

Biosintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Ekstrak Rumput Laut *Caulerpa taxifolia*

Biosynthesis and Characterization of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles with Extract of Seaweed Caulerpa taxifolia

Yola Wulandari^{1*}, Rodiah Nurbaya Sari², Nurlaila Ervina Herliany¹, dan Maya Angraini Fajar Utami¹

¹Universitas Bengkulu, Kandang Limun, Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu, 38371, Indonesia

²Pusat Riset Bioindustri Laut dan Darat, Badan Riset dan Inovasi Nasional, KST BJ Habibie, Serpong, 15314, Indonesia

*Korespondensi penulis : yolawulanday@gmail.com

Diterima: 27 Maret 2023; Direvisi: 25 Mei 2023 ; Disetujui: 28 Juni 2023

ABSTRAK

Penelitian mengenai *nanotechnology* telah banyak dilakukan dalam merekayasa sifat-sifat material. Unsur Zink atau Seng (Zn) menjadi salah satu material yang dijadikan nanopartikel. Sintesis nanopartikel di antaranya dapat dilakukan dengan metode biosintesis, yaitu memanfaatkan tumbuhan (di antaranya adalah rumput laut hijau) dalam proses sintesis nanopartikel. Rumput laut hijau jenis *Caulerpa taxifolia* mudah ditemukan dan sangat melimpah di Pantai Teluk Sepang, Kota Bengkulu, namun selama ini penggunaannya belum dimanfaatkan secara optimal. Tujuan penelitian ini adalah melakukan proses ekstrak *C. taxifolia* untuk menghasilkan nanopartikel ZnO dan menjelaskan karakterisasinya. Nanopartikel ZnO *C. taxifolia* yang dihasilkan berupa bubuk ZnO berwarna putih susu (*milky white*). Analisis gugus fungsi ZnO *C. taxifolia* menunjukkan bahwa pita serapan yang muncul telah berada dalam rentang nilai spektral ZnO hasil penelitian sebelumnya. Hasil pencitraan SEM menggambarkan morfologi nanopartikel ZnO *C. taxifolia* yang terlihat tidak seragam dan umumnya berbentuk nanorod. Ukuran partikel ZnO sintesis ekstrak *C. taxifolia* cenderung bervariasi yaitu berkisar antara 1,28-1764,23 nm. Kurva menunjukkan distribusi ukuran partikel ZnO *C. taxifolia* dengan rata-rata diameter 254,95 nm membuktikan ekstrak rumput laut *C. taxifolia* berhasil berperan sebagai agen penstabil, *capping agent*, dan agen pereduksi.

Kata Kunci : biosintesis, *Caulerpa taxifolia*, nanopartikel, zink oksida (ZnO)

ABSTRACT

Research on *nanotechnology* has been widely carried out in engineering the properties of materials. The element zinc (Zn) is one of the materials used as nanoparticles. The synthesis of nanoparticles can be carried out using the biosynthetic method, which utilizes plants (among them green seaweed) in the process of synthesizing nanoparticles. Green seaweed of the *Caulerpa taxifolia* type is easy to find and very abundant on Sepang Bay Beach, Bengkulu City, but its use has not been used optimally. The purpose of this study was to process *C. taxifolia* extract to produce ZnO nanoparticles and explain their characterization. Nanoparticles of ZnO *C. taxifolia* are produced as a milky white substance. The analysis of the functional groups of ZnO in *C. taxifolia* shows that the observed absorption band is in close proximity to the ZnO absorption band resulting from research before. The results of SEM imaging show that the morphology of *C. taxifolia* ZnO nanoparticles is non-uniform and dominated by nanorods. The particle size of ZnO synthesized from *C. taxifolia* extract varies between 1.28 and 1764.23 nm, indicating that the ZnO nanoparticles produced are diverse. The curve shows that the particle size distribution of *C. taxifolia* ZnO, with a mean diameter of 254.95 nm, demonstrates that *C. taxifolia* seaweed extract functions effectively as a stabilizing, capping, and reducing agent.

Keywords: biosynthesis, *Caulerpa taxifolia*, nanoparticle, zink oxide (ZnO)

PENDAHULUAN

Penelitian berbasis *nanotechnology* saat ini terus dilakukan dan berkembang dengan pesat. Teknologi ini memiliki kemampuan dalam merekayasa sifat-sifat material menjadi nanopartikel sehingga lebih efisien, efektif dan berdaya guna pada bidang tertentu. Nanopartikel memiliki ukuran partikel kurang dari 100 nm dan memiliki kemampuan untuk menghasilkan sifat-sifat baru serta lebih baik secara karakteristik ukuran partikel, distribusi maupun morfologinya (Clunan et al., 2015).

Nanopartikel memiliki kemampuan untuk menembus ruang sel sehingga mampu direkayasa dengan teknologi lainnya. Pengaplikasian nanopartikel sudah digunakan di berbagai bidang, antara lain pada bidang kesehatan, lingkungan dan pertanian, industri, energi, pangan maupun non pangan. Nanopartikel memiliki kemampuan sebagai katalisator, antibakteri, serta mampu melapisi permukaan (Ristian, 2013). Unsur Zink atau Seng (Zn) menjadi salah satu material yang dapat dijadikan nanopartikel. ZnO memiliki banyak manfaat baik dalam bidang industri, pangan dan non pangan, dermatologi, kedokteran serta pigimen (Moezzi et al., 2012).

Metode sintesis nanopartikel salah satunya yaitu metode sintesis biologi atau biosintesis. Biosintesis merupakan metode biologi dengan memanfaatkan tumbuhan dalam proses sintesis nanopartikel. Salah satu jenis tumbuhan yang digunakan adalah rumput laut. Penggunaan rumput laut dalam proses biosintesis terus berkembang, seperti pada penelitian sintesis nanopartikel ZnO dengan metode reduksi menggunakan rumput laut (*marine algae*) sebagai reduktor dan agen penstabil (Sari et al., 2017). Penelitian Nagarajan dan Kuppusamy (2013) menggunakan alga *C. peltata*, *H. valencia*, dan *S. myriocystum* dalam mensintesis ZnO. Penggunaan *Padina* sp. dan *Sargassum* sp. dapat digunakan untuk melakukan sintesis nanopartikel ZnO dengan hasil percobaan ZnO biosintesis terbaik dari ekstrak yang diperoleh pada kondisi pH 9 dan 10 (Sari & Utomo, 2018). Penggunaan ekstrak rumput laut hijau jenis *Caulerpa* sp. dalam mensintesis nanopartikel ZnO telah berhasil dilakukan dan diperkirakan bahwa senyawa protein memiliki peran sebagai agen penstabil serta bioreduktor dalam proses sintesis nanopartikel ZnO (Sari et al., 2017).

Provinsi Bengkulu menjadi salah satu wilayah pesisir yang terdapat di Indonesia. Ekosistem pesisir ini memiliki keanekaragaman hayati tinggi di antaranya adalah rumput laut. Namun, informasi dan data ilmiah mengenai keanekaragaman rumput laut di perairan Provinsi Bengkulu masih sangat

minim. Penelitian mengenai biodiversitas rumput laut di Provinsi Bengkulu yang sudah dilakukan seperti identifikasi rumput laut telah dilakukan di Kabupaten Kaur (Ervina et al., 2014; Wansyah, 2015; Marlyus, 2018), dan di Pulau Enggano (Mukhlizon, 2017) serta Septiyaningrum et al. (2020) yang mengidentifikasi rumput laut hijau *Caulerpa* sp. di Pantai Teluk Sepang, Kota Bengkulu. Spesies rumput laut *Caulerpa taxifolia* ditemukan sangat melimpah pada lokasi pengamatan. Pantai Teluk Sepang memiliki kondisi perairan yang cocok dengan habitat *Caulerpa* sp. dikarenakan kondisinya yang masih sangat alami serta kejernihan air yang mendukung pertumbuhan *Caulerpa* sp.

C. taxifolia masih kurang dimanfaatkan seperti spesies dari genus *Caulerpa* lainnya yang sering dikonsumsi oleh masyarakat (Akuakultur Indonesia, 2013). *C. taxifolia* kaya akan molekul polimer (polisakarida) dan dapat hiperakumulasi ion logam berat dan dapat mengubahnya menjadi bentuk lunak dengan proses reduksi (bio). *C. taxifolia* mengandung kadar protein yang cukup tinggi dibandingkan dengan jenis *Caulerpa* lainnya, yakni sebesar $11,02 \pm 0,33\%$, *C. racemosa* $10,41 \pm 0,08\%$ (Jumsurizal et al., 2021), dan *C. lentillifera* $5,62\%$ (Tapotubun, 2018). Menurut Merdekawati (2009), *C. taxifolia* mengandung protein sebesar $10,7\%$, protein tersebut bertindak sebagai capping agent dalam sintesis nanopartikel ZnO dan terlibat dalam proses reduksi Zn^{2+} menjadi Zn^0 (Peletiri et al., 2012).

Potensi *C. taxifolia* yang tinggi dalam meningkatkan nilai ekonomisnya tetapi masih belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat di Pantai Teluk Sepang, Kota Bengkulu, khususnya dalam bidang bioteknologi. Pemanfaatan nanopartikel ZnO telah banyak digunakan pada bidang non pangan maupun pangan, maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghasilkan nanopartikel ZnO dengan ekstrak *C. taxifolia* yang ada di Pantai Teluk Sepang dan karakterisasi nanopartikel ZnO yang dihasilkan tersebut. Output yang diperoleh dari penelitian ini dapat menjadi sumber referensi dan informasi pada pemanfaatan sumberdaya alternatif dalam memenuhi kebutuhan nanopartikel ZnO.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2020 sampai Mei 2021 di Laboratorium Perikanan, Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu dan Laboratorium Biologi dan

Kimia, Fakultas Ilmu Keguruan dan Pendidikan, Universitas Bengkulu. Proses karakterisasi Nanopartikel ZnO dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Jawa Tengah dan di Laboratorium Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, Jakarta Pusat.

Peralatan yang digunakan pada penelitian meliputi *coolbox*, *hammer mill*, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, *thermometer*, gelas beker, kertas saring Whatman No 41 dan No 42, botol sampel, sentrifus, silica gel, timbangan analitik, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) Perkin Elmer/Spotlight 400 Frontier, *Particle Size Analyzer* (PSA) Delsa Max Pro Beckman Coulter, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Phenom Pro X Dekstop SEM with EDX, *refrigerator*, spatula, dan homogenizer. Bahan yang diperlukan pada penelitian meliputi aquades, *Caulerpa taxifolia*, $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (Zink nitrat hexadhidrat), es batu, air deionisasi, dan NaOH.

Metode

Proses Pengambilan Sampel *C. taxifolia*

Rumput laut hijau jenis *C. taxifolia* diperoleh di perairan Pantai Teluk Sepang, Pulau Baai, Kota Bengkulu. Sampel dikumpulkan secara Simple Random Sampling (acak sederhana) pada populasi penelitian (Triyono, 2003). Sampel yang diperoleh selanjutnya akan dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air laut lalu disimpan ke dalam kotak pendingin yang telah dilengkapi dengan es batu dan dibawa ke Laboratorium Perikanan Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu.

Pembuatan tepung sampel *C. taxifolia*

C. taxifolia dibilas menggunakan air tawar hingga bersih dari pasir dan epifit. *C. taxifolia* kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik dibiarkan ditempat terbuka dengan diangin-anginkan selama 7 hari sampai didapatkan kadar air 12-17% sesuai dengan baku mutu (Sari et al., 2017). Kadar air diukur menggunakan metode AOAC (2005). Selanjutnya, rumput laut *C. taxifolia* digiling halus menjadi tepung dengan menggunakan *hammer mill Electric Power FFC Disk Mill Machine* agar memudahkan pada proses ekstraksi senyawa pada rumput laut.

Proses Ekstraksi Simplisia

300 g tepung *C. taxifolia* dicampurkan dengan 3000 mL air deionisasi lalu dipanaskan hingga mencapai suhu 100°C selama 25 menit. Senyawa polar *C. taxifolia* dapat ditarik dengan menggunakan air deionisasi sebagai pelarut. Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan menggunakan kertas saring Whatman No. 41, lalu disaring kembali menggunakan Whatman No. 42 untuk mendapatkan ekstrak *C. taxifolia* yang diinginkan. Ekstrak hasil saringan disimpan pada suhu 4°C (mod-Azizi et al., 2014).

Biosintesis nanopartikel Zink Oksida (ZnO)

Ekstrak *C. taxifolia* sebanyak 100 mL dituangkan ke *glass beaker*, kemudian ditambah larutan $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (Zink nitrat hexadhidrat) 0,15 M sebanyak 1000 mL sebagai prekursor. 39,22 g $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ dilarutkan menggunakan air destilasi sebanyak 1000 mL. Campuran ekstrak dan larutan $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ dipanaskan sambil diaduk secara konstan dengan waktu 1 jam sampai terjadinya pembentukan koloid nanopartikel ZnO. Pengkristalan akan terlihat pada proses ini dengan pembentukan endapan putih yang mengindikasikan terbentuknya formasi nanopartikel ZnO (Zink Oksida). Larutan NaOH 0,1 M (6 g NaOH ditambah 1500 mL air destilasi) ditambahkan secara perlahan untuk mencapai pH 8 dengan tetap diaduk selama 1 jam hingga membentuk koloid. Kemudian, dilakukan homogenesis dengan menggunakan alat homogenizer selama 10 menit agar diperoleh distribusi ukuran yang seragam dan didiamkan selama 20 menit. endapan putih pucat pada dasar tabung dipisahkan menggunakan sentrifuge selama 10 menit pada kecepatan 4000 rpm dengan suhu 25°C. Endapan tersebut dicuci dengan air deionisasi. Selanjutnya proses pengeringan dilakukan menggunakan oven dalam waktu 12 jam dengan suhu 100°C, lalu dimasukkan ke furnace untuk proses kalsinasi dalam waktu 4 jam pada suhu 450°C. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nanopartikel ZnO murni (Azizi et al., 2014; Nagarajan & Hatton, 2008).

Karakterisasi nanopartikel zink oksida (ZnO) *C. taxifolia*

1. Analisis gugus fungsi nanopartikel ZnO menggunakan FTIR

Analisis gugus fungsi nanopartikel ZnO menggunakan FTIR mengikuti prosedur dalam ASTM (2010) : Ekstrak kering *C. taxifolia*, ZnO

yang dihasilkan, dan ZnO standar dipreparasi dengan KBr hingga membentuk seperti pelet. Selanjutnya dilakukan analisis gugus fungsi dengan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* dengan nilai penyerapan berkisar pada 400-4000 cm^{-1} . Gugus fungsi ZnO hasil penelitian akan dibandingkan dengan gugus fungsi ZnO standar dan ekstrak *C. taxifolin*.

2. Pengamatan morfologi dan bentuk nanopartikel ZnO menggunakan SEM

Pengamatan morfologi dan bentuk nanopartikel ZnO dari penelitian dan ZnO standar menggunakan SEM mengikuti prosedur ASTM (2012). Sampel yang diperoleh selanjutnya dipreparasi dengan melapisi logam emas (Au) untuk memperjelas profil permukaan. Selanjutnya, hasil dari identifikasi dibandingkan dengan hasil pengamatan morfologi ZnO standar. Pengamatan morfologi nanopartikel ZnO dilakukan dengan menempatkan sampel pada *precoated chamber* yang dilengkapi dengan selotip karbon berukuran diameter 200 mm (70X100X35 mm). Proses *coating* dilakukan dengan memasukkan *chamber* ke dalam *smart counter*, lalu sampel dimasukkan ke dalam *specimen chamber* pada instrument SEM (dan diamati pada tegangan 20 kV dengan perbesaran 10.000 dan 20.000X (Mod-Abdullah & Khairurrijal, 2009).

3. Analisis distribusi ukuran nanopartikel ZnO menggunakan PSA

Analisis ini menggunakan *Particle Size Analyzer* dengan mengikuti prosedur dalam ASTM (2007), yaitu melarutkan 100 mg nanopartikel ZnO hasil kalsinasi dengan 10 mL air deionisasi menggunakan *vortex mixer* selama 15 menit lalu dipindahkan ke dalam *kuvet portable*. Kuvet ditempatkan dalam

instrumen *particle size analyzer* untuk melakukan analisis distribusi ukuran nanopartikel.

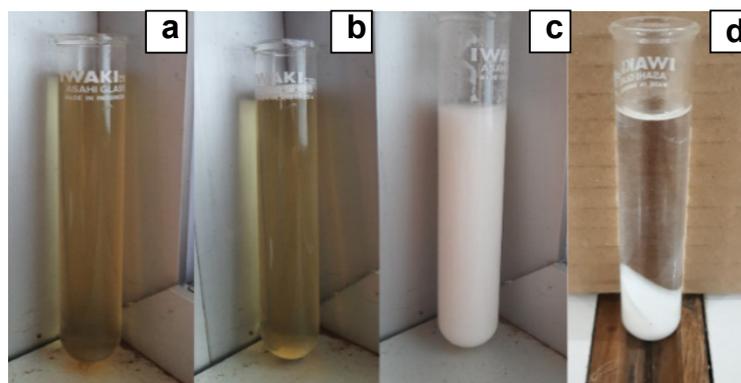
HASIL DAN PEMBAHASAN

Biosintesis Nanopartikel ZnO

Metode reduksi merupakan salah satu metode paling efektif untuk memperoleh nanopartikel secara cepat, mudah, dan murah (Oktaviani et al., 2015). Proses pereduksian nanopartikel menggunakan agen pereduksi dan pemberian tambahan agen pelindung yang bertujuan untuk menstabilkan nanopartikel. Menurut Haryono et al. (2008), stabilitas nanopartikel memainkan peran penting saat nanopartikel dikarakterisasi dan diterapkan pada produk. Proses ini mereduksi ion logam menjadi keadaan oksidasi. Penelitian ini menggunakan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ pada proses sintesis yang memiliki yang peran sebagai sumber ion Zn^{2+} . Gambar 1 menunjukkan hasil tahapan proses sintesis nanopartikel ZnO.

Nanopartikel ZnO *C. taxifolia* terbentuk dari hasil reaksi antara larutan NaOH dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dapat dilihat pada gambar diatas, larutan awal yang dihasilkan memiliki warna yang keruh pada pembentukan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (1b). Setelah itu, larutan berubah warna menjadi putih susu (1c) dan membentuk suatu koloid setelah ditambahkan NaOH hingga mencapai pH 8 (Gambar 1d). Nilai pH 8 ini merupakan nilai optimal berdasarkan kristalisasi dan komposisi unsur serta mendekati standar ZnO (Sari et al., 2017).

Kandungan senyawa ekstrak rumput laut *C. taxifolia* yang ditemukan yaitu klorofil, karotenoid,



Gambar 1. Penampakan ekstrak *C. taxifolia* (a); ekstrak *C. taxifolia* + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (b); ekstrak *C. taxifolia* + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + NaOH (c); dan ekstrak *C. taxifolia* + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + NaOH yang telah disentrifus (d).

Figure 1. *C. taxifolia* extract appearance (a); *C. taxifolia* extract + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (b); c) *C. taxifolia* extract + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + NaOH (c); and centrifuged of *C. taxifolia* + $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ + NaOH extract (d).

fikobilin, karbohidrat, protein, mineral, asam lemak tak jenuh ganda, dan senyawa bioaktif lain seperti antioksidan (polifenol dan tokoferol) mereduksi ion-ion Zn^{2+} menjadi atom atom ZnO dengan bantuan NaOH yang kemudian membentuk kluster ZnO dan terjadi pertumbuhan partikel yang mempengaruhi ukuran partikel (Sari et al., 2017). *C. taxifolia* berinteraksi dengan permukaan zink, mengenkapsulasi dan menstabilkan kluster ZnO. Gugus hidroksil juga berperan dalam mengikat gugus ZnO, sehingga permukaan partikel ditutupi oleh ion negatif, menciptakan gaya tolak antara muatan yang sama, serta mencegah agregasi antar partikel nano (Tournebize et al., 2012).

Proses biosintesis *C. taxifolia* dengan konsentrasi 10% berperan sebagai reduktor, stabilator, dan capping agent. Agen penstabil dalam proses ini memiliki peran penting karena pertumbuhan nanopartikel yang tidak dikendalikan oleh stabilisator menyebabkan terjadinya agregasi (penggumpalan) nanopartikel yang dapat menghambat pertumbuhan nanopartikel. Stabilisator berperan untuk mengatur distribusi ukuran partikel dan menjaganya agar tetap stabil. Ketika nanopartikel koloid ZnO dikeringkan pada suhu $100^{\circ}C$ maka terjadi proses reaksi kekurangan air (dehidrasi) yang menyebabkan terjadinya pelepasan molekul hidrat dalam bentuk uap air. Bentuk molekul $Zn(OH)_2$ menunjukkan belum sepenuhnya mengalami dekomposisi.

Hasil penelitian Zhou et al. (2002) melaporkan bahwa penggunaan suhu diatas $125^{\circ}C$ akan menyebabkan $Zn(OH)_2$ mengalami proses dekomposisi. Proses kalsinasi dengan menggunakan suhu yang tinggi dapat memutuskan ikatan senyawa antara OH dan Zn pada permukaan dan selanjutnya terjadi penyusunan ulang dalam membentuk nanopartikel. Kalsinasi ini juga memiliki tujuan dalam proses penghilangan beberapa senyawa seperti Seng asetat, Natrium

hidroksida, dan Natrium asetat agar hasil kalsinasi nanopartikel ZnO meningkat (Zhou et al., 2002). Proses pengeringan dan kalsinasi pada suhu tinggi yang dilakukan menyebabkan padatan ZnO rapuh dan pecah menjadi bubuk putih yang halus, menghasilkan warna putih susu (*milky white*) dan tidak memiliki aroma (Gambar 2). Hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda dari penelitian Jegan et al. (2012), yakni ZnO yang dihasilkan berwarna putih susu dan tidak memiliki aroma.

Karakterisasi Nanopartikel Zink Oksida (ZnO)

Analisis gugus fungsi nanopartikel ZnO

Karakterisasi spektroskopi FTIR nanopartikel ZnO ekstrak *C. taxifolia* dilakukan pada interval penyerapan antara 4000 sampai 400 cm^{-1} ditunjukkan pada Gambar 3. Spektrum FTIR nanopartikel ZnO *C. taxifolia* menunjukkan posisi puncak utama pada $3677,41$; $3649,17$; $3445,25$; $2369,55$; $1430,76$; $1113,2$; dan $440,4\text{ cm}^{-1}$. Puncak spektra IR dan vibrasi gugus fungsi nano ZnO *C. taxifolia*, ZnO standar serta ekstrak rumput laut *C. taxifolia* (Tabel 1).

Gambar 3 menunjukkan puncak pita penyerapan dari ZnO *C. taxifolia* pada $440,4\text{ cm}^{-1}$. Menurut Nakamoto (2006), panjang gelombang $400-600\text{ cm}^{-1}$ adalah daerah absorpsi vibrasi ulur logam oksida dan mode vibrasi stretching ZnO pada sampel biosintesis ZnO *C. taxifolia*. Daerah tersebut dikenal sebagai daerah vibrasi stretching ZnO, seperti pada penelitian Azizi et al. (2014) yaitu 441 cm^{-1} . Nagarajan dan Kuppusamy (2013) mendapatkan mode vibrasi di daerah 442 cm^{-1} dan Selvarajan dan Mohanasrinivasan (2013) di 528 cm^{-1} . Selain itu, diketahui bahwa pita penyerapan ZnO *C. taxifolia* sudah mendekati ZnO standar dan hasil penelitian sebelumnya.

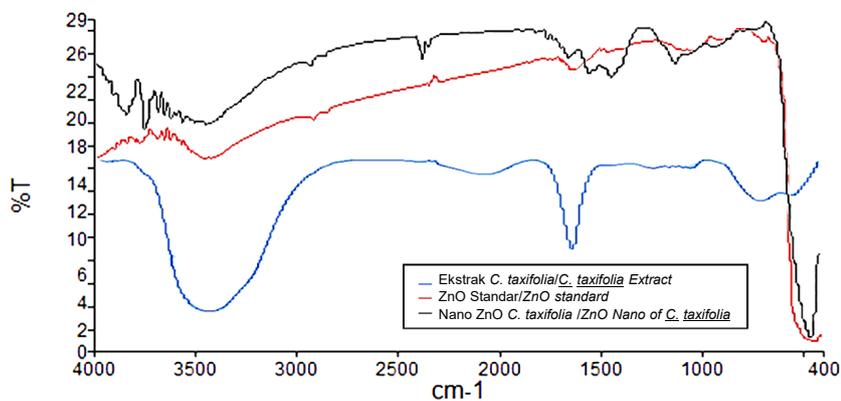


Gambar 2. Hasil kalsinasi nanopartikel ZnO *C. taxifolia*
Figure 2. Calcination results of ZnO nanoparticles *C. taxifolia*

Tabel 1. Spektra absorpsi (cm^{-1}) ekstrak *C. taxifolia*, ZnO standar dan nanopartikel ZnO ekstrak *C. taxifolia*

Table 1. Absorbance spectra (cm^{-1}) of *C. taxifolia* extract, ZnO standard and ZnO nanoparticles *C. taxifolia* extract

Ekstrak <i>C. taxifolia</i> / <i>C. taxifolia</i> Extract	ZnO Standar/ ZnO Standard	Nano ZnO Ekstrak <i>C. taxifolia</i> / ZnO nanoparticles of <i>C. taxifolia</i> Extract	Vibrasi Gugus Fungsi/ Functional Group Vibration
	432.06	440.40	Pita penyerapan ZnO/ Band of ZnO absorbance
539.66			Pita penyerapan logam/ band of metal absorbance
691.15			Penyerapan C-H/C-H stretching
1043.36	1038.00	1113.20	Penyerapan polisakarida C-O/ Stretching C-O poly saccharides
		1430.76	Aromatik C=C/C=C aromatic
	1624.19		Penyerapan karbositat COO-/ COO- stretching carboxylate
1639.40			Penyerapan (NH)C=O/(NH)C=O stretching
2078.87			Penyerapan isotiosianat N=H=S/ N=H=S stretching isothiocyanate
		2369.55	Penyerapan karbon dioksida O=C=C/ O=C=O stretching carbon dioxide
	3433.00		O-H stretching/stretching O-H
3467.58		3445.25	O-H stretching/stretching O-H
	3576.89		O-H stretching/stretching O-H
	3633.75		O-H stretching/stretching O-H
	3660.27	3649.17	O-H stretching/stretching O-H
	3697.64	3677.41	O-H stretching/stretching O-H



Gambar 3. Spektra FTIR Nanopartikel ZnO *C. taxifolia*

Figure 3. Spectra FTIR ZnO Nanoparticles *C. taxifolia*

Pita serapan antara 3000-3700 cm^{-1} menunjukkan bahwa terjadinya proses absorpsi air pada permukaan ZnO (Buccuzi et al., 1981). Pita tajam yang muncul pada 1430,76 cm^{-1} menunjukkan kemungkinan terjadinya penyerapan cincin aromatik memanjang (C=C). Posisi pita pada 1113,2 cm^{-1} merupakan vibrasi C-O atau penyerapan pada polisakarida (Sakthivel et al., 2015). Pembentukan ZnO dalam proses kalsinasi, diduga adanya senyawa polisakarida yang terlibat pada proses reduksi kation Zn^{2+} . Pita serapan pada 2369,55 cm^{-1} menunjukkan penyerapan karbon dioksida (O=C=O). Pita serapan ini menunjukkan adanya kandungan senyawa protein dan poliol (dalam bentuk asam fenolik dan flavonoid, terpenoid) pada ekstrak *C. taxifolia* (Sari et al., 2017).

Pita penyerapan pada ekstrak *C. taxifolia* menunjukkan terjadinya penyerapan gugus fungsi O-H atau hidroksil pada intensitas melebar dengan nilai puncak 3467,58 cm^{-1} . Vibrasi regangan (stretching vibration) gugus fungsi isotiosianat (N=C=S) ditunjukkan pada pita penyerapan 2078,87 cm^{-1} , dan serapan (NH)C=O adalah karakteristik protein yang terlibat dalam stabilisasi nanopartikel ditunjukkan pada pita penyerapan 1639,4 cm^{-1} (Azizi et al., 2014). Peletiri et al. (2012) melaporkan protein memiliki peran sebagai capping agent selama proses reduksi Zn^{2+} menjadi Zn^0 berlangsung dalam sintesis nanopartikel ZnO, dan diketahui bahwa rumput laut *C. taxifolia* memiliki kandungan protein sebesar 10,7% (Merdekawati, 2009). Pita panjang gelombang 1043,36 cm^{-1} menunjukkan gugus C-O stretching pada polisakarida. Spektra dari ekstrak *C. taxifolia* yang dihasilkan telah sesuai pada pengamatan yang dilakukan oleh Azizi et al. (2014), Nagarajan and Kuppasamy (2013) dan Sari et al. (2018).

Perbandingan spektrum analisis dari instrumen FTIR nanopartikel ZnO pada Gambar 3 menunjukkan terdapat perbedaan pada lebar puncak pita serapan dan intensitas setelah hasil ekstrak bereaksi dengan larutan Zink nitrat yang besar pada pita penyerapan dibandingkan dengan nanopartikel ZnO standar/komersial. Menurut Pongpiachan (2014), Setelah proses reduksi kation Zn^{2+} , ditemukan terjadinya perubahan pada intensitas pita penyerapan dari 3200-3600 cm^{-1} . Terdapat keterlibatan gugus fungsi O-H selama proses reduksi berlangsung. Jafarirad et al. (2016) menjelaskan bahwa terdapat lebih banyak gugus karbonil atau karboksil yang terbentuk dengan oksidasi gugus fungsi hidroksi. Hilangnya pita serapan pada 2078,87 cm^{-1} pada spektrum

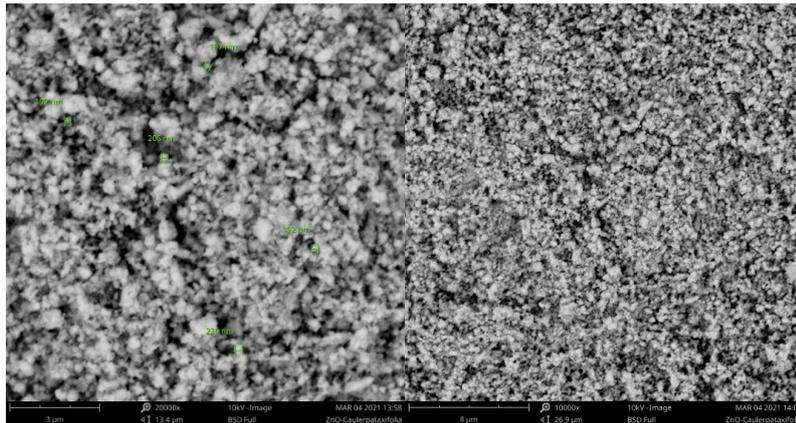
FTIR ekstrak *C. taxifolia* menunjukkan adanya reaksi yang terjadi selama proses bioreduksi. Ekstrak *C. taxifolia* mengalami O-H stretching pada daerah 3467,58 dan 1043,36 cm^{-1} . Pita spektrum FTIR nanopartikel ZnO menunjukkan keterlibatan terpenoid, poliol dan protein dalam proses bioreduksi gugus fungsi seperti alkohol, karboksilat, dan amina selama pembentukan nanopartikel ZnO (Sari et al., 2017).

Pengamatan bentuk morfologi nanopartikel ZnO *C. taxifolia* dengan SEM

Penggunaan SEM bertujuan untuk mengetahui perubahan fisik, distribusi pertumbuhan Kristal, dan morfologi senyawa tersintesis pada tahap fabrikasi nanopartikel ZnO dari *C. taxifolia* (Widiyana, 2011). Nanopartikel memiliki berbagai dimensi, antara lain satu dimensi (1-D) seperti nanorod, tube, wire, dua dimensi (2-D) seperti hexagon, tower, comb, nanosheet, dan tiga dimensi (3-D) dalam bentuk nanoflower (Sholihin, 2016). Pengamatan SEM sampel ZnO *C. taxifolia* dilakukan menggunakan alat pencitraan pada perbesaran sampai 10.000 dan 20.000X yang menghasilkan gambar 1-D yang jelas.

Pengamatan dilakukan pada morfologi nanopartikel ZnO ekstrak rumput laut *C. taxifolia* (Gambar 4) dengan suhu kalsinasi 450 °C. Pengamatan menunjukkan adanya distribusi yang tidak seragam pada nanopartikel ZnO dari ekstrak rumput laut *C. taxifolia*. Bentuk nanopartikel yang didapatkan didominasi oleh bentuk nanorod yang memiliki gambaran seperti spherical (bulat).

Celah-celah antar partikel dapat dilihat cukup jelas walaupun tidak secara keseluruhan dan dapat disimpulkan jika tidak atau belum terjadi aglomerasi nanopartikel ZnO. Berbeda halnya pada penelitian Sari et al. (2017), hasil pencitraan SEM menunjukkan ZnO yang didapatkan berbentuk spherical dengan celah yang tidak dapat terlihat dengan jelas diantara partikel serta morfologi nanopartikel ZnO yang dihasilkan pun memiliki bentuk yang tidak seragam. Menurut (Sangeetha et al., 2011). Diduga terdapat pengaruh aglomerasi yang terjadi antar partikel ZnO. Hasil gambar mikrograf SEM menunjukkan ukuran partikel yang diperoleh berkisar antara 192-236 nm pada partikel ZnO nanopartikel ekstrak rumput laut *C. taxifolia* dengan metode reduksi dan beberapa bagian struktur morfologi nanopartikel memiliki celah yang cukup jelas antar partikel. Ukuran tersebut juga didukung oleh hasil analisis distribusi partikel yang telah dilakukan pada penelitian ini.

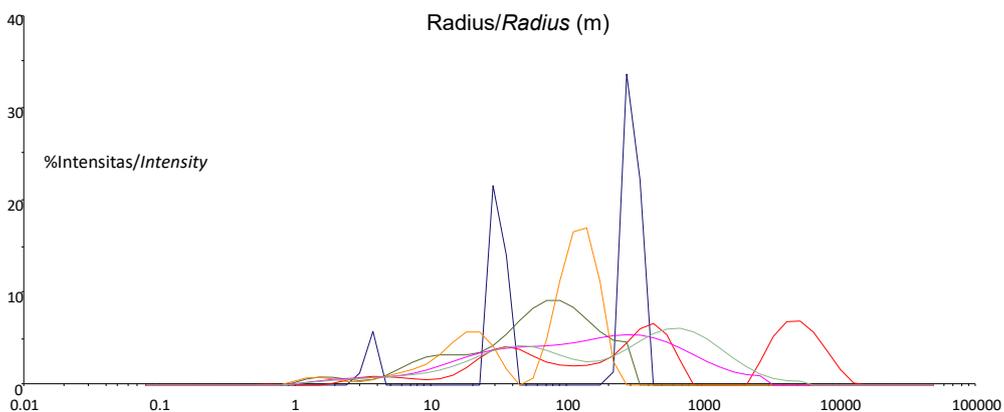


Gambar 4. Hasil analisis SEM perbesaran 10.000x dan 20.000x
 Figure 4. SEM analysis results at 10.000x and 20.000x magnifications

Aglomerasi partikel disebabkan karena adanya energi elektrostatis ZnO, efek polaritas, dan energi tinggi yang biasa terjadi ketika sedang berlangsungnya proses biosintesis pada permukaan sampel (Azizi et al., 2014). Agregasi juga diduga muncul akibat adanya ekstrak *C. taxifolia* yang mengandung banyak senyawa dan bertindak sebagai perangkap untuk prekursor $Zn(NO_3)_2$. Ukuran ZnO yang diperoleh akan dipengaruhi oleh ukuran wadah/*template* yang digunakan (Foliatini et al., 2015). Hasil analisis distribusi ukuran partikel ZnO yang ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa sebaran ukuran partikel nanopartikel ZnO *C. taxifolia* berkisar antara 192-236 nm. Nanopartikel ZnO *C. taxifolia* yang diperoleh dengan metode reduksi memiliki beberapa bagian struktur morfologi yang bercelah cukup jelas antar partikelnya. Ukuran tersebut juga didukung oleh hasil analisis distribusi partikel yang telah dilakukan.

Distribusi Ukuran Nanopartikel ZnO *C. taxifolia*

Hasil analisis menunjukkan ukuran partikel ZnO yang disintesis dengan ekstrak *C. taxifolia* berkisar antara 1,28-1764,23 nm dan bersifat heterogen (beragam) (Gambar 5). Kurva pada gambar menunjukkan diameter rata-rata distribusi ukuran partikel ZnO *C. taxifolia* sebesar 254,95 nm. Distribusi ukuran ini berbeda dengan hasil penelitian Sari et al. (2017) distribusi ukuran partikel ZnO berkisar antara 102–773 nm, cenderung homogen (seragam) dan memiliki diameter rata-rata 607 nm. Hasil ini pun berbeda dengan ukuran nanopartikel ZnO standar Sigma Aldrich yang memiliki diameter rata-rata sebesar 317 nm. Hal ini menunjukkan bahwa hasil ekstrak dari rumput laut *C. taxifolia* dapat berperan sebagai capping agent, agen pereduksi dan penstabil.



Gambar 5. Kurva distribusi ukuran partikel ZnO sintesis ekstrak *C. taxifolia*
 Figure 5. ZnO Particle size distribution curve of *C. taxifolia* extract synthesis

Ukuran partikel dapat digunakan dalam menentukan toksisitas, distribusi, dan kapasitas penargetannya, serta mempengaruhi pemuatan, pelepasan dan stabilitas sistem nanopartikel (Mohanraj & Cheng, 2007). Distribusi ukuran partikel ZnO sintesis ekstrak *C. taxifolia* belum dapat dikatakan seragam atau heterogen. Distribusi ukuran partikel ini sesuai dengan dengan hasil pencitraan menunjukkan bahwa partikel tidak seragam dan beragregasi.

Distribusi ukuran partikel yang dihasilkan cenderung heterogen dengan adanya *peak* 2 dan 3. Terdapat beberapa *peak* yang sudah memenuhi besaran ukuran nanometer (1-100 nm), namun beberapa *peak* lainnya belum memenuhi besaran ukuran nanometer. Hal ini diduga karena efektivitas *C. taxifolia* sebagai agen penstabil masih rendah yang menyebabkan terjadinya aglomerasi pada sampel. Menurut Dumur et al. (2011), dalam proses ekstraksi dibutuhkan penstabil yang kuat yang berfungsi dalam mencegah agregasi dan atau aglomerasi. Hal ini dikarenakan agregasi dan atau aglomerasi dapat membatasi pertumbuhan pada kluster sehingga kluster ZnO yang diperoleh berukuran kecil/nano.

Setiap pengukuran yang diamati terdapat partikel dengan diameter minimum 1,28 nm yang muncul pada *peak* 1 dengan intensitas 0,20% dan partikel dengan diameter maksimum 1764,23 nm pada *peak* 3 dengan intensitas 100%. Diameter rata-rata terkecil 1,28 nm diperoleh pada *peak* 1, dengan intensitas 0,20% dan nilai PI (*Polydispersity Index*) 8,10%. Ukuran rata-rata terbesar sebesar 7,21 nm dengan intensitas 4,41% dan nilai PI 0,20%. Ukuran rata-rata partikel pada *peak* 1, yaitu sebesar 3,91 nm dengan intensitas 2,27% dan nilai PI menunjukkan 22,98%. Nilai PI yaitu besarnya jarak distribusi ukuran partikel, jika semakin sempit kurva yang dihasilkan maka hasilnya semakin baik.

Peak 2, ukuran rata-rata terkecil yang dihasilkan sebesar 22,28 nm dengan intensitas 11,84% dan nilai PI 11,28%. Ukuran rata-rata terbesar adalah 94,47 nm dengan intensitas 45,57% dan nilai PI 81,90%. Ukuran rata-rata partikel pada *peak* 2, yaitu sebesar 61,50 nm dengan intensitas 25,61% dan nilai PI menunjukkan 47,57%. Ukuran rata-rata terkecil pada *peak* 3, yaitu sebesar 204,33 nm dengan intensitas 33,21% dan nilai PI 12,03%. Ukuran rata-rata terbesar sebesar pada *peak* 3 ini yaitu 1764,23 nm dengan intensitas 100% dan nilai PI 146,91% serta ukuran rata-rata partikel pada *peak* 3 yang dihasilkan, yaitu sebesar 700,17 nm dengan intensitas 52,11% dan nilai PI menunjukkan 64,46%.

Hasil analisis PSA yang telah dilakukan pada penelitian ini menunjukkan nilai polidispersi indeks (PI) tinggi yang berarti jarak distribusi dari sampel ZnO *C. taxifolia* lebar dan memiliki *peak* lebih dari satu serta ukuran partikelnya beragam atau heterogen. Rata-rata ukuran terkecil yaitu sebesar 3,91 nm dan rata-rata ukuran terbesar yaitu 700,17 nm. Berdasarkan dari hasil penelitian Sari et al. (2017) diperoleh ukuran partikel rata-rata minimum 232,8 nm dan ukuran partikel rata-rata maksimum 1125,25 nm. Hasil analisis PSA ini juga menunjukkan bahwa ukuran rata-rata optimal ditemukan pada *peak* 1 pada 3,91 nm dengan nilai PI 22,98% dan ukuran yang konsisten ditemukan untuk *peak* 3 pada 1764,23 nm dengan nilai intensitas sebesar 100%.

Menurut penelitian Nagarajan dan Kumaraguru (2013), sintesis nanopartikel dipengaruhi oleh konsentrasi ekstrak bahan-bahan alami. Konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi dapat meningkatkan ukuran partikel dikarenakan larutan membentuk agregasi. Hasil analisis dari distribusi ukuran menunjukkan secara umum bahwa ukuran nanopartikel ZnO *C. taxifolia* yang dihasilkan bersifat heterogen atau beragam.

KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel ZnO dari ekstrak rumput laut hijau *Caulerpa taxifolia* telah berhasil dilakukan. Analisis gugus fungsi ZnO *C. taxifolia* menghasilkan pita serapan yang didapatkan telah berada dalam rentang nilai spektral ZnO pada penelitian sebelumnya. Hasil pencitraan SEM menunjukkan bentuk morfologi nanorod dan terlihat tidak seragam pada nanopartikel ZnO *C. taxifolia*. Ukuran partikel yang diperoleh berkisar antara 1,28-1764,23 nm pada ZnO sintesis ekstrak *C. taxifolia*. Distribusi ukuran partikel memiliki diameter dengan rata - rata 254,95 nm menunjukkan bahwa ekstrak rumput laut *C. taxifolia* telah berhasil berperan sebagai capping agent, agen pereduksi, dan agen penstabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical of Chemists*. Arlington, Virginia, (US): Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2007). *ASTM D422-63 (2007) e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Diakses dari <https://www.astm.org/d0422-63r07e02.html>.

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (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/d6348-12r20.html>.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2012). *ASTM E1508 - 12a, Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy*. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Diakses dari <https://www.astm.org/e1508-12ar19.html>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2020.
- Abdullah, M., & Khairurrijal. (2009). Review: Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 2(1), 1-9.
- Akuakultur Indonesia. (2013). *Budidaya Caulerpa Sulawesi Selatan Edisi No 3 Tahun ke-1*.
- Azizi, S., Ahmad, M. B., Namvar, F., & Mohamad, R. (2014). Green biosynthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using brown marine macroalga *Sargassum muticum* aqueous extract. *Materials Letters*, 116, 275–277. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2013.11.038>.
- Boccuzzi, F., Morterra, C., Scala, R., & Zecchina, A. (1981). Infrared spectrum of microcrystalline zinc oxide. Electronic and vibrational contributions under different temperature and environmental conditions. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 2: Molecular and Chemical Physics*, 77(11), 2059–2066. <https://doi.org/10.1039/F29817702059>.
- Clunan, A.L., Rodine-Hardy, K., Hsueh, R., Kosal, M.E., & McManus, I.P. (2015). *Nanotechnology in a Globalized World: Strategic Assessments of an Emerging Technology | Semantic Scholar*. Diakses dari <https://www.semanticscholar.org/paper/Nanotechnology-in-a-Globalized-World%3A-strategic-of-Clunan-Rodine-Hardy/f6a393c53e45e71e5654aeb23808ce031f75e62>.
- Dumur, F., Guerlin, A., Dumas, E., Bertin, D., Gignes, D., & Mayer, C. R. (2011). Controlled spontaneous generation of gold nanoparticles assisted by dual reducing and capping agents. *Gold Bulletin 2011*, 44(2), 119–137. Diakses dari <https://doi.org/10.1007/S13404-011-0018-5>.
- Ervina, N., Dewi, P. dan Yusarwan, Y. 2014. Biodiversitas Makroalga di Perairan Pantai Pasar Lama dan Pantai Cukuh, Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu. *Journal of Aquatropica Asia*, 1, 1-4.
- Foliatini, Yulizar, Y., & Hafizah, M. A. E. (2015). The synthesis of alginate-capped silver nanoparticles under microwave irradiation. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 47(1), 31–50. <https://doi.org/10.5614/J.MATH.FUND.SCI.2015.47.1.3>.
- Haryono A., Sondari D., Harmani S.B & Randy M. (2008). Sintesa Nanopartikel Perak dan Potensi Aplikasinya. *Jurnal Riset Industri*, 2(3), 156-163.
- 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 C*, 59, 296–302. <https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2015.09.089>.
- Jegan., A., Ramasubbu, A., Karunakaran, K., & Vasanthkumar, S. (2012). Synthesis and characterization of zinc oxide – agar nanocomposite. *International Journal of Nano Dimension*, 2(3), 171–176. <https://doi.org/10.7508/IJND.2011.03.004>.
- Jumsurizal, J., Ilhamdy, A. F., Anggi, A., & Astika, A. (2021). Karakteristik Kimia Rumput Laut Hijau (*Caulerpa racemosa* & *Caulerpa taxifolia*) dari Laut Natuna, Kepulauan Riau, Indonesia. *Akuatika Indonesia*, 6(1). <https://doi.org/10.24198/jaki.v6i1.30008>
- Merdekawati, W., & Susanto, A. B. (2009). Kandungan Dan Komposisi Pigmen Rumput Laut Serta Potensinya Untuk Kesehatan. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 4(2), 41–47. <https://doi.org/10.15578/SQUALEN.V4I2.147>.
- Moezzi, A., Andrew, M., Mcdonagh., Michael, B.C. (2012). Zinc Oxide Particles: Syntesis, Properties and applications. *Chemical Engineering Journal*, 185-186, 1-22. DOI:10.1016/j.cej.2012.01.076
- Muklizon, A., Herliany, E., & Kusuma, A. B. (2017). Struktur Komunitas Rumput Laut (Seaweeds) Sebagai Data Potensi Ekonomi di Perairan Desa Meok Pulau Enggano Provinsi Bengkulu. *Thesis*. Universitas Bengkulu.
- Nagarajan, R., & Alan Hatton, T. (2008). Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Passivation, and Functionalization. 996. <https://doi.org/10.1021/BK-2008-0996>.
- Nagarajan, S., & Arumugam Kuppasamy, K. (2013). Extracellular Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticle Using Seaweeds of Gulf of Mannar, India. *Journal of Nanobiotechnology*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/1477-3155-11-39>.
- Nakamoto, K. (2006). *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Handbook of Vibrational Spectroscopy. <https://doi.org/10.10470027320.S4104>.
- Oktaviani, D. T., F. D. C., & Amrullah, A. (2015). Sintesis Nano Ag Dengan Metode Reduksi Kimia. *Saintekno : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 13(2). 101-114.
- Peletiri, I. C., Matur, B. M., Ihongbe, J. C., & Okoye, M. (2012). The Effect of *Azadirachta indica* (Neem Tree) On Human Plasmodiasis: The Laboratory Perspective. *Journal of Medical Sciences*, 2(1). 013-017.
- Pongpiachan, S. (2014). FTIR Spectra of Organic Functional Group Compositions in PM2.5 Collected at Chiang-Mai City, Thailand during the Haze Episode in March 2012. *Journal of Applied Sciences*, 2967–2977. <https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2014.2967.2977>.
- Ristian, I. (2013). Kajian Pengaruh Konsentrasi Perak Nitrat (Agno3) Terhadap Ukuran Nanopartikel Perak. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Sakthivel, M., Deivasigamani, Rajasekar, T., Kumaran, S., & Alagappan, K. (2015). Immunostimulatory

- Effects of Polysaccharide Compound from Seaweed *Kappaphycus alvarezii* on Asian seabass (*Lates calcarifer*) and its Resistance against *Vibrio parahaemolyticus*. *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 2015(02). <https://doi.org/10.4172/2324-8661.1000144>.
- Sangeetha, G., Rajeshwari, S., & Venckatesh, R. (2011). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles by Aloe Barbadensis Miller Leaf Extract: Structure and Optical Properties. *Materials Research Bulletin*, 46(12), 2560–2566. <https://doi.org/10.1016/J.MATERRESBULL.2011.07.046>.
- Sari, R. N., Nurhasni, N., & Yaqin, M. A. (2017). Green Synthesis Nanoparticle ZnO Sargassum sp. Extract and The Products Characteristic. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 238-254.
- Sari, R. N., Chasanah, E., & Nurhayati, N. (2018). Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dari Biosintesis Ekstrak Rumpun Laut Coklat Sargassum sp. dan *Padina* sp. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 13(1), 41–60. <https://doi.org/10.15578/JPBKP.V13I1.489>
- Sari, R. N., & Utomo, B. S. B. (2018). Sintesis Rumpun Laut Hijau *Caulerpa* Sp. Dan *Ulva* Sp. Menjadi Nanopartikel ZnO Menggunakan Microwave Oven. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan XV Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan 01 Dec 2018*. Pasca Panen B (TB-09). (Vol. 15, No. 3, pp. 45-55).
- Selvarajan, E., Mohanasrinivasan, V. (2013). Biosynthesis and characterization of ZnO nanoparticles using *Lactobacillus plantarum* VITES07, *Materials Letters*, 12, 180-182. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.09.020>.
- Septiyaningrum, I., Utami, M. A. F., & Johan, Y. (2020). Identifikasi jenis anggur laut (*Caulerpa* sp.) Teluk Sepang Kota Bengkulu. *Jurnal Perikanan Unram*, 10(2), 195–204. <https://doi.org/10.29303/jp.v10i2.215>.
- Tapotubun, A. M. (2018). Komposisi Kimia Rumpun Laut (*Caulerpa lentillifera*) dari Perairan Kei Maluku dengan Metode Pengeringan Berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(1). <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i1.21257>.
- Triyono. (2018). Teknik Sampling Dalam Penelitian. *Lokakarya Penelitian Sosial Fakultas Adab IAIN Suka Yogyakarta*, XI(March), 2–9.
- Tournebize, J., Boudier, A., Joubert, O., Eidi, H., Bartosz, G., Maincent, P., Leroy, P., & Sapin-Minet, A. (2012). Impact of gold nanoparticle coating on redox homeostasis. *International Journal of Pharmaceutics*, 438(1–2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2012.07.026>.
- Wansyah, E. P., Ta'alidin, Z., & Ervina, H. (2015). Lokasi: Struktur Komunitas Rumpun Laut (Seaweeds) di Perairan Pantai Linau, Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu. *Thesis*, Universitas Bengkulu.
- Widiyana, K. (2011). Penumbuhan Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) yang Disintesis dengan Metode Sonokimia dan Pemanfaatannya sebagai Tinta Pengaman. *Tugas Akhir II*, Jurusan Kimia, Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
- Zhou, H., Alves, H., Hofmann, D. M., Meyer, B. K., Kaczmarczyk, G., Hoffmann, A. and Thomsen, C. (2002). *Effect of the (OH) Surface Capping on ZnO Quantum Dots, physica status solidi (b) - Wiley Online Library*. (n.d.). Retrieved from [https://dx.doi.org/10.1002/1521-3951\(200201\)229:2%3C825::aid-pss-b825%3E3.3.co;2-2](https://dx.doi.org/10.1002/1521-3951(200201)229:2%3C825::aid-pss-b825%3E3.3.co;2-2).