampuan antimikroba yang dapat digunakan sebagai bahan kemasan pangan (Sundrarajan *et al.* 2015).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan cara fisika atau kimia. Metode kimia misalnya sol-gel, presipitasi dan mikroemulsi telah berhasil mensintesis nanopartikel ZnO dengan variasi bentuk dan ukuran partikel. Penggunaan metode tersebut memiliki kekurangan di antaranya waktu produksi yang lama, memerlukan energi yang besar serta penggunaan bahan kimia yang dapat merusak lingkungan (Ismail *et al.* 2005; Li *et al.* 2009; Ristic *et al.* 2005; Wang *et al.* 2002). Penelitian pada beberapa tahun terakhir mulai dilakukan dengan pendekatan secara biologi dalam mensintesis nanopartikel, salah satu cara yang telah dilakukan beberapa peneliti menggunakan ekstrak tanaman sebagai metode alternatif terbaik ramah lingkungan jika dibandingkan dengan metode lainnya (Rai *et al.* 2008; Siddiqui *et al.* 2015; Yuvakkumar *et al.* 2014).

Sintesis nanopartikel menggunakan rumput laut telah banyak dikembangkan saat ini. Berdasarkan hasil analisis terdapat lipid, mineral dan vitamin tertentu, polisakarida, protein dan polifen pada rumput laut.

Kandungan fitokimia termasuk hidroksil, karboksil, dan kelompok amino fungsional yang dapat berfungsi sebagai agen pereduksi logam yang efektif maupun agen pengikat (*capping*) untuk memberikan lapisan kuat pada nanopartikel logam (Azizi *et al.* 2013).

Sintesis yang dilakukan Azizi *et al.* (2014) menggunakan ekstrak *Sargassum muticum* mensintesis nanopartikel ZnO berbentuk spherical dengan ukuran partikel 30–57 nm. Nagarajan dan Kumaraguru (2013) melakukan penelitian sintesis ZnO dari rumput laut hijau *Caulerpa peltata*, rumput laut merah *Hypnea valencia*, dan rumput laut cokelat *Sargassum myriocystum*.

Penelitian terkait sintesis ramah lingkungan (*green synthesis*) ZnO menggunakan ekstrak rumput laut belum banyak dilaporkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan selama ini masih harus diteliti parameter fisika kimia yang digunakan untuk menentukan ekstrak jenis rumput laut yang dapat mensintesis ekstraselular dengan cepat dan kondisi yang sesuai untuk sintesis nanopartikel ZnO. Parameter tersebut seperti konsentrasi logam, konsentrasi ekstrak rumput laut, suhu, pH, dan waktu reaksi. Manfaat nanopartikel ZnO yang banyak dan bahan baku yang melimpah maka dilakukan penelitian dengan tujuan melakukan sintesis ramah lingkungan nanopartikel ZnO dari ekstrak *Sargassum* sp. dan karakteristik produknya.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu rumput laut cokelat *Sargassum* sp. dari perairan Binuangun, Banten Selatan. Bahan kimia yang digunakan adalah ZnO standar Sigma aldrich, $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (Merck), NaOH (Merck), HCl (Merck), KBr (Merck) dan etanol (Merck).

Alat yang digunakan adalah *coolbox* (Marina Cooler) kapasitas 500 liter, *hammer mill*, *hot plate* (Labinco LD-844), *freeze dryer* (Christ Beta 2-8 LD plus), pen type pH meter-009(I), *oven vacuum* (Shellab), dan furnace (Thermo Scientific F47920). Instrumenasi TGA (Q50 V20) untuk menentukan kisaran suhu kalsinasi, *Fourier transform infrared*

spectroscopy (FT-IR) (*Spectrophotometers Perkin Elmer*), *Particle Size Analyzer* (PSA) (Beckman Coulter) mengukur distribusi ukuran partikel, SEM/EDS (*Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive Spectroscopy*) (Jeol) untuk morfologi, dan *X-ray Diffraction* (XRD) (Shimadzu XRD-7000 Maxima) untuk kristalinitas.

Metode Penelitian

Rumput laut dicuci dengan air laut kemudian dibilas dengan air bersih dan dikemas dalam kantong plastik dan dimasukkan ke dalam *coolbox* yang diberi hancuran es. Rumput laut tersebut dibawa ke Pusat Penelitian dan Pengembangan Daya Saing Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jakarta. Rumput laut dicuci dengan air tawar dan dikeringanginkan selama satu minggu di laboratorium sampai kadar air mencapai kisaran 12-17% (bk). *Sargassum* sp. kering selanjutnya digiling hingga menjadi tepung rumput laut. *Sargassum* sp. dipreparasi menjadi tepung untuk memudahkan proses ekstraksi selanjutnya. Proses ekstraksi menggunakan media air deionisasi sebagai pelarut bertujuan untuk menarik senyawa polar yang terkandung dalam rumput laut.

Sintesis ZnO

Tahap sintesis yang dilakukan adalah sebagai berikut: tepung *Sargassum* sp. sebanyak 10 gram dimasukkan ke glass beaker berisi ultrapure (*type 1*) *water* dan dipanaskan dengan penangas suhu 100 °C selama 20 menit. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas whatman No. 41 dan ekstrak ditampung dalam wadah (Nagarajan dan Kumaraguru 2013). Ekstrak dikeringkan menggunakan alat *freeze dryer* untuk analisis gugus fungsi dan sebagian disimpan pada suhu 4 °C untuk dipreparasi lebih lanjut.

Larutan prekursor zink nitrat 0,1 M sebanyak 95, 90, dan 80 mL dimasukkan ke erlenmeyer. Larutan zink nitrat dipanaskan hingga suhu 80 °C, setelah mencapai suhu tersebut ditambahkan larutan ekstrak *Sargassum* sp. hingga volume menjadi 100 mL sehingga masing-masing ekstrak memiliki konsentrasi 5, 10, dan 20% (v/v). Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer selama

± 3 jam hingga terbentuk pasta. Pasta yang terbentuk diambil dan dikeringkan dengan *oven furnace* pada masing-masing variasi suhu kalsinasi yaitu 400, 500, dan 600 °C selama 2 jam (Azizi *et al.* 2014; Nagarajan dan Kumaraguru 2013). Variasi suhu kalsinasi dilakukan untuk mengamati pengaruhnya kristal ZnO yang akan terbentuk.

Analisis TGA (*Thermogravimetric Analysis*) dilakukan sebelum menentukan variasi suhu kalsinasi. Analisis TGA bertujuan untuk mengetahui perubahan kimia atau fisika sampel akibat perlakuan termal. Perubahan-perubahan yang terjadi antara lain yaitu proses kristalisasi, perubahan fase, adsorpsi, evaporasi, oksidasi, absorpsi, dan dekomposisi material. TGA digunakan untuk mengukur perubahan jumlah atau persentase massa dan mendeteksi adanya pelepasan (eksotermik) atau penyerapan (endotermik) energi panas (Khalil *et al.* 2014).

Ekstrak konsentrasi 5% (v/v) sebagian dikeringkan dengan *freeze dryer* untuk analisis TGA. Ekstrak yang sudah kering sebanyak 14,8350 mg ditempatkan dalam penampang platinum kemudian dimasukan ke TGA Q50 V20. Suhu TGA diatur hingga mencapai 900 °C dengan laju 20 °C/menit (ASTM E1131 2008). Kurva TGA digunakan sebagai dasar penentuan suhu variasi kalsinasi. Hasil dari pengujian TGA/DTA ini kemudian digunakan sebagai dasar penentuan variasi suhu kalsinasi yaitu 400, 500 dan 600 °C.

Karakteristik ZnO

Analisis gugus fungsi dengan FT-IR

Analisis gugus fungsi dilakukan dengan mengacu pada ASTM D-6348 (2010) dengan tahapan sebagai berikut: padatan ZnO dipreparasi dengan KBr sampai menjadi pelet kemudian dianalisa dengan FT-IR pada panjang gelombang 450-4000 cm^{-1} . Dari hasil analisa diamati puncak-puncak yang muncul dan gugus-gugus fungsi yang berperan sebagai agen pereduksi atau penstabil. Hasil analisa dibandingkan dengan standar.

Analisis distribusi ukuran partikel dengan instrumen PSA

Analisis distribusi ukuran partikel dilakukan dengan mengacu pada ASTM

D422-63 (2007) dengan tahapan sebagai berikut: ZnO hasil kalsinasi sebanyak 0,1 g dilarutkan dalam 5 mL etanol. Kemudian larutan disonikasi selama 15 menit. Analisis distribusi ukuran partikel dilakukan dengan memasukkan larutan ke kuvet *portable* dan ditempatkan dalam instrumen PSA.

Identifikasi morfologi permukaan dengan instrumen SEM EDS

Analisis identifikasi morfologi permukaan ZnO dilakukan dengan mengacu pada ASTM E1508 (2012) dengan tahapan sebagai berikut: padatan dipreparasi dengan cara melapisi sampel dengan logam emas agar profil permukaan dapat diamati secara jelas. Kemudian morfologi dari permukaan ZnO diamati dengan nilai perbesaran 3000x dan dianalisis persentase tiap-tiap unsur menggunakan EDS. Hasil analisis dibandingkan dengan standar.

Analisis fasa kristal dengan instrumen XRD

Analisis fasa kristal dilakukan dengan mengacu pada ASTM D3906-03 (2013) dengan tahapan sebagai berikut: beberapa miligram padatan ZnO dipreparasi pada tempat sampel kemudian seluruh permukaannya diratakan. Sampel akan diradiasi dengan anoda Cu dengan panjang gelombang 1,54187 Å. Difraktogram hasil uji XRD diolah menggunakan aplikasi Match 3.0 dengan Crystallography Open Database (COD) untuk mengkonfirmasi fase yang terbentuk adalah

ZnO dengan kristal heksagonal.

Jarak antar bidang dalam sampel dan kristalinitas suatu material dapat diketahui dengan instrumen XRD. Hal ini dapat diketahui dari persamaan Bragg yaitu nilai sudut difraksi θ yang berbanding terbalik dengan nilai jarak antar bidang dalam kristal (Vitalij dan Peter 2009). Penggunaan difraksi sinar-X dikemukakan oleh W. H. Bragg dan W. Lawrence Bragg dengan persamaan:

$$2.d.\sin \theta = n . \lambda$$

dengan: d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

λ = panjang gelombang sinar x

Interpretasi data difraksi sinar-X berupa FWHM dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal suatu sampel menggunakan persamaan Debye Scherrer:

$$S = k . \lambda / \beta . \cos \theta$$

dengan: S = ukuran kristal

k = konstanta 0,7 – 1,7 tergantung bentuk kristal dan indek miller

λ = panjang gelombang

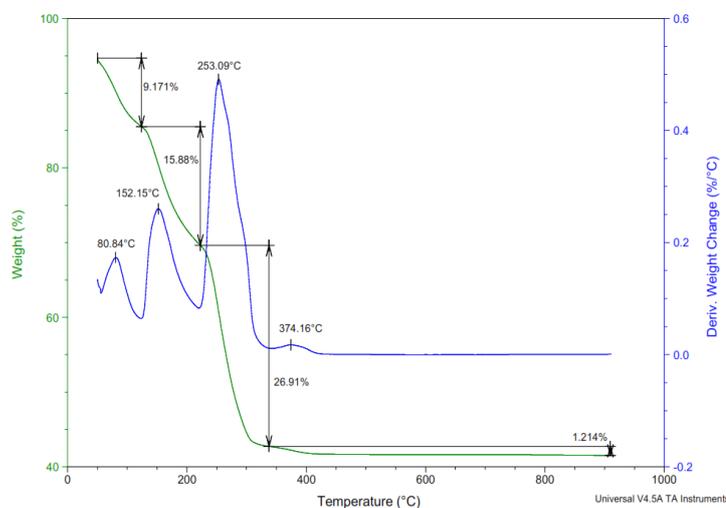
β = FWHM

θ = sudut difraksi sinar-X

Nilai FWHM yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk menghitung nilai pelebaran dengan mengubah nilai FWHM menjadi radian.

HASIL DAN PEMBAHASAN Dekomposisi Termal Ekstrak *Sargassum* sp.-ZnO

Hasil TGA/DTA sampel dengan konsentrasi filtrat 5% (v/v) disajikan pada



Gambar 1 Kurva hasil TGA/DTA

Gambar 1. Hasil tersebut menunjukkan ekstrak *Sargassum* sp.-ZnO telah kehilangan bobot sebesar 9,171% pada suhu sekitar 100 °C. Molekul air yang hilang di permukaan sampel terjadi dalam proses endotermik tahap pertama ini. Kemudian pada proses endotermik kedua besar persentase massa yang hilang berkisar 15,88% yang terjadi pada rentang suhu 100-210 °C. Massa yang berkurang pada proses kedua ini disebabkan oleh dekomposisi gugus hidroksi atau atom hidrogen yang terperangkap di sampel. Persentase massa sampel terus berkurang hingga mencapai kehilangan bobot maksimum sebesar 26,91% yang terjadi pada suhu 210-340 °C. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terjadi degradasi senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam ekstrak *Sargassum* sp. dan terbentuknya fase yang disebut pyrochlore. pengurangan massa sebesar 1,214% yang berkaitan dengan dekomposisi dari fase pyrochlore telah terjadi pada rentang suhu 340-400 °C (Darroudi *et al.* 2013; Khalil *et al.* 2014). Suhu sekitar 400 hingga 900 °C dapat diamati tidak ada kehilangan massa yang terjadi pada sampel *Sargassum* sp.-ZnO. Hal ini mengindikasikan awal terjadinya pembentukan nanokristalin ZnO pada kisaran suhu tersebut.

Karakteristik Nanopartikel ZnO Gugus fungsi ekstrak *Sargassum* sp. dan ZnO

Hasil analisis gugus fungsi ekstrak *Sargassum* sp., sebelum kalsinasi, dan sesudah kalsinasi 400 °C (sampel dengan konsentrasi ekstrak 5% (v/v)) menggunakan instrumen

FT-IR *Spectrophotometers*, spektrum FTIR ZnO standar dan sampel dengan konsentrasi ekstrak 5% (v/v) sesudah kalsinasi pada tiga variasi suhu dapat dilihat pada Gambar 2.

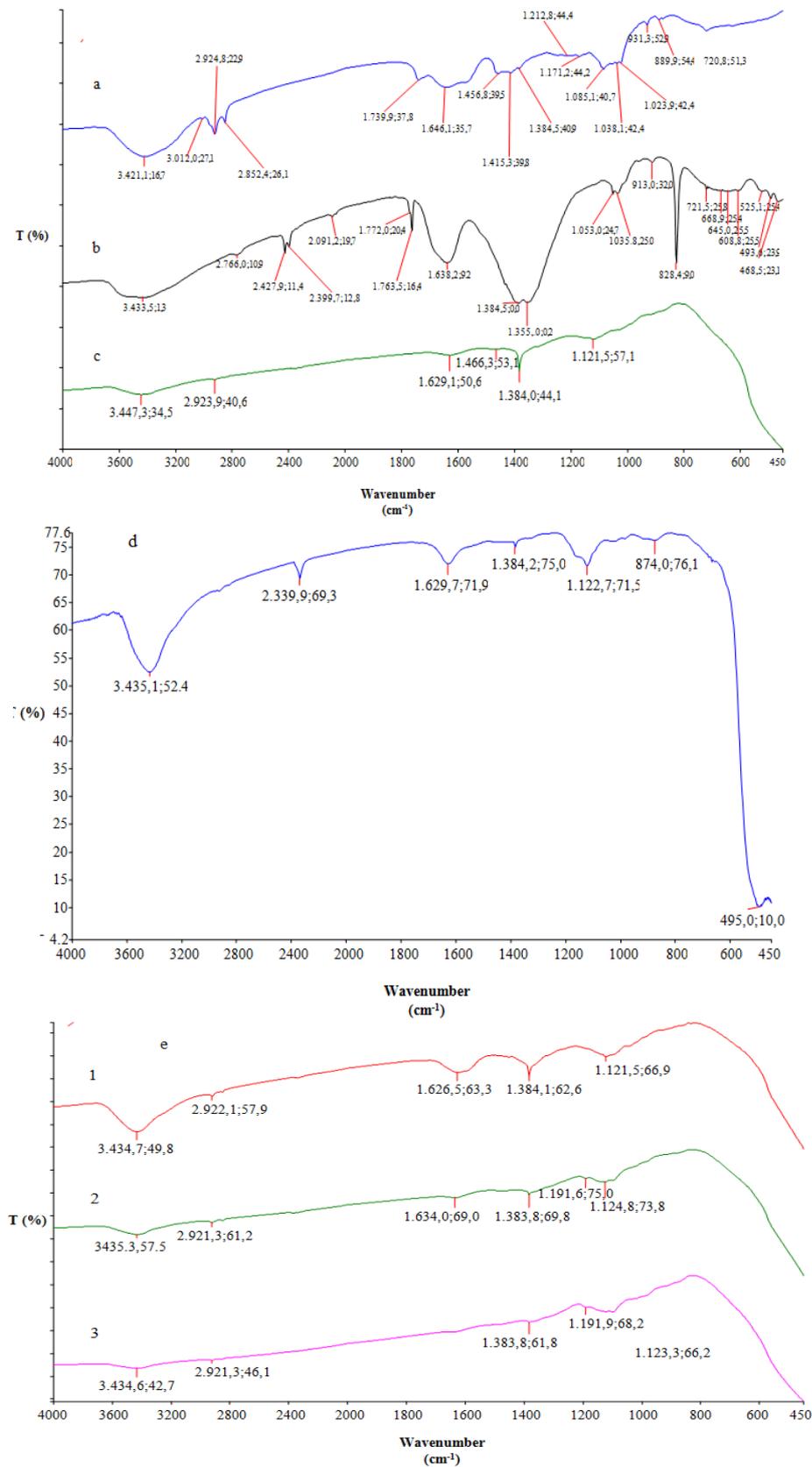
Spektra FTIR ekstrak *Sargassum* sp. muncul puncak-puncak karakteristik gugus fungsional tertentu. Intensitas pada pita panjang gelombang 3.421 cm^{-1} yang cukup melebar mengindikasikan *stretching* gugus fungsi O-H atau hidroksi, 2.924 cm^{-1} *stretching* gugus fungsi C-H, 1.739 dan 1.646 cm^{-1} menunjukkan *stretching* C=O atau karboksil dan COO- dengan ketajaman sedang serta pada 1.414 cm^{-1} gugus fungsi C-C dari cincin aromatik, hal ini sesuai dengan hasil penelitian Azizi *et al.* (2014) dan Nagarajan dan Kumaraguru (2013).

Absorbansi spektra ekstrak *Sargassum* sp. konsentrasi 5% (v/v) sebelum dan sesudah kalsinasi 400 °C disajikan secara lengkap pada Tabel 1. Hasil analisis FTIR terlihat tampak adanya perbedaan intensitas maupun lebar puncak pada daerah bilangan gelombang 3.400, 1.700, 1.600, 1.400 cm^{-1} setelah ekstrak berinteraksi dengan larutan prekursor $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Intensitas bilangan gelombang 3.400 cm^{-1} mengalami penurunan setelah proses reduksi kation Zn^{2+} , hal ini menunjukkan adanya keterlibatan gugus fungsi O-H dalam proses reduksi. Jafarirad *et al.* (2016) menyatakan bahwa oksidasi dari gugus fungsi hidroksi dapat membentuk lebih banyak karbonil atau karboksilat. Perubahan intensitas pada spektra 1.600 dan 1.700 cm^{-1} yang semakin tajam menguatkan asumsi keterlibatan gugus fungsi OH dalam proses reduksi senyawa prekursor. Intensitas pada

Tabel 1 Absorbansi spektra (cm^{-1}) ekstrak *Sargassum* sp. dan ekstrak *Sargassum* sp. konsentrasi 5% (v/v) sebelum dan sesudah kalsinasi 400°C

Ekstrak <i>Sargassum</i> sp.	Ekstrak <i>Sargassum</i> sp. konsentrasi 5% (v/v)*	Ekstrak <i>Sargassum</i> sp. konsentrasi 5% (v/v)**	Vibrasi gugus fungsi
3.421	3.433	3.447	O-H stretching
2.924	2.427	2.923	C-H stretching
1.739	1.763		C=O stretching
1.646	1.638	1.629	COO-
1.384	1.384	1.384	N-O stretching
1.250–900	1.250–900		C-O-C, C-O polisakarida

Keterangan: *sebelum kalsinasi; **setelah kalsinasi 400°C



Gambar 2 Spektra FT-IR ekstrak *Sargassum* sp. (a); sampel konsentrasi ekstrak *Sargassum* sp. 5% (v/v) sebelum kalsinasi (b) dan sesudah kalsinasi 400 °C (c); Spektra FTIR ZnO standar (d) dan sampel konsentrasi ekstrak 5% (v/v) (e): sesudah kalsinasi suhu 400 °C (1), 500 °C (2) dan 600 °C (3)

bilangan gelombang 1.384 cm^{-1} mengalami peningkatan pada saat sampel sebelum kalsinasi. Hal ini diduga karena banyak gugus fungsi N-O yang berasal dari prekursor ZnNO_3 .

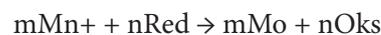
Interaksi yang terjadi antara ekstrak *Sargassum* sp. dan larutan prekursor dalam membentuk nanopartikel terdapat dari perubahan puncak spektra FTIR baik berupa pergeseran bilangan gelombang maupun penurunan atau kenaikan intensitas, hal tersebut dapat digunakan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi. Azizi *et al.* (2014), Nagarajan dan Kumaraguru (2013), Tiwari dan Declan (2015) menyatakan bahwa ekstrak rumput laut jenis *Sargassum* sp. mengandung senyawa alginat, asam askorbat, protein, polisakarida, flavonoid, dan fukoidan. Senyawa-senyawa tersebut diduga berperan sebagai agen pereduksi sehingga larutan prekursor dapat membentuk nanopartikel. Nagarajan dan Kumaraguru (2013) menunjukkan bahwa polisakarida jenis fukoidan berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel ZnO.

Nilai pH larutan selama reaksi berlangsung mengalami penurunan, pH yang terukur saat larutan prekursor dan ekstrak dicampurkan adalah 6,3 kemudian di akhir reaksi pH menurun menjadi 5,9. Penurunan pH selama proses reaksi berlangsung menunjukkan semakin banyak asam yang terbentuk karena proses reduksi larutan ZnNO_3 oleh ekstrak *Sargassum* sp. (Azizi *et al.* 2013).

Spektrum FTIR sampel setelah kalsinasi mengalami perubahan intensitas signifikan untuk semua bilangan gelombang. Ketajaman pada tiap-tiap puncak berkurang dan beberapa puncak telah hilang menunjukkan terjadinya dekomposisi senyawa organik akibat proses kalsinasi. Suhu kalsinasi semakin tinggi maka semakin banyak ikatan-ikatan yang putus sehingga mendegradasi senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam ZnO (Tiwari dan Declan 2015).

Berdasarkan data spektra FTIR menunjukkan senyawa-senyawa yang mengandung gugus fungsi hidroksi dan karboksil berperan dalam proses pembentukan nanopartikel. Ekstrak *Sargassum* sp.

mengandung banyak senyawa yang memiliki gugus fungsi tersebut misalnya alginat. Mekanisme pembentukan nanopartikel ZnO melibatkan proses kompleksasi antara Zn^{2+} dengan ekstrak *Sargassum* sp. Senyawa kompleks terbentuk melalui ikatan kovalen koordinasi antara ligan dengan logam. Ligan akan menyumbangkan pasangan elektron bebas ke ion logam yang menyediakan orbital kosong. Ion logam bertindak sebagai asam Lewis sedangkan ligan sebagai basa Lewis. Senyawa kompleks yang terbentuk memiliki efek kelat yang lebih stabil. Berdasarkan data hasil FTIR, ekstrak *Sargassum* sp. mengandung senyawa yang memiliki gugus fungsi hidroksi dan karbonil. Gugus fungsi ini berperan sebagai ligan yang mendonorkan pasangan elektron bebas ke orbital Zn^{2+} , kemudian Zn^{2+} dan gugus polar tersebut membentuk senyawa kompleks dalam template yang berukuran nano. Nanopartikel ZnO terbentuk setelah proses kalsinasi (Tiwari dan Declan 2015). Reaksi umum yang terjadi dalam reduksi nanopartikel logam adalah:



dengan “M” adalah logam, “Red” adalah reduktor, dan “Oks” adalah hasil oksidasi. Namun demikian, mekanisme terbentuknya nanopartikel logam menggunakan bahan alam belum dapat diketahui secara pasti. Terikatnya kation logam pada senyawa hasil ekstraksi melibatkan berbagai macam interaksi fisiko-kimia yang dapat berperan secara sendiri maupun secara bersama-sama. Proses-proses tersebut antara lain adalah terjadinya ikatan koordinasi/pengkelatan, *ion-exchange*, interaksi elektrostatik, interaksi asam-basa, ikatan hidrogen dan adsorpsi fisika (Visinescu *et al.* 2012).

Senyawa polisakarida dalam penelitian ini diduga terlibat dalam proses reduksi kation Zn^{2+} membentuk ZnO untuk kemudian membentuk ZnO saat proses kalsinasi. Alginat merupakan salah satu polisakarida yang dominan dalam ekstrak *Sargassum* sp. dan diduga berperan dalam proses sintesis. Visinescu *et al.* (2012) menyatakan bahwa sifat unik yang dimiliki oleh alginat adalah kemampuannya mengikat kation divalent

atau trivalen. Kemampuan ini sering disebut sebagai model “egg-box”. Kation terikat pada sisi negatif molekul alginat yaitu gugus karboksil berikatan elektrostatis dengan logam dan membentuk pola *cross-linking*. Alginat diketahui memiliki gugus karboksil dalam jumlah yang berlimpah sehingga dapat membentuk interaksi koordinasi dengan ion logam dan berperan sebagai tempat terjadinya nukleasi dalam pembentukan nanopartikel.

Morfologi dan unsur elemen

Pengamatan SEM telah dilakukan namun karena keterbatasan deteksi yang dimiliki oleh alat pencitraan, sampel ZnO hanya bisa dilakukan pada perbesaran sampai 3.000x untuk memunculkan gambar yang jelas. Berdasarkan Gambar 3 (a) morfologi nanopartikel ZnO dari berbagai konsentrasi ekstrak dengan suhu kalsinasi 400 °C berhasil diamati. Distribusi partikel pada ZnO dari ekstrak *Sargassum* sp. 5% (v/v) terlihat tidak seragam. ZnO yang dihasilkan dari ekstrak 10 dan 20% (v/v) juga memiliki bentuk yang tidak seragam. Keseluruhan sampel tersebut dapat dikatakan telah mengalami aglomerasi antar partikel sehingga bentuknya tidak seragam dan terdapat kecenderungan semakin tinggi konsentrasi ekstrak maka semakin besar ukuran partikel yang dihasilkan. Hasil analisis ini juga didukung dengan distribusi ukuran partikel ZnO.

Gambar 3 (b) menunjukkan citra dari morfologi sampel ZnO hasil dari berbagai variasi suhu kalsinasi dengan konsentrasi

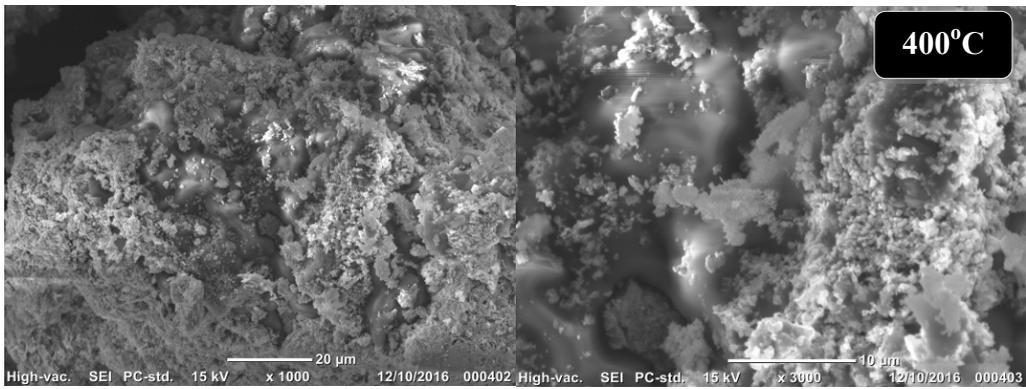
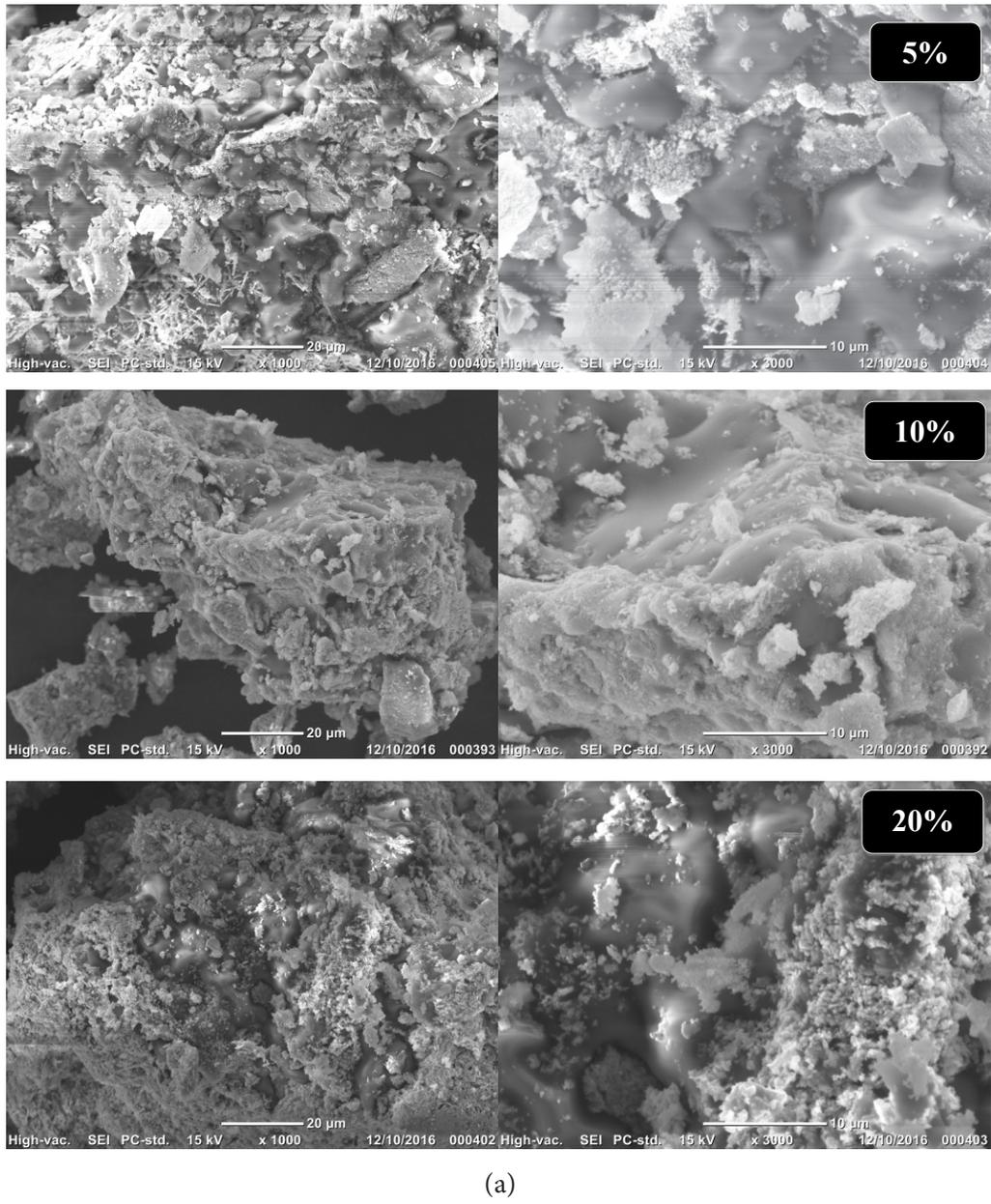
ekstrak 20% (v/v). Hasil pencitraan SEM menggambarkan secara umum ZnO yang diperoleh memiliki bentuk spherical namun celah antar partikel tidak dapat terlihat jelas. Hal ini diduga disebabkan adanya aglomerasi di antara partikel-partikel ZnO (Gunalan *et al.* 2011).

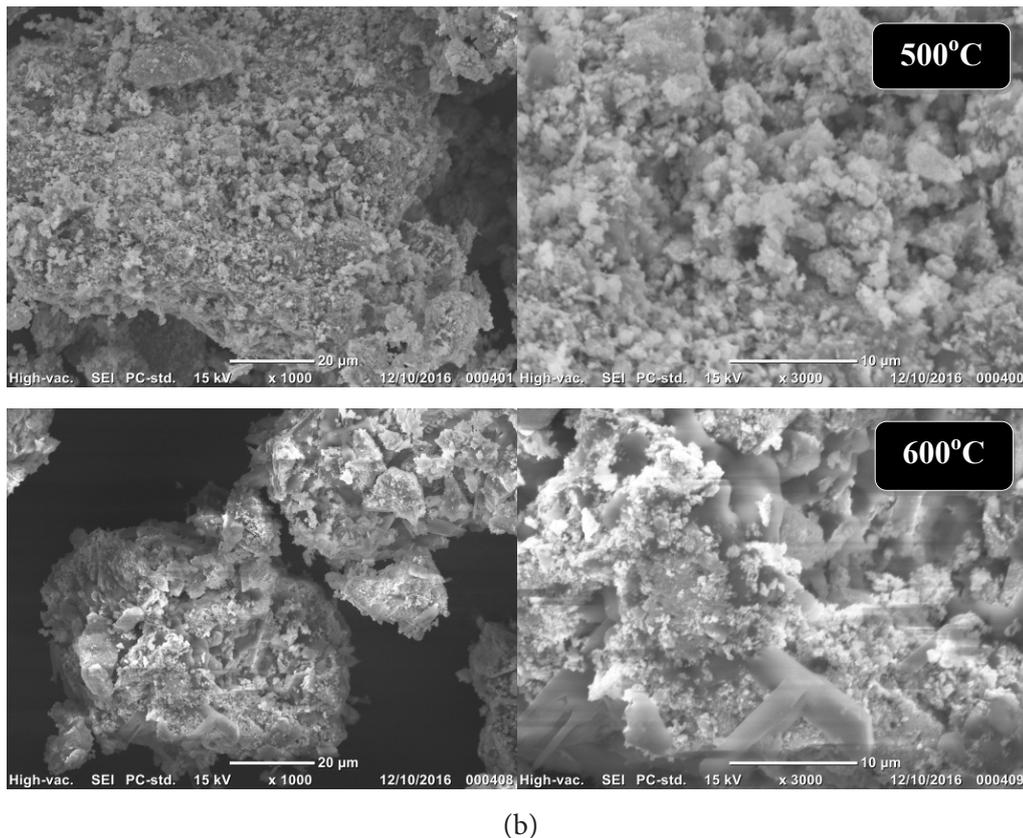
Aglomerasi antar partikel ZnO dan partikel yang tidak seragam terjadi karena pengaruh polaritas, daya elektrostatis ZnO serta energi yang besar di permukaan sampel yang biasa terjadi ketika proses sintesis berlangsung (Elumalai dan Velmurugan 2015; Azizi *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2002). Aglomerasi terjadi diduga karena masih banyak senyawa-senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak *Sargassum* sp. yang ikut berperan sebagai pemerangkap atau template untuk prekursor ZnNO₃. Foliatini *et al.* (2015) menyatakan bahwa ukuran ZnO yang dihasilkan sangat bergantung pada ukuran template yang mengelilingi permukaan nanopartikel. Aglomerasi yang terjadi ini juga didukung oleh data dari instrumen PSA.

Analisis persentase elemen yang ada dalam sampel dilakukan menggunakan instrumen EDS setelah analisa morfologi dilakukan. Persentase elemen tiap-tiap sampel yang tidak seragam dapat diamati pada Tabel 2. Hasil analisis EDS sampel yang memiliki nilai persen massa dan persen atom Zn dan O yang paling mendekati standar ZnO adalah sampel ekstrak konsentrasi 5% (v/v) dan dikalsinasi pada suhu 400 °C. Nanopartikel ZnO tersebut dapat dikatakan sudah mulai

Tabel 2 Hasil analisis EDS standar dan sampel

Nama Sampel	%Massa	%Atom	Elemen					
			Kalsinasi 400°C		Kalsinasi 500°C		Kalsinasi 600°C	
			%Massa	%Atom	%Massa	%Atom	%Massa	%Atom
ZnO standar	Zn 91,09 O 8,91	Zn 71,46 O 28,54						
Ekstrak 5%			Zn 89,19 O 10,74	Zn 66,82 O 32,87	Zn 84,74 O 11,07	Zn 56,66 O 30,26	Zn 61,07 O 32,52	Zn 27,27 O 59,33
Ekstrak 10%			Zn 78,04 O 16,27	Zn 46,26 O 40,66	Zn 39,92 O 43,94	Zn 13,59 O 61,12	Zn 39,05 O 60,95	Zn 13,56 O 86,44
Ekstrak 20%			Zn 96,18 O 3,82	Zn 86,03 O 13,97	Zn 50,82 O 43,21	Zn 19,91 O 69,17	Zn 98,29 O 1,71	Zn 93,35 O 6,65





Gambar 3 Pencitraan SEM nanopartikel ZnO (a) konsentrasi ekstrak 20, 30, 40% (v/v) dan sudah dikalsinasi pada suhu 400°C, (b) ekstrak 20% (v/v) dan sudah dikalsinasi pada suhu 400, 500, dan 600°C

terbentuk pada suhu kalsinasi 400 °C. Hal ini sesuai dengan penelitian Jafarirad *et al.* (2016) dan Elumalai dan Velmurugan (2015) yang telah berhasil mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak tanaman dengan suhu kalsinasi 400 °C.

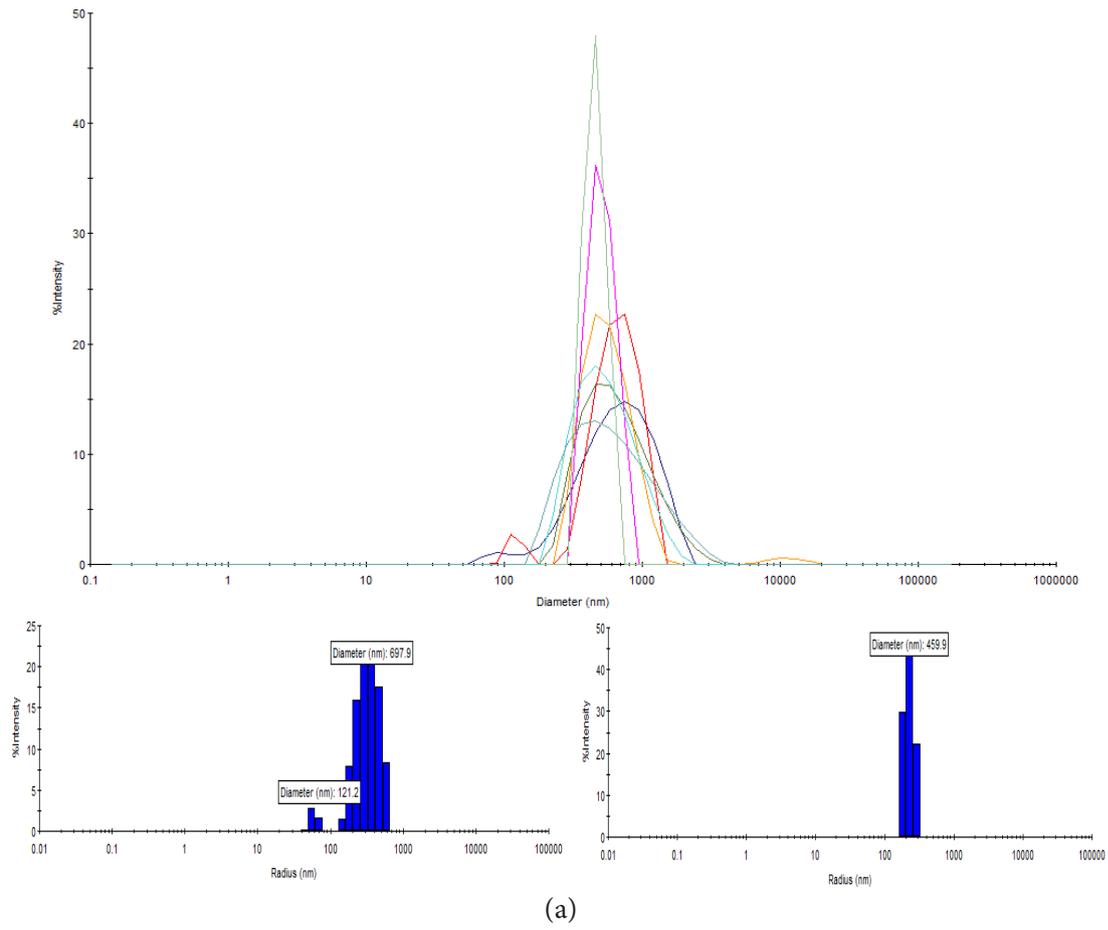
Distribusi ukuran partikel

Distribusi ukuran partikel sampel ZnO dari konsentrasi ekstrak 5, 10, dan 20% (v/v) dapat dilihat pada Gambar 4 (a)-(c). Gambar 4 (a) menunjukkan ukuran nanopartikel ZnO yang disintesis memiliki diameter yang cenderung bervariasi. Distribusi ukuran partikel antara 102–773 nm dengan rata-rata diameter partikel sebesar 607 nm. Jika dilakukan pengamatan untuk tiap pengukuran, partikel dengan diameter 121,2 nm muncul pada peak 1 dengan intensitas sebesar 4,5% dan peak 2 dengan diameter 697,9 nm dan intensitas 95,5%. Hasil pengukuran lain memunculkan intensitas sebesar 100%

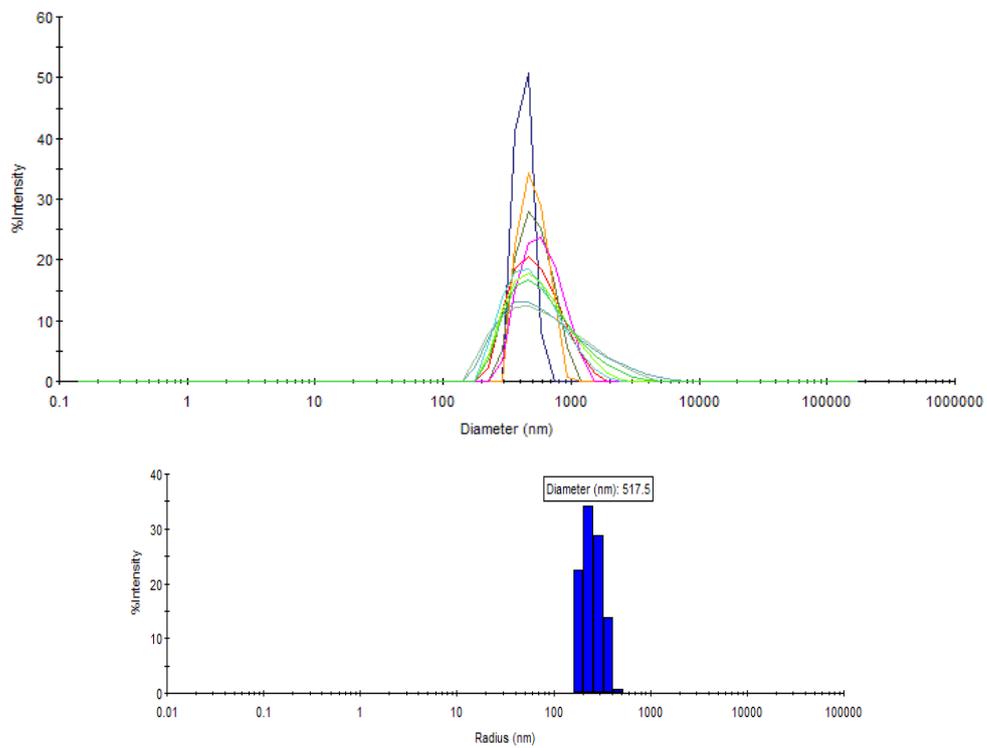
untuk diameter sebesar 459 nm. Distribusi ukuran partikel yang tidak seragam sesuai dengan citra SEM yang menunjukkan ZnO beraglomerasi membentuk partikel-partikel yang tidak seragam.

Distribusi ukuran partikel ZnO yang dihasilkan dari ekstrak *Sargassum* sp. 10% (v/v) ditunjukkan pada Gambar 5 (b). Distribusi ukuran partikel yang dihasilkan berkisar antara 431–707 nm dengan rata-rata ukuran partikel sebesar 636 nm. Ukuran partikel cenderung seragam dengan hanya memunculkan peak 2 yang memiliki diameter 517,5 nm dengan intensitas 100%.

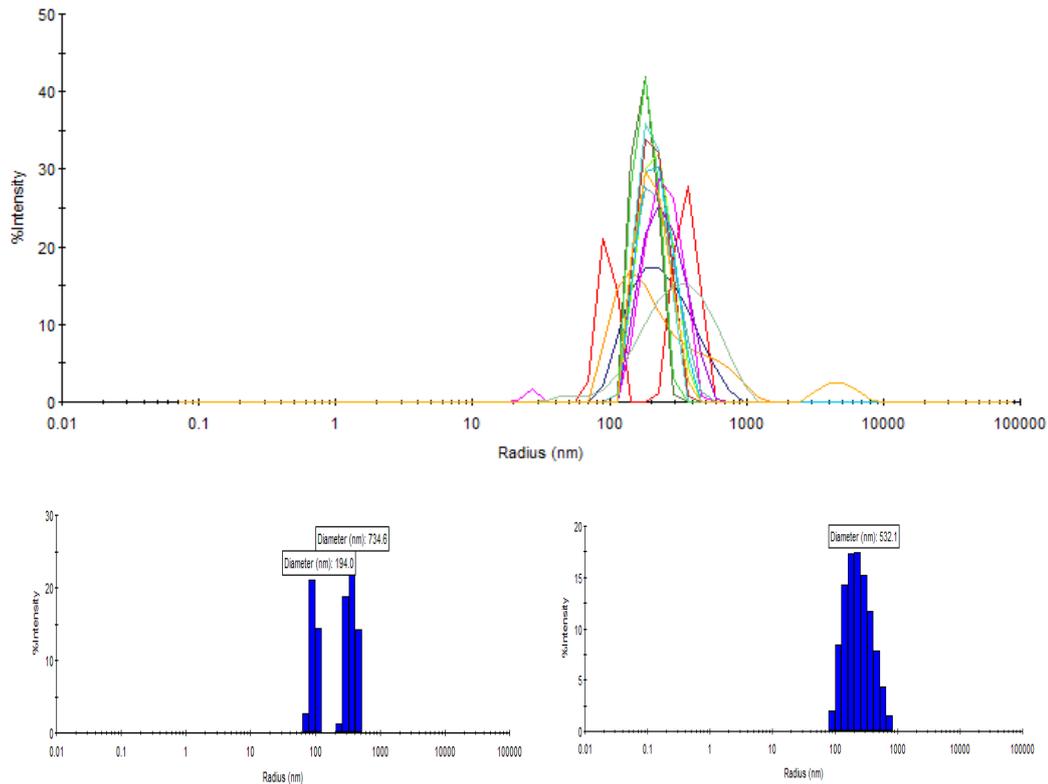
Nanopartikel ZnO yang dihasilkan dari ekstrak *Sargassum* sp. 20% (v/v) ditunjukkan pada Gambar 5 (c). Distribusi ukuran partikel yang dihasilkan cenderung tidak seragam dikarenakan munculnya peak 2 dan peak 3. Rentang diameter partikel berkisar 53,75–734,65 nm dengan rata-rata ukuran partikel 649 nm. Pembacaan satu muncul Peak 2 dan



(a)



(b)



Gambar 4 Distribusi ukuran partikel ZnO dengan konsentrasi ekstrak (a) 5% (v/v), (b) 10% (v/v), (c) 20% (v/v). Pengukuran dilakukan 10x ulangan.

peak 3 dengan diameter 194 nm dan intensitas 38% serta 734 nm dengan intensitas 62% muncul berturut-turut pada pembacaan satu. Pembacaan kedua muncul diameter partikel sebesar 532,1 nm dengan intensitas 100%.

Proses sintesis nanopartikel menggunakan ekstrak bahan alam sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak yang digunakan. Hasil penelitian ini secara umum menunjukkan distribusi ukuran partikel nanopartikel ZnO yang dihasilkan beragam. Vasquez *et al.* (2016) menyatakan bahwa partikel yang memiliki diameter <1.000 nm dapat diterima sebagai zat pembawa berukuran nano yang dapat digunakan oleh industri farmasi. Hasil analisa instrumen PSA ZnO yang telah disintesis dengan konsentrasi ekstrak yang bervariasi, terdapat kecenderungan bahwa semakin besar konsentrasi ekstrak yang digunakan maka semakin besar rata-rata ukuran nanopartikel yang dihasilkan. Kecenderungan ini dikarenakan semakin banyak konsentrasi ekstrak, maka semakin banyak gugus fungsi yang tersedia untuk

mereduksi ion logam. Hal ini berakibat pada banyaknya jumlah partikel yang terbentuk sehingga jarak antar partikel semakin kecil, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antar partikel membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar. Gunalan *et al.* (2011) mengamati pengaruh konsentrasi ekstrak *Aloe barbadensis* miller terhadap nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Penelitiannya menyatakan bahwa ukuran partikel meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak *Aloe barbadensis* miller. Hal ini juga didukung oleh penelitian Nagarajan dan Kumaraguru (2013) yang menyatakan bahwa ketika konsentrasi ekstrak diperbanyak maka larutan mulai membentuk agregasi sehingga diameter partikel semakin besar.

Zat pereduksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstrak *Sargassum* sp. yang berperan sebagai pemerangkap prekursor seng nitrat. Setelah kation Zn^{2+} tereduksi menjadi logam yang bermuatan nol maka senyawa ekstrak *Sargassum* sp. berada di sekeliling permukaan nanopartikel yang terbentuk.

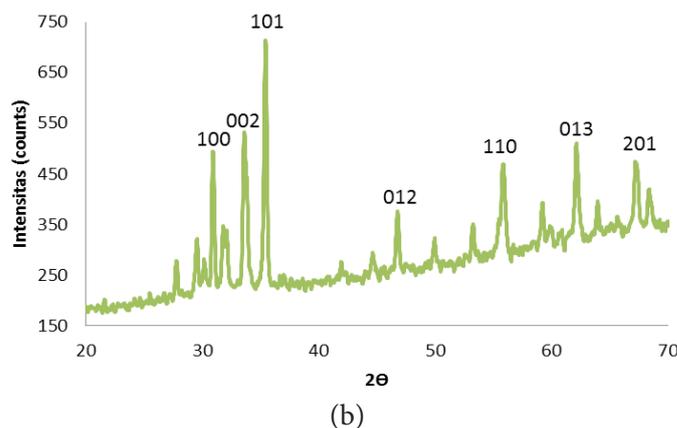
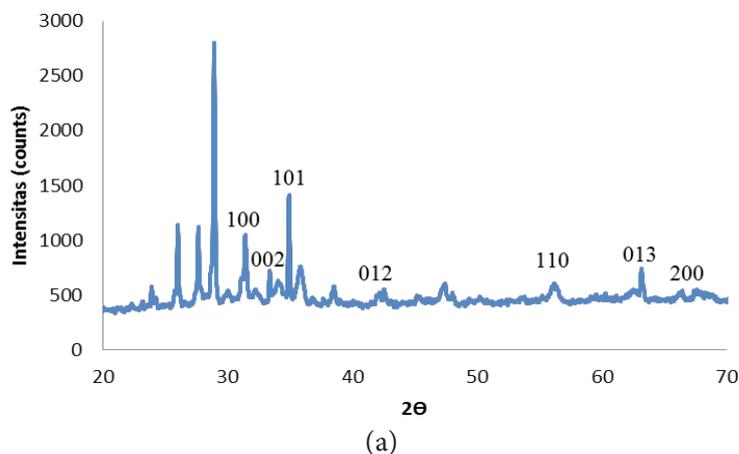
Ketika logam seng masih bermuatan positif atau belum tereduksi, ukuran partikelnya berada dalam skala angstrom dan senyawa ekstrak *Sargassum* sp. sebagai zat pemerangkap ukurannya lebih dominan dibandingkan kation tersebut sehingga ukuran partikel yang dihasilkan mengikuti ukuran senyawa ekstrak rumput laut. Reaksi reduksi terjadi semakin banyak seiring dengan berjalannya waktu reaksi, sehingga antar partikel mengalami penggabungan dan menghasilkan ukuran partikel yang semakin besar. Kecenderungan partikel untuk beragregasi disebabkan oleh efek gerak *brown* atau gerakan terus menerus partikel yang terjadi dalam larutan. Kecenderungan ini menyebabkan diameter partikel tidak seragam. Agregasi nanopartikel terjadi melalui dua tahapan. Tahap pertama, partikel saling mendekat dan saling bertumbuk satu sama lain dan tahap kedua partikel yang bertumbuk saling melekat satu sama lain (Masakke *et al.* 2015).

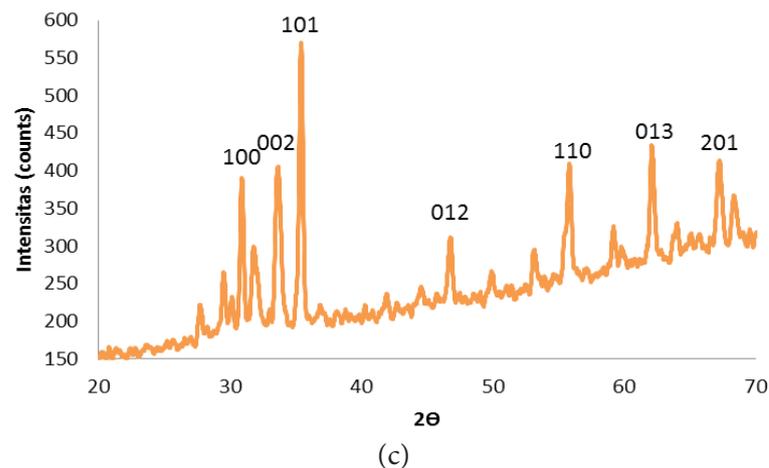
Jenis dan ukuran kristal

Hasil analisa jenis dan ukuran kristal dapat dilihat pada Gambar 5 (a)-(c). Nilai

FWHM yang diperoleh di sudut 35° pada indeks miller 101 sebesar 0,16; 0,36; dan $0,48^\circ$ untuk suhu kalsinasi 400, 500 dan 600°C . peningkatan suhu mengakibatkan energi pada material tersebut sehingga material dapat menyusun arahnya sendiri dan membentuk bidang yang sama. Ukuran kristal dari nanopartikel ZnO dikalkulasi menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* dan diperoleh ukuran kristal untuk suhu kalsinasi 400, 500 dan 600°C berturut-turut sebesar 52,15; 23,1 dan 17,3 nm. Hasil perhitungan menunjukkan semakin besar suhu kalsinasi maka ukuran kristal semakin kecil. Hasil analisis ini juga didukung dengan penelitian Mornani *et al.* (2016) yang menghasilkan ZnO nanopartikel dengan ukuran semakin mengecil yaitu dari 66 ke 46 nm dengan suhu kalsinasi dari 400 ke 650°C . Ashraf *et al.* (2015) menyatakan pada suhu kalsinasi yang semakin tinggi mengindikasikan telah terjadi proses restrukturisasi kristal.

Gambar 5 (a) menunjukkan beberapa puncak yang dapat dikenali sebagai fase ZnO heksagonal. Puncak-puncak XRD yang dihasilkan berada di sekitar sudut 2θ





Gambar 5 Pola difraksi XRD ZnO pada variasi suhu kalsinasi (a) 400°C, (b) 500°C, (c) 600°C.

= 31,43°; 34,93°; 35,89°; 47,7°; 54,77°; 63,19°; dan 68,5° yang merupakan pola difraksi oleh bidang (100), (002), (101), (012), (110), (013), (200) dan sesuai dengan referensi COD 1011258. Selain fase milik ZnO fase lain juga ditemukan dengan intensitas tinggi pada sudut 2θ 29,15° yang merupakan fase dari tetrazinc divandate (O9V2Zn4) dengan referensi COD 2002364. Nilai FWHM yang diperoleh untuk sudut 29,15o adalah 0,17 sehingga ukuran kristalnya sebesar 49,23 nm. Kristal ZnO dapat diamati sudah mulai terbentuk pada suhu 400 °C namun intensitasnya lebih rendah dibandingkan fase tetrazinc divandate.

Gambar 5 (b) menunjukkan beberapa puncak yang dapat dikenali sebagai fase ZnO heksagonal. Puncak tersebut berada pada sudut 2θ = 30,92°, 33,59°, 35,43°, 46,75°, 54,81°, 62,13°, 66,8° yang memiliki indeks miller (100), (002), (101), (012), (110), (013), (200) berturut-turut. Keberadaan puncak difraksi tersebut didasarkan pada COD 1011259. Jika dibandingkan dengan pola difraksi XRD pada suhu 400 °C yang memiliki dua fase dominan, kalsinasi pada suhu 500 dan 600 °C menghasilkan satu fase yakni fase ZnO. Suhu kalsinasi yang meningkat berdampak pada hilangnya fase *tetrazinc divandate* sehingga didapat fase ZnO yang dominan. Pola difraksi XRD sampel yang dikalsinasi pada suhu 500 dan 600 °C menunjukkan kemiripan namun intensitas dari masing-masing puncak memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan intensitas puncak XRD mempengaruhi nilai

FWHM dan ukuran kristal.

Ketiga pola difraksi XRD menunjukkan perbedaan dalam hal ketajaman puncak khas dari ZnO yakni pada sudut 35° dengan indeks miller 101. Sampel yang dikalsinasi pada suhu 400 °C terdapat puncak tertinggi pada sudut 28°, namun puncak tersebut bukanlah puncak dari ZnO. Keberadaan puncak ini menunjukkan bahwa sampel masih mengandung zat selain ZnO. Senyawa organik maupun anorganik yang berasal dari larutan ekstrak *Sargassum* sp. diduga masih belum terdekomposisi sempurna pada suhu 400 °C. Kannan (2014) telah mengidentifikasi berbagai senyawa logam yang terkandung dalam rumput laut *cokelat* jenis *Sargassum wightii* menggunakan EDS yaitu unsur S, Cl, Fe, Zn, Si, Ca, dan Na dengan konsentrasi berturut-turut 21,9; 19,29; 15,75; 12,37; 10,66; 3,72; dan 3,11%.

Semua sampel ZnO hasil sintesis diduga masih mengandung unsur-unsur logam. Aplikasi Match 3 mengidentifikasi pola difraksi XRD dan mencocokkannya dengan berbagai macam kandidat senyawa di antaranya mineral calcite dari unsur Ca (COD 9007286), nitratine (COD 9007562) dengan formula N Na O3 dan franklinite dari unsur besi (COD 2009103). Unsur-unsur logam tersebut berasal dari larutan ekstrak *Sargassum* sp. karena rumput laut merupakan tanaman yang memiliki kemampuan untuk mengikat logam-logam yang berada di lautan. Selain unsur logam, senyawa-senyawa organik

diduga masih tersisa dalam sampel ZnO hasil sintesis.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, perlakuan sintesis ramah lingkungan nanopartikel ZnO dari ekstrak *Sargassum* sp. adalah menggunakan ekstrak konsentrasi 5% (v/v) dan dikalsinasi pada suhu 400 °C dengan rata-rata ukuran partikel ZnO 607 nm dan %massa mendekati ZnO standar yaitu unsur Zn 89,19% dan O 10,74%.

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel ZnO dari ekstrak rumput laut *cokelat Sargassum* sp. telah berhasil dilakukan. Gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi kation Zn^{2+} membentuk nanopartikel ZnO adalah hidroksi dan karboksil. Perlakuan terbaik pada penelitian ini adalah konsentrasi ekstrak *Sargassum* sp. 5% (v/v) dan suhu kalsinasi 400 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf R, Saira R, Zohra NK, Shahzad N. 2015. Effect of Calcination on properties of ZnO nanoparticles. *Materials Today: Proceedings* 2(10) Part B: 5097-5814.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2007. ASTM D422-63(2007)e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. <https://www.astm.org/Standards/D422.htm>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2008. E1131 - 08, Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. <https://www.astm.org/Standards/E1131.htm>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2010. ASTM D6348-03(2010), Standard Test Method for Determination of Gaseous Compounds by Extractive Direct Interface Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. <https://www.astm.org/Standards/D6348.htm>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2012. ASTM E1508 - 12a, Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. <https://www.astm.org/Standards/E1508.htm>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 2013. ASTM D3906 - 03(2013), Standard Test Method for Determination of Relative X-ray Diffraction Intensities of Faujasite-Type Zeolite-Containing Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. <https://www.astm.org/Standards/D3906.htm>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- Azizi S, Farideh N, Mahnaz M, Mansor BA, Rosfarizan M. 2013. Biosynthesis of Silver nanoparticles using brown marine macroalga, *Sargassum muticum* aqueous extract. *Materials Letters*. 5942-2950.
- Azizi S, Mansor BA, Farideh N, Rosfarizan M. 2014. Green biosynthesis and characterization of zink oxide nanoparticles using brown marine macroalga *Sargassum muticum* aqueous extract. *Materials Letters*. 116: 275-277.
- Darroudi M, Zahra S, Reza KO, Ali KZ, Hadi K, Mohamad HNAH. 2013. Sol - Gel Synthesis, characterization, and neurotoxicity effect of zink oxide nanoparticles using gum tragacanth. *Ceramics International*. 39(8): 9195-9199.
- Elumalai K, Velmurugan S. 2015. Applied surface science *green synthesis*, characterization and antimicrobial activities of zink oxide nanoparticles from the leaf extract of *Azadirachta indica* (L.). *Applied Surface Science*. 345: 329-336.
- Foliatini F, Yulizar Y, Hafizah MAE A. 2015. The Synthesis of alginate-capped silver nanoparticles under microwave irradiation. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*. 47(1): 31-50.
- Gunalan S, Sivaraj R, Rajendran V. 2011. *Green synthesis* of zinc oxide nanoparticles by *Aloe barbadensis* miller leaf extract:

- structure and optical properties. *Materials Research Bulletin*. 46 (12): 2560–2566.
- Ismail AA, El-Midany A, Abdel-Aal EA, El-Shall H. 2005. Application of statistical design to optimize the preparation of ZnO nanoparticles via hydrothermal technique. *Materials Letters*. 59: 1924–1928.
- Jafarirad S, Mehrabi M, Divband B, Kosari-Nasab M. 2016. Biofabrication of zinc oxide nanoparticles using fruit extract of rosa canina and their toxic potential against bacteria: a mechanistic approach. *Materials Science and Engineering*. 59: 296–302.
- Kannan S. 2014. FTIR and EDS Analysis of the seaweeds *Sargassum wightii* (brown algae) and *Gracilaria corticata* (red algae). *International Journal of Current microbiology and Applied Sciences*. 3(4): 341-351.
- Khalil, Mutasim I, Maha M, Aisha M, Joselito PL. 2014. Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles by Thermal Decomposition of a Curcumin Zinc Complex. *Arabian Journal of Chemistry*. 7(6): 1178–1184.
- Li X, Gaohong H, Gongkui X, Hongjing L, Mei W. 2009. Synthesis and morphology control of ZnO nanostructures in microemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*. 333 (2): 465–473.
- Marchiol L. 2016. Synthesis of metal nanoparticles in living plants. *Italian Journal of Agronomy*. 7: 37.
- Masakke Y, Sulfikar, Muhaedah R. 2015. Biosynthesis of Silver nanoparticles using methanol extract of mangosteen leaves (*Garcinia mangostana* L.). *Jurnal Sainsmat*. 4(1): 28–41.
- Mornani EG, Mosayebian P, Dorranean D, Behzad K. 2016. Effect of calcination temperature on the size and optical properties of synthesized zno nanoparticles. *Journal of Ovonic Research*. 12(2): 75-80.
- Nagarajan S, Kumaraguru AK. 2013. Extracellular synthesis of Zinc Oxide nanoparticle Using seaweeds of gulf of Mannar, India. *Journal of Nanobiotechnology*. 11: 39.
- Rai, Mahendra, Alka Y, Aniket G. 2008. Current trends in phytosynthesis of metal nanoparticles. *Review in Biotechnology*. 28: 277–284.
- Ristic M, Music S, Ivanda M, Popovic S. 2005. Sol-gel synthesis and characterization of nanocrystalline ZnO powders 39. *Journal of Alloys and Compounds*. 1–4.
- Siddiqui, Manzer H, Mohamed HAW, Firoz M. 2015. Nanotechnology and plant sciences: nanoparticles and their impact on plants. *Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and Their Impact on Plants*. 1–303.
- Sundrarajan M, Ambika S, Bharathi K. 2015. Plant-Extract mediated synthesis of ZnO Nanoparticles using pongamia pinnata and their activity against pathogenic bacteria. *Advanced Powder Technology*. 26(5): 1294–1299.
- Tiwari BK, Declan JT. 2015. Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications Chapter 11: 288-313. Elsevier Inc.
- Vasquez RD, Jovencio GA, Joshua DL, Jonathan DM, Chriselle MCM, Samuel SP, Alyssa GMR, Emmanuel TZ. 2016. Polysaccharide-mediated green synthesis of silver nanoparticles from *Sargassum siliquosum*: Assessment of toxicity activity. *Open Nano*. 1: 16-24.
- Vinescu D, Greta P, Alina T, Oana C. 2012. Polysaccharides route: a new green strategy for metal oxides synthesis. *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. 1(5): 119-169.
- Vitalij KP, Peter YZ. 2009. Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials, 2nd Edition. New York (US): Springer Science Business Media. 731p.
- Wang Y, Chun-lai M, Xiao-dan S, Heng-de L. 2002. Preparation of nanocrystalline metal oxide powders with the surfactant-mediated method. *Inorganic Chemistry Communication*. 5: 751–755.
- Yuvakkumar R, Suresh J, Joseph AN, Sundrarajan M, Hong SI. 2014. Novel green synthetic strategy to prepare ZnO nanocrystals using rambutan (*Nephelium lappaceum*) peel extract and

its antibacterial applications. *Materials Science and Engineering*. 41: 17–27.

Zhang J, Sun L, Yin J, Su H, Ch Liao, Yan Ch. 2002. Control of ZnO morphology via a simple solution route. *Chemistry of Materials*. 14: 4172–7

.