

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian dalam bidang nanoteknologi menjadi pusat perhatian para peneliti seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini (Judenta et al., 2017). Nanoteknologi menjadi ilmu rekayasa material yang berfokus pada material berukuran nanometer yang memiliki sifat khas yang bergantung dari ukuran, distribusi, morfologi, dan fasa dari nanopartikel (Istiqomah et al., 2016). Nanopartikel merupakan salah satu kelas utama nanomaterial yang didefinisikan sebagai partikel dengan ukuran dalam rentang 1 hingga 100 nm (Mui et al., 2016). Nanopartikel umumnya berasal dari partikel logam yang stabil secara kimia serta berbagai bentuk partikel dari oksida logam dan karbon (Judenta et al., 2017).

Nanopartikel logam yang banyak dikembangkan secara global adalah nanopartikel Al_2O_3 , yang mencakup sekitar 20% dari semua nanomaterial (Saleh et al., 2023). Nanomaterial aluminium oksida dan aluminium hidroksida juga dipelajari secara ekstensif karena struktur nano hierarkis dan memiliki sifat-sifat yang unik, seperti stabilitas kimia dan termal, kekuatan relatif, ketahanan aus yang baik, kekerasan tinggi, titik leleh tinggi, serta ketahanan listrik dan kimia yang baik. Material ini juga dapat berperan sebagai mediator dalam beberapa reaksi kimia (Sangor dan Al-Ghouti, 2022; Ziva et al., 2021). Nanopartikel Al_2O_3 yang memiliki luas permukaan yang besar menunjukkan bahwa nanopartikel ini memiliki aktivitas antibakteri yang kuat pula. Hal ini telah dibuktikan dalam penelitian oleh Sadiq et al. (2009), bahwa nanopartikel alumina menunjukkan zona hambat sebesar 57% pada *Bacillus subtilis*, dan 36% pada *E.coli* yang berasal dari perlekatan langsung nanopartikel Al_2O_3 ke dinding sel bakteri (Hassanpour et al., 2018). Namun, pemilihan metode sintesis menjadi faktor yang sangat penting dalam menghasilkan nanopartikel Al_2O_3 dengan ukuran partikel, luas permukaan, dan karakteristik morfologi yang baik sehingga nanopartikel memiliki aktivitas antibakteri yang baik pula.

Nanopartikel Al_2O_3 dapat disintesis dengan menggunakan beberapa metode, seperti, pembakaran (Prashanth et al., 2015), hidrotermal (Hakuta et al., 2013), sol-gel (Rajaeiyan dan Bagheri-Mohagheghi, 2013), presipitasi (Banarjee et al., 2015), dan pirolisis (Martin et al., 2010). Namun, metode-metode sintesis tersebut cukup mahal, berpotensi bahaya, membutuhkan waktu reaksi yang lama, menggunakan



berbahaya, dan memerlukan instrumen khusus. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan metode alternatif yang lebih ramah lingkungan dan tidak berbahaya bagi ekosistem (Ghotekar, 2019). Salah satu metode yang efektif adalah *green synthesis*. Metode ini telah terbukti efektif, terjangkau, ramah lingkungan, mudah dilakukan, serta tidak memerlukan suhu dan energi tinggi, serta bahan kimia berbahaya (Marlina et al., 2019). Metode ini menghasilkan nanoteknologi hijau yang dapat memperbaiki

lingkungan dan menghasilkan nanomaterial yang ramah lingkungan (Ikhiyia dan Nkele, 2024). Metode *green synthesis* dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah, contohnya limbah *aluminium foil*. Limbah *aluminium foil* yang terakumulasi dalam jumlah besar dapat menciptakan pencemaran lingkungan karena terjadinya pelepasan ion logam berbahaya ke dalam air tanah (Devi dan Al Ghanbusi, 2024; Sangor dan Al-Ghouti, 2023). Oleh karena itu, metode daur ulang *aluminium foil* yang lebih ramah lingkungan diperlukan untuk menghasilkan produk bermanfaat seperti nanopartikel alumina karena kebutuhan energi dan juga emisi gas akan berkurang (Nduni et al., 2021; Ghulam et al., 2019; Devi dan Al Ghanbusi, 2024).

Selain itu, *green synthesis* juga dapat dilakukan menggunakan organisme biologis seperti bakteri, aktinobakteri, *yeast*, jamur, alga, dan tanaman (Nadaroglu et al., 2017). Peran alga dalam hal ini berfungsi sebagai agen pereduksi logam yang membantu reduksi ion logam menjadi nanopartikel serta sebagai agen pengikat (*capping*) untuk memberikan lapisan kuat pada nanopartikel logam oksida (Sari et al., 2017; Marlina et al., 2017). Proses ini dipengaruhi oleh peran pigmen, protein, karbohidrat, lemak, asam nukleat, dan metabolit sekunder, seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, tanin dan saponin yang terkandung di dalamnya (Nadaroglu et al., 2017; Soamole et al., 2018). Salah satu jenis alga tersebut adalah *Gracilaria* sp.

Gracilaria sp. termasuk jenis alga merah (*Rhodophyta*) yang umumnya mengandung agar sebagai hasil metabolisme primernya (Insani et al., 2022). Morfologi *Gracilaria* sp. mirip dengan jenis alga lain, mulai dari akar, cabang, dan daunnya yang tidak jelas. Ciri-ciri khas *Gracilaria* sp. adalah bentuknya talus silindris atau pipih dengan percabangan yang sederhana dan rimbun. Bagian ujung talus biasanya lebih kecil dengan permukaan halus dan berbintil-bintil. Diameter talus berkisar 0,5 – 2 mm dengan panjang mencapai 30 cm atau lebih (Cokrowati et al., 2024). *Gracilaria* sp. mengandung senyawa alkaloid, flavonoid, tanin, dan fenol. Senyawa fenol yang terdapat dalam *Gracilaria* sp. bermanfaat sebagai antibakteri, antiinflamasi, antivirus, dan antikarsinogenik (Insani et al., 2021). Selain itu, senyawa-senyawa tersebut dapat berperan sebagai bioreduktor, stabilisator maupun sebagai *capping agent* dalam pembuatan nanopartikel dengan mengubah ion garam logam (prekursor) menjadi logam atau nanopartikel logam secara *green synthesis* (Marlina et al., 2017).

Penggunaan ekstrak alga *Gracilaria* sp. sebagai agen bioreduktor telah dilakukan oleh Saputra et al., 2021 dalam mensintesis nanopartikel (Au). Penelitian tersebut menghasilkan nanopartikel (Au) dengan ukuran partikel rata-rata 11,8 nm sebagai bahan pendukung warna sabun tangan. Kandungan metabolit sekunder



seperti alkaloid dan flavonoid, termasuk dalam kelompok turunan berperan sebagai agen pereduksi ion Au^{3+} menjadi Au^0 (Saputra et al., 2021). *Gracilaria* sp berhasil diamati aktivitas antibakterinya pada *S.aureus* oleh Melki et al., 2011. Ekstrak *Gracilaria* sp. berhasil menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* sebesar $14,33 \pm 3,22$ mm dan *S.aureus* sebesar $14,33 \pm 3,22$ mm (Hafizah et al., 2015). Berdasarkan penelitian tersebut, ekstrak alga *Gracilaria* sp. dapat digunakan sebagai bioreduktor

dalam mensintesis nanopartikel logam serta aplikasi antibakteri pada bakteri *E.coli* dan *S.aureus*.

Penelitian sintesis nanopartikel aluminium oksida dengan bioreduktor dari ekstrak alga serta aplikasi antibakterinya berhasil dilakukan, oleh Manogar et al. (2018) yang mensintesis nanopartikel aluminium oksida menggunakan ekstrak alga *Lyngbya majuscula* dan diperoleh ukuran nanopartikel sebesar 28 nm kemudian diuji aktivitas antibakterinya dan diperoleh besar zona hambat pada bakteri *S.aureus* sebesar 20 mm. Koopi dan Buazar (2018) berhasil mensintesis nanopartikel aluminium oksida menggunakan ekstrak alga *Sargassum ilicifolium* dan diperoleh ukuran rata-rata nanopartikel sebesar 20 nm. Penelitian lain terkait sintesis nanopartikel aluminium oksida dengan menggunakan limbah *aluminium foil* juga berhasil dilakukan oleh Devi dan Al Ghanbusi (2024) diperoleh ukuran rata-rata nanopartikel sebesar 30 nm. Aktaruzzaman et al. (2024) berhasil mensintesis nanopartikel aluminium oksida dan diperoleh rata-rata ukuran nanopartikel sebesar 32,73 nm. Akan tetapi, penelitian terkait sintesis nanopartikel aluminium oksida sampai saat ini belum ada yang menggabungkan antara ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) sebagai bioreduktornya dengan limbah aluminium foil terutama sebagai agen antibakteri. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terkait sintesis nanopartikel aluminium oksida (Al_2O_3) dari limbah *aluminium foil* secara *green synthesis* menggunakan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) serta aplikasinya sebagai antibakteri.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. bagaimana hasil uji fitokimia terhadap ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.)?
2. apakah nanopartikel Al_2O_3 dapat dihasilkan dari limbah *aluminium foil* dengan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.)?
3. bagaimana karakteristik nanopartikel Al_2O_3 yang disintesis dari limbah *aluminium foil* dengan ekstrak alga (*Gracilaria* sp.) dengan menggunakan instrumen UV-Vis, FTIR, XRD, XRF, SEM, dan SAA?
4. bagaimana aktivitas antibakteri nanopartikel Al_2O_3 yang disintesis menggunakan *aluminium foil* dan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder dari ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) sebagai *capping agent* dalam sintesis nanopartikel Al_2O_3
2. nanopartikel Al_2O_3 dari limbah *aluminium foil* dengan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.)
3. nanopartikel Al_2O_3 yang disintesis dari limbah *aluminium foil* dengan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) dengan menggunakan instrumen UV-Vis, FTIR, XRD, XRF, SEM, dan SAA



4. mengevaluasi aktivitas antibakteri nanopartikel Al_2O_3 yang disintesis menggunakan *aluminium foil* dan ekstrak alga merah (*Gracilaria* sp.) terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan kontribusi terbaru terhadap dunia pengetahuan dan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi nanopartikel Al_2O_3 menggunakan limbah *aluminium foil* dan ekstrak alga merah *Gracilaria* sp. serta uji aktivitas antibakterinya, khususnya bakteri yang mudah resisten seperti *E. coli* dan *S. aureus*.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alga merah (*Gracilaria* sp), akuades, limbah *aluminium foil*, HCl 6 M (Merck), Na₂CO₃, 1 M, FeCl₃, reagen Mayer, H₂SO₄ pekat (Merck), Pb(CH₃COO)₂ 10%, HCl 1% (Merck), kloroform, padatan Kbr, *Muller Hinton Agar* (MHA), *plastic wrap*, *tissue roll*, kertas saring *Whattman* No. 42, dimetil sulfoksida (DMSO), kertas cakram, bakteri *S. aureus*, *E. coli*, kultur murni, serta *ampicillin*.

2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas yang biasa digunakan di laboratorium, wadah sampel, cawan petri, botol semprot, corong *buchner*, pompa vakum, *magnetic bar*, *magnetic stirrer* model 04802-02, *ultrasonic bath* S 40 H, neraca ohaus (*analytical plus*), *hot plate* (Taffware DLD-101B), *furnace*, oven, desikator, spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-2600), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) (Shimadzu IRPrestige-21), XRD (*X-Ray Diffraction*) (Shimadzu XRD-7000), XRF (*X-Ray Fluorescence*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan SAA (*Surface Area Analyzer*) (Micro 200).

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Februari hingga Mei 2025. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Fisika, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi Sampel (Ikhioya and Nkele, 2024)

Alga *Gracilaria* sp. dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan akuades, kemudian dikeringkan pada suhu ruang selama 2-3 hari, lalu dihaluskan menjadi serbuk. Sampel yang sudah dihaluskan ditimbang sebanyak 10 g lalu ditambahkan 100 mL akuades dalam gelas kimia kemudian dipanaskaen pada suhu 60°C. Larutan campuran didinginkan pada suhu ruang kemudian disaring menggunakan kertas *Whattman* No. 42.



(Ikhioya and Nkele, 2015)

Gracilaria sp. dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 2 mL dan beberapa tetes larutan FeCl₃ hingga terjadi perubahan warna menjadi hijau.

B. Uji Saponin (Bargah, 2015)

Ekstrak air *Gracilaria* sp. dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 mL kemudian ditambahkan dengan 5 mL akuades. Campuran dihomogenkan dengan cara dikocok keras. Uji positif adanya saponin ditandai dengan terbentuknya busa yang stabil.

C. Uji Flavonoid (Bargah, 2015)

Ekstrak air *Gracilaria* sp. dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 1 mL kemudian ditambahkan 1 mL larutan $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 10%. Uji positif adanya flavonoid ditandai dengan terjadinya perubahan warna menjadi kuning.

D. Uji Alkaloid (Bargah, 2015)

Ekstrak air *Gracilaria* sp. sebanyak 3 mL dicampurkan dengan 3 mL larutan HCl 1% lalu dimasukkan ke dalam penangas air. Campuran tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu ditambahkan beberapa tetes reagen Mayer hingga terjadi perubahan warna. Uji positif adanya alkaloid ditandai dengan terbentuknya endapan berwarna cokelat kemerahan.

E. Uji Steroid (Bargah, 2015)

Ekstrak air *Gracilaria* sp. dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 2 mL lalu ditambahkan 2 mL kloroform dan 2 mL H_2SO_4 pekat. Uji positif adanya steroid ditandai dengan terbentuknya warna merah pada lapisan kloroform atau lapisan paling bawah.

2.4.3 Pembuatan Larutan AlCl_3 (Saleh et al., 2023)

Limbah *aluminium foil* dikumpulkan kemudian dibersihkan untuk menghilangkan bahan-bahan pengotor dengan menggunakan akuades, lalu dikeringkan dan dipotong kecil-kecil. Selanjutnya, *aluminium foil* yang sudah dipotong ditimbang sebanyak 3 g dan dilarutkan ke dalam 100 mL HCl 6 M sedikit demi sedikit sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga tidak berbuih kemudian disaring untuk memisahkan sisa residu yang tidak larut.

2.4.4 Sintesis Nanopartikel Aluminium Oksida (Al_2O_3) (Ikhiyia and Nkele, 2024; Nduni et al., 2021)

Nanopartikel Al_2O_3 disintesis dengan cara mencampurkan ekstrak *Gracilaria* sp. dan larutan AlCl_3 . Campuran divariasikan sebanyak 5 rasio perbandingan, yaitu 1:1; 1:2; 1:3; 1:4; dan 1:5. Campuran dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*, larutan Na_2CO_3 1 M setetes demi tetes hingga terbentuk *gel* menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu, larutan disaring menggunakan *Whatman* No. 42 untuk memperoleh endapan. Endapan dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven semalaman pada suhu



70°C. Setelah kering, serbuk yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 200°C selama 2,5 jam dan suhu 900°C selama 2 jam menggunakan *furnace*.

2.4.5 Karakterisasi Nanopartikel Aluminium Oksida (Al_2O_3)

A. Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Sharma et al., 2019)

Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui sifat serapan optik dari nanopartikel Al_2O_3 . Cahaya dilewatkan melalui larutan sampel kemudian diukur jumlah cahaya yang diserap. Nilai absorbansi dicatat pada berbagai panjang gelombang, kemudian dibuat grafik antara absorbansi terhadap panjang gelombang. Analisis dilakukan dengan panjang gelombang 200-800 nm dengan menggunakan akuades sebagai blanko.

B. Karakterisasi Menggunakan FTIR (Melkamu dan Bitew, 2021; Siddiqui, 2023)

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berikatan pada permukaan nanopartikel perak, yang berperan sebagai agen pereduksi, penstabil, serta pelapis (*capping agent*) selama proses sintesis, dan mengidentifikasi senyawa berdasarkan pola serapan inframerahnya. Sampel nanopartikel aluminium oksida hasil sintesis dikeringkan lalu dibuat menjadi pellet kalium bromida (KBr) dengan perbandingan 1:100 antara sampel dan KBr. Spektrum FTIR diperoleh pada rentang bilangan gelombang 4000 – 400 cm^{-1} .

C. Karakterisasi Menggunakan XRD (Farahmandjou dan Golabiyani, 2015; Jemal et al., 2017)

Karakterisasi menggunakan XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan ukuran kristalit. Sampel nanopartikel Al_2O_3 dikeringkan menjadi serbuk kemudian ditimbang sebanyak 1 mg untuk dilakukan analisis. Pengukuran nanopartikel dilakukan pada sudut 5-70°.

D. Karakterisasi Menggunakan XRF (Sumari et al., 2020)

Karakterisasi menggunakan XRF digunakan untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat dalam nanopartikel. Sampel nanopartikel Al_2O_3 dalam bentuk bubuk ditimbang sebanyak 1 mg kemudian diletakkan dalam *sample holder* lalu analisis dengan XRF. Hasil XRF didapatkan berupa data difraktogram sehingga dapat diketahui informasi komposisi unsur dalam sampel nanopartikel Al_2O_3 .



E. Karakterisasi Menggunakan SEM (Ahmad et al., 2023; Kepekci et al., 2021)

Untuk mengetahui morfologi permukaan nanopartikel Al_2O_3 , digunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Penggunaan SEM memiliki kemampuannya memberikan rentang pembesaran yang luas, gambar tiga dimensi sehingga mempermudah pengamatan dan analisis permukaan sampel nanopartikel berbentuk serbuk.

F. Karakterisasi Menggunakan SAA (Gholizadeh et al., 2023)

Karakterisasi menggunakan SAA dilakukan untuk mengukur luas permukaan spesifik, volume pori dan distribusi pori pada material. Proses ini melibatkan pengukuran *isotherm* adsorpsi-desorpsi nitrogen dengan pendekatan teori *Brunauer–Emmett–Teller* (BET). Sebelum sampel dianalisis, dilakukan *degassing* pada suhu 200 selama 3 jam bertujuan untuk menghilangkan molekul yang teradsorpsi sebelumnya, seperti uap air atau gas lain, sehingga permukaan sampel menjadi bersih sebelum dilakukan analisis.

2.4.6 Uji Antibakteri

A. Sterilisasi Alat (Wangloan et al., 2025)

Alat-alat dicuci terlebih dahulu kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit untuk alat-alat yang tidak tahan panas. Sedangkan alat-alat gelas disterilisasi menggunakan oven pada suhu 160-1700°C selama 1-2 jam. Alat-alat seperti pinset dan ose bulat disterilkan dengan cara dipijarkan menggunakan lampu spiritus.

B. Pembuatan Media *Muller Hinton Agar* (Wangloan et al., 2025; Joshua dan Takudzwa, 2013)

Sebanyak 9,5 g *Muller Hinton Agar* dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu ditambahkan 250 mL akuades. Campuran tersebut dipanaskan sambil diaduk hingga larut sempurna. Setelah itu, MHA disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1,5 atm selama 15 menit. Setelah disterilisasi, MHA dituangkan ke dalam cawan petri kemudian didiamkan hingga memadat pada suhu ruang.

C. Persiapan Suspensi Bakteri Uji (Ferdinal et al., 2025)

Bakteri uji *S. aureus* dan *E. coli* dari biakan murninya diremajakan dengan cara diambil 1-2 ose kemudian digoreskan pada media MHA miring lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Selanjutnya, isolat bakteri disuspensikan dengan larutan NaCl fisiologis 0,9% hingga tingkat kekeruhannya setara dengan standar *McFarland*.

D. Uji Aktivitas Antibakteri (Ferdinal et al., 2025)

Pengujian aktivitas antibakteri nanopartikel aluminium oksida terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli* dilakukan dengan metode difusi agar menggunakan kertas cakram (*Blank disc*). Suspensi masing-masing bakteri yang telah dibuat diinkubasikan menggunakan *cotton bud* steril lalu digoreskan secara merata diatas h memadat. Selanjutnya disiapkan kertas cakram dan direndam apel nanopartikel aluminium oksida, kontrol positif (*Ampicillin*), kuades) hingga terserap sempurna. Selanjutnya, kertas cakram permukaan media MHA secara hati-hati menggunakan pinset. petri ditutup dan diinkubasi dalam inkubator pada suhu 35°C bening yang terbentuk kemudian diukur menggunakan jangka

