

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi merupakan teknik desain material dalam skala nanometer (1-100 nm) melalui modifikasi sintesis, karakterisasi, dan aplikasi. Material dalam skala nano berdampak signifikan pada peningkatan sifat fungsionalisasi material tersebut yaitu sifat fisik, kimia, biologis dan mekanik¹. Material nano berpotensi luas untuk aplikasi pada berbagai bidang antara lain kesehatan, tekstil, kosmetik, energi, dan fotodegradasi^{1,2}. Banyak peneliti telah menerapkan konsep dasar nano teknologi untuk produksi material nano melalui modifikasi metoda sintesis. Metoda sintesis dapat mendesain morfologi struktur, ukuran, dimensi dan luas permukaan sesuai yang diinginkan, melalui pengaturan proses fisiko-kimia dari bottom up metoda sintesis tersebut³.

Metoda sintesis dapat diklasifikasikan menjadi dua pendekatan yaitu sintesis secara *top down* dan *bottom up*⁴. Proses sintesis *top down* melibatkan proses fisik atau mekanik untuk mengecilkan bulk material hingga mencapai ukuran nano. Metode ini memiliki kelemahan dalam pengecilan ukuran nanopartikel atau menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang terbatas⁵. Sedangkan proses sintesis nanomaterial dengan mengikuti tahapan *bottom up* dapat mendesain ukuran nano sesuai dengan yang diinginkan. Pada proses ini penyusunan nanopartikel diawali dari pemecahan bulk material menjadi atom, ion, molekul, kemudian penyusunan atom-atom pada permukaan. Atom-atom permukaan saling berkluster membentuk building blok pada permukaan, sehingga menimbulkan peningkatan luas permukaan dan *quantum confinet* yang menyebabkan peningkatan fungsionalisasi dari material nano tersebut⁶. Metoda sintesis yang telah digunakan antara lain kopresipitasi, sol-gel, Hidrotermal, *molten salt*, *Chemical Vapour Deposition*⁷.

Sintesis nano oksida logam dengan pendekatan *bottom up* merupakan tahapan proses yang dapat dilakukan secara kimia maupun biologis. Perbedaan keduanya adalah dalam hal penggunaan zat aditif untuk mengoptimalkan proses pertumbuhan nanokristal. Bahan kimia yang telah digunakan sebagai aditif antara lain PEG (*Poly Ethilen Glycol*)⁸, CTAB(*Cetyltrimethylammonium Bromide*)⁹, DEA (*Diethanolamine*)¹⁰. Secara umum aditif kimia cenderung lebih fleksibel, efisien, efektif, dan dapat diterapkan dalam berbagai jenis material, akan tetapi tidak ramah lingkungan dan bersifat toksik, mahal, energi tinggi dan terbatas dalam penyediaannya secara komersial. Belakangan ini sintesis nano oksida logam dengan menggunakan bahan alam merupakan inovasi baru yang telah berkembang. Zat aditif bahan alam dapat bersumber dari tumbuh-tumbuhan¹¹, sel bakteri¹², sel jamur¹³, alga¹⁴ dan beberapa jenis enzim dan protein^{15,16}. Proses *bottom up* dengan proses biologi menawarkan proses ramah lingkungan dan dikenal sebagai metoda *green sintesis*⁵. Beberapa penelitian telah menggabungkan penggunaan aditif kimia dan biologis, untuk mengaktifkan fungsi dari aditif bahan alam atau biologi agar lebih selektif dalam memodifikasi morfologi dari oksida logam¹³.

Sol gel merupakan salah satu metode sintesis senyawa anorganik dengan beberapa keunggulan antara lain proses berlangsung pada suhu rendah, peralatan sederhana dan murah, dan distribusi ukuran nanopartikel lebih homogen¹¹. Metoda sol-gel terdiri dari beberapa tahapan, yaitu hidrolisis, kondensasi, *aging*, *drying* dan kalsinasi. Untuk mengoptimalkan proses sol gel agar diperoleh morfologi nanopartikel sesuai yang diinginkan, perlu dilakukan optimasi proses melalui pemilihan prekursor yang tepat, pelarut, pH, zat aditif, katalis, waktu dan suhu reaksi¹². Pada metode sol gel, untuk menstabilkan pertumbuhan nanopartikel dibutuhkan zat aditif yang berfungsi sebagai *capping agent* dan zat pereduksi. Pemilihan bahan alam sebagai aditif biologi pada proses sintesis oksida logam seperti makroalga telah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Makroalga merupakan tumbuhan laut, mudah didapatkan secara berkelanjutan dalam kelimpahan besar. Makroalga memiliki komponen senyawa bioaktif yang terdiri dari senyawa metabolit primer dan metabolit sekunder. Spesies makroalga yang digunakan untuk sintesis nanomaterial antara lain, makroalga hijau (*Ulva Lactuca*) untuk sintesis nanopartikel ZnO¹⁴, makroalga coklat (*Turbinaria ornata*) untuk sintesis nanopartikel Au-ZnO¹⁷ dan makro alga merah (*Gelidium pusillum*) untuk sintesis nanopartikel CuO¹⁸. Makro alga *Gelidium pusillum* memiliki komposisi senyawa terdiri dari polisakarida (40,02 %), protein (3,98 %), keduanya diklasifikasikan sebagai metabolit primer¹⁹. Sedangkan komponen metabolit sekunder dari makro alga terdapat senyawa bioaktif polifenolik, alkaloid, tanin, steroid²⁰. Dari kandungan senyawa bioaktif yang terdapat pada makroalga maka sering digunakan sebagai bahan suplemen untuk kesehatan²¹. Senyawa metabolit memiliki senyawa bioaktif yang dapat berfungsi sebagai *capping agent* dan zat pereduksi pada proses pembentukan inti kristal dan selanjutnya pembentukan nanopartikel oksida logam²².

Pada saat ini perkembangan penyakit infeksi yang disebabkan oleh sel mikroba patogen semakin meningkat, terutama dipicu oleh berkembang biakan sel mikroba patogen strain baru, akibat terjadi mutasi gen dan berkembangnya populasi sel mikroba resisten terhadap antibiotik komersial. Fakta ini telah memberi ancaman beberapa penyakit infeksi sulit untuk disembuhkan²³. Saat ini dunia sains lebih fokus meneliti beberapa material anorganik yaitu senyawa logam atau oksida logam sebagai zat anti mikroba alternatif untuk mencegah infeksi dan diaplikasikan pada bidang biomedis. Oksida logam merupakan senyawa semikonduktor dan bersifat fotokatalis. Berdasarkan konsep dasar fotokatalis ketika oksida logam terpapar cahaya UV-Vis, dapat mengalami proses oksidasi reduksi pada masing-masing pita valensi (eV) dan pita konduksi (eK) dan selanjutnya akan dihasilkan ROS (*Reactive Oxygen Species*) yang terdiri dari spesies radikal aktif $\bullet\text{O}_2$ dan radikal $\bullet\text{OH}$. Radikal-radikal ROS jika berkontak dengan polutan organik antara lain, sel mikroba, zat pewarna, pestisida dapat mendegradasi polutan organik tersebut²⁴. Senyawa yang bersifat fotokatalis tidak hanya dapat menggunakan

energi cahaya untuk mendegradasi polutan organik di lingkungan tetapi juga dapat mengubah energi matahari (UV-Vis) menjadi energi bersih dan dapat disimpan sebagai energi alternatif²⁵.

Oksida logam merupakan senyawa yang bersifat fotokatalis dan dapat diaplikasikan sebagai material biomedis antara lain material yang menunjukkan indikasi sebagai antibakteri, antioksidan, antiinflamasi. Peningkatan aktivitas oksida logam sebagai fotokatalis dapat ditingkatkan dengan mengubah struktur, ukuran, bentuk dengan melakukan proses doping ion logam atau membentuk hybrid gabungan dari beberapa oksida logam. Dalam penelitian ini dilakukan penggabungan tiga jenis oksida logam yaitu ZnO, MgO, dan CuO (ZnO-MgO-CuO). Masing-masing oksida logam memiliki keunggulan beberapa sifat fisika, kimia. ZnO merupakan semikonduktor dengan celah pita energi sebesar 3,37 eV, mobilitas elektron yang tinggi, stabilitas termal, dan umumnya digunakan sebagai zat antimikroba⁴³. Oksida logam MgO memiliki konduktivitas termal tinggi, non korosi, kapasitas adsorpsi yang tinggi, telah digunakan sebagai pendegradasi polutan senyawa organik di dalam air⁴⁹. Tembaga oksida merupakan semikonduktor tipe p yang memiliki nilai bandgap sebesar 1,3-1,8 eV, memiliki sifat optik, magnet, dan Listrik, absorbansi yang tinggi, tidak beracun, dan stabil secara kimia dan biologi⁵².

Penggunaan oksida logam sebagai bahan fotokatalis adalah salah satu teknologi ramah lingkungan dengan aplikasi luas sebagai zat anti mikroba, anti oksidan, anti inflamasi, anti pestisida, sumber energi, dan restorasi lingkungan²⁶. Oksida logam bersifat stabil secara biologi, tidak beracun, mudah untuk diproduksi secara massal dan ramah lingkungan²⁷. ZnO dapat berperan sebagai zat anti mikroba pada beberapa spesies mikroba patogen antara lain *Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholera*, *Shigella flexneri*^{28,29}. Magnesium Oksida (MgO) juga telah diteliti dalam berbagai penelitian karena memiliki sifat unggul yaitu sifat optik, fotokatalis, luas permukaan besar, kapasitas adsorpsi tinggi, sehingga lebih luas digunakan untuk pendegradasi polutan organik antara lain zat warna metilen blue²⁷. Selain itu MgO juga mempunyai aktivitas sebagai zat anti mikroba pada beberapa bakteri seperti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*²⁷. Tembaga oksida (CuO) adalah semikonduktor yang memiliki aktivitas fotokatalitik dan telah digunakan untuk zat antimikroba terhadap sel *Escherichia coli*, *K. pneumoniae*, *Pseudomonas vulgaris*³⁰⁻³¹.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk meningkatkan aktifitas fotokatalis dari senyawa oksida logam dengan pembentukan dari beberapa oksida logam antara lain, Zahra Sabouri et al., (2023), melakukan sintesis Ag-doped ZnO-MgO-CaO dengan menggunakan ekstrak *Ocimum Basilicum L* dan mengevaluasi sifat fotokatalis sebagai degradasi zat warna metylene blue (MB) dan efek biologis pada sel kanker HeLa²⁷. Jayakaran Pachiyappan et al., (2020) telah melakukan sintesis hybrid ZnO-MgO dan aplikasi sebagai adsorben logam berat³². K. Kannan et al., (2024) telah mensintesis ZnO-MgO untuk diaplikasikan sebagai zat antibakteri pada sel bakteri *Staphylococcus aureus*,

Aeromonashydrophila, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Shigella*, *Staphylococcustyphi*, *Staphylococcus epidermis*, *Vibrio cholera*, *Pseudomonas aeruginosa*²⁹.

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan sintesis gabungan tiga jenis oksida logam ZnO-MgO-CuO yang ditargetkan satu sama lain saling berhibrid membentuk struktur baru yang memiliki peningkatan aktivitas sebagai material biomedis dengan menggunakan makroalga merah spesies *Gelidium pusillum* sebagai media sintesis yang berfungsi sebagai sumber *capping agent*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar yang telah dijabarkan, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah senyawa bioaktif pada ekstrak tumbuhan makroalga merah *Gelidium pusillum* dapat digunakan sebagai senyawa aditif untuk media sintesis nanopartikel ZnO-MgO-CuO, apakah dengan menghibridkan tiga jenis oksida logam dapat menghasilkan senyawa dengan morfologi yang berbeda dari oksida logam prekursor, dan apakah NPs ZnO-MgO-CuO memiliki peningkatan aktifitas fotokatalis sebagai material biomedis?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melakukan sintesis nanopartikel ZnO-MgO-CuO dengan menggunakan ekstrak makroalga *Gelidium pusillum* sebagai media sintesis amino-sellulosa.
2. Melakukan hibrid beberapa oksida logam untuk memodifikasi morfologi nanopartikel ZnO-MgO-CuO dengan peningkatan sifat fisikokimia.
3. Uji efektifitas fotokatalis nanopartikel ZnO-MgO-CuO sebagai material biomedis sebagai zat antibakteri terhadap sel *Staphylococcus epidermidis* dan *Salmonella thyposa* dan zat antioksidan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam mengeksplorasi keaneka ragaman hayati yang memiliki potensi untuk produksi nano oksida logam. Penelitian ini dapat digunakan untuk menambah wawasan dalam mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan nanomaterial.