

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan ilmu yang saling berintegrasi untuk merekayasa material nano berukuran (0–100 nm). Material nano merupakan material yang memiliki beberapa keunggulan dengan sifat unik yang tidak dimiliki oleh material dalam ukuran bulk, seperti reaktivitas kimia yang meningkat, luas permukaan dan sifat optik serta mekanik yang tinggi<sup>1</sup>. Keunggulan ini menjadikan material nano sangat potensial untuk diterapkan dalam berbagai bidang antara lain, biomedis, energi, tekstil, kosmetik, pertanian dan lingkungan<sup>2</sup>. Material berukuran nano dapat didesain melalui proses sintesis dengan mengontrol beberapa parameter sintesis, untuk memperoleh keunggulan material dari aspek morfologi, struktur kristal, bentuk, ukuran, dan luas permukaan<sup>3</sup>. Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan sintesis hijau telah berkembang pesat sebagai metode alternatif yang lebih aman, berkelanjutan, dan ramah lingkungan dalam produksi nanomaterial. Metode ini memanfaatkan bahan penstabil dan pereduksi yang berasal dari sumber alami, seperti ekstrak tumbuhan, alga, bakteri, jamur, hingga virus. Pendekatan ini menawarkan sejumlah keunggulan, di antaranya ramah lingkungan, lebih ekonomis, rendah toksisitas, serta lebih mudah untuk produksi skala besar dibandingkan metode sintesis konvensional yang menggunakan bahan kimia<sup>4</sup>. Bahan kimia sebagai zat penstabil seperti, senyawa CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide)<sup>5</sup>, DEA (Diethanolamine)<sup>6</sup>, dan PEG (Polyethylene Glycol)<sup>7</sup>, atau bahan biologis yang berasal dari tumbuhan, mikroorganisme, dan alga<sup>8</sup>.

Makroalga merupakan tumbuhan laut yang tersebar luas di perairan Indonesia dan telah menarik perhatian para peneliti karena ketersediaannya berlimpah<sup>9</sup>. Beberapa peneliti telah melaporkan bahwa makroalga mengandung biomolekul alami seperti polisakarida, protein, polifenol, dan flavonoid<sup>10</sup>. Beragam senyawa bioaktif yang terkandung didalamnya terbukti makroalga memiliki aktivitas biologis sebagai, antioksidan, antibakteri, antikoagulan, antikanker, antidiabetes<sup>11</sup>. Makroalga memiliki beragam spesies dan dapat diklasifikasikan berdasarkan warnanya, yaitu makro alga merah seperti *Palmaria decipiens*, *Gelidium pusillum*<sup>12</sup>, makroalga coklat seperti *Laminaria sp.*, *Sargassum sp.*<sup>13</sup>, serta makroalga hijau seperti *Caulerpa lentillifera*, dan *Ulva lactuca*<sup>14</sup>. Salah satu spesies yang potensial adalah *Caulerpa lentillifera*, yang diketahui mengandung karbohidrat (64%), protein (8,59%), dan lemak (2%)<sup>15</sup>. Selain itu, alga ini juga mengandung metabolit sekunder seperti alkaloid, fenol, flavonoid, dan steroid<sup>16</sup>. Senyawa-senyawa tersebut memiliki umumnya memiliki gugus fungsi seperti hidroksil, amina, karboksil, yang berperan penting dalam proses biosintesis nanopartikel, khususnya dalam mengontrol pertumbuhan, morfologi, dan stabilitas nanopartikel melalui interaksi dengan ion logam prekursor<sup>17</sup>.

Beberapa penelitian telah melaporkan keberhasilan penggunaan makroalga sebagai agen penstabil dan pereduksi dalam pembentukan oksida logam, antara lain penggunaan makroalga *Caulerpa racemosa* untuk sintesis nanopartikel perak, yang menunjukkan

peningkatan aktivitas antioksidan, antibakteri dan antikanker<sup>18</sup>. Selain itu, *Dumbrava, et.al.*, (2023) berhasil mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak makroalga *Ulva lactuca* dengan metoda hidrotermal<sup>19</sup>, *Rilda, et.al.*, (2025) juga melaporkan sintesis *Y doped* ZnO menggunakan makroalga *Ulva lactuca* yang menunjukkan struktural, sifat optik dan antibakteri yang baik<sup>17</sup>; *Ramesh et.al.*, (2023) mensintesis nanopartikel oksida tembaga ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) menggunakan ekstrak *Sargassum wightii* melalui metode ko-presipitasi untuk degradasi pewarna fotokatalitik<sup>13</sup>.

Beberapa peneliti telah menerapkan konsep nanoteknologi untuk memodifikasi sifat fisik, kimia, mekanik dan biologis dari senyawa oksida logam, sehingga memiliki sifat unggul dan multifungsi. Oksida logam merupakan senyawa semikonduktor yang mudah dimodifikasi dan telah banyak diaplikasikan sebagai material fotokatalis. Diantaranya Seng oksida (ZnO) merupakan bahan multifungsi yang digunakan sebagian besar sebagai fotokatalis, karena sifat optik tinggi dan stabil secara kimia dan biologis, mudah untuk diproduksi secara massal dan ramah lingkungan<sup>20</sup>. Seng oksida (ZnO) termasuk semikonduktor tipe-n dengan celah pita energi sebesar 3,37 eV. Material ini tidak beracun, biokompatibilitas, dan memiliki konduktivitas serta fotosensitifitas tinggi. ZnO banyak digunakan dalam aplikasi fotokatalis, zat warna, zat antimikroba dan aktivitas biologis<sup>21,22</sup>. Sedangkan Yttrium oksida ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) dengan celah pita 5,6 eV, konduktivitas termal tinggi, dan konstanta dielektrik besar. Material ini dianggap sebagai pelapis unggul yang berpotensi untuk aplikasi di bidang biomedis, elektronik, dan optik, serta dapat meningkatkan efisiensi fotokatalitik<sup>23</sup>. Terbentuknya hibridisasi ditandai dengan perubahan sifat optik, struktur, dan meningkatkan morfologi<sup>24</sup>. Hibridisasi antara ZnO dan  $\text{Y}_2\text{O}_3$  berpotensi menghasilkan nanomaterial dengan karakteristik gabungan yang unggul, seperti peningkatan aktivitas antibakteri, antioksidan, dan kestabilan termal yang lebih tinggi<sup>25</sup>.

Beberapa penelitian telah melakukan penelitian dari senyawa oksida logam dengan mengkombinasikan dari beberapa oksida logam antara lain, *Nachimuthu et.al.*, (2022) mensintesis ZnO/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanorod yang dimediasi oleh *Lawsonia inermis* untuk fotokatalisis dan perlakuan biologis dalam meningkatkan efisiensi degradasi limbah, aktivitas antibakteri dan antioksidan<sup>26</sup>. *Kannan et.al.*, (2024) mensintesis nanohibrida ZnO-MgO untuk aplikasi fotokatalitik dan degradasi polutan beracun<sup>27</sup>, selain itu *Alsehli, et.al.*, (2025) mensintesis nanokomposit  $\text{TiO}_2/\text{CeO}_2$  menggunakan ekstrak daun *Echinacea purpurea* dan *Ivy* sebagai bio-adsorben dan aktivitas biologis<sup>28</sup>.

Aktivitas fotokatalis suatu material sangat dipengaruhi oleh morfologi struktur, ukuran, bentuk, dan luas permukaan<sup>29</sup>. Parameter-parameter ini ditentukan oleh metode dan kondisi sintesis yang digunakan. Beberapa metode sintesis yang umum diterapkan antara lain metode sol-gel, hidrotermal, presipitasi, dan molten salt. Metode sol-gel dikenal sebagai teknik sintesis nanomaterial yang ekonomis, bersuhu rendah, serta menghasilkan distribusi ukuran partikel yang homogen<sup>30</sup>. Proses sol-gel terdiri dari empat tahapan, yaitu hidrolisis, kondensasi, aging-

drying dan kalsinasi. Untuk memperoleh morfologi dan karakteristik material yang optimal, diperlukan pengendalian parameter proses seperti jenis prekursor, konsentrasi molar, pelarut, pH, jenis dan jumlah zat aditif, waktu reaksi, serta suhu. Pada metoda sol gel, penambahan zat aditif sangat penting untuk menstabilkan pertumbuhan dan pembentukan nanopartikel<sup>31</sup>.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO menggunakan ekstrak makrolaga hijau spesies *Caulerpa lentillifera* sebagai zat penstabil. Hingga saat ini, penelitian yang menggabungkan oksida logam berhibrida  $Y_2O_3$ -ZnO melalui pendekatan sintesis hijau berbasis *Caulerpa lentillifera* masih sangat terbatas. Kombinasi dua oksida logam ini diharapkan menghasilkan efek sinergis yang mampu meningkatkan aktivitas antimikroba dan antioksidan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu,

1. Apakah ekstrak *Caulerpa lentillifera* dapat berfungsi sebagai media sintesis hijau dari nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO.
2. Bagaimana pengaruh parameter sintesis terhadap morfologi nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO yang dihasilkan.
3. Bagaimana efektivitas nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO dalam meningkatkan aktivitas antimikroba dan antioksidan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi potensi ekstrak *Caulerpa lentillifera* sebagai media biosintesis (zat penstabil) berbasis biomolekul amino sellulosa dalam pembentukan nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO.
2. Menyelidiki pengaruh variasi pH terhadap karakteristik fisikokimia nanohibrida  $Y_2O_3$ -ZnO (morfologi, ukuran partikel, dan kristalinitas).
3. Menguji aktivitas antimikroba dan antioksidan dari nanohibrid  $Y_2O_3$ -ZnO, serta membandingkannya dengan ZnO murni dan  $Y_2O_3$  murni sebagai kontrol.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam mengeksplorasi pemanfaatan keanekaragaman hayati Indonesia, khususnya *Caulerpa lentillifera* sebagai sumber biomolekul dalam sintesis nanomaterial melalui pendekatan *green synthesis*. Selain itu, hasil penelitian ini juga berkontribusi dalam memperkaya khasanah ilmu pengetahuan di bidang nanoteknologi berbasis hayati, serta membuka peluang aplikasi material fungsional dalam bidang biomedis dan lingkungan.