

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sektor industri Indonesia berperan penting dalam ekonomi dengan menciptakan lapangan kerja, peningkatan nilai bahan baku, dan kontribusi pendapatan negara melalui ekspor berbagai produk seperti minyak sawit, tekstil, dan elektronik (Fitri et al., 2025). Salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia adalah industri tekstil. Industri ini banyak menggunakan air untuk proses produksinya, diantaranya pencelupan, yaitu proses penambahan zat warna ke dalam produk tekstil. Berbagai polutan seperti sisa zat warna, senyawa organik dan surfaktan ditemukan dalam limbah tekstil (Budikania et al., 2020). Menurut Irsyada et al., (2023), limbah dari proses pewarnaan tekstil relatif stabil sehingga sulit terdegradasi dan dapat mencemari lingkungan karena menyebabkan warna keruh pada perairan dan meningkatkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD), serta limbah zat warna itu adalah polutan seperti Alizarin Red S (ARS).

Zat warna ARS telah digunakan di industri tekstil sejak zaman dahulu. Jenis zat warna ini merupakan zat warna anionik dan larut dalam air (Ramavandi et al., 2019). Dari struktur kimianya, ARS merupakan senyawa hidrokarbon aromatik polisiklik yang termasuk dalam golongan zat warna antrakuinon. ARS biasanya digunakan dalam industri untuk mewarnai persediaan sehari-hari seperti kain tenun dan tekstil katun wol. Sifat stabilitas termal, optik dan fisikokimia yang tinggi membuat zat warna ini tidak mudah terdegradasi oleh bahan alami (Yang et al., 2018). Zat warna ini merupakan salah satu kontaminan utama di lingkungan dan dianggap sebagai polutan yang tahan lama di dalam air (Albadarin & Mangwandi, 2015). Meskipun demikian, popularitas dan sifat-sifat unggul ARS dalam industri tekstil justru menjadi masalah baru saat zat warna ini berakhir di lingkungan, terkhususnya di perairan.

Alizarin Red S memiliki stabilitas kimia dan fotolitik yang tinggi, yang membuat zat warna ini termasuk dalam kelompok zat warna yang tahan lama, yang tidak dapat sepenuhnya terurai oleh proses kimia, fisika, dan biologi. Hal ini menjadikan ARS sebagai salah satu kontaminan dalam air bersifat racun, mutagenik, teratogenik bahkan karsinogenik (Zolgharnein et al., 2014). Oleh karena itu, para peneliti lingkungan berupaya untuk mencari teknik atau metode efisien yang dapat digunakan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah. Berbagai metode telah



filtrasi, koagulasi, degradasi fotokatalitik, oksidasi lanjutan et al., 2020).

bagai metode untuk mengatasi masalah kontaminan dalam air menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan sejak na efektivitas biaya, operasional yang cukup mudah dan et al., 2020). Adsorpsi adalah proses perpindahan massa pada

permukaan adsorben. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi permukaan dan gaya tarik menarik permukaan (Pungut et al., 2021). Agar proses adsorpsi semakin efektif, para peneliti terus mengembangkan material adsorben dengan selektivitas dan efisiensi yang lebih baik. Salah satu adsorben yang menjanjikan adalah *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) (Dong et al., 2021).

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) adalah polimer berpori yang disintesis melalui proses ekstraksi molekul target (*template*) yang ditambahkan pada proses sintesis. Pori yang terbentuk berperan untuk mengenal molekul target dengan ukuran, struktur, dan sifat fisika kimia yang sama dengan analitnya. Menurut konsep *Lock and Key* (Fischer), MIP bekerja sebagai bahan berpori yang memiliki situs pengenalan molekul yang hanya cocok untuk molekul target tertentu (Atqa & Sianita, 2021). Polimer ini dapat disintesis dengan cara polimerisasi *template* dengan suatu monomer. Monomer fungsional adalah komponen krusial yang memiliki gugus-gugus kimia spesifik yang mampu berinteraksi secara non-kovalen dan reversibel dengan molekul cetakan. Interaksi ini dapat berupa ikatan hidrogen, interaksi ionik, interaksi dipol-dipol, atau interaksi van der Waals. Gugus-gugus fungsional pada monomer akan mengatur posisi dan orientasi di sekitar *template* selama proses polimerisasi, membentuk kompleks pra-polimerisasi yang stabil. Setelah *template* dihilangkan, gugus-gugus fungsional tersebut akan terperangkap dalam posisi yang membentuk situs pengikatan yang komplementer terhadap molekul target (Fransiska & Sianita, 2021). Selain itu, pemilihan pelarut yang tepat juga sangat penting karena berperan dalam meminimalkan interferensi selama proses sintesis antara monomer, pengikat silang, dan molekul cetakan (Lah et al., 2021). Selain MIP, diperlukan pembanding yaitu *Non-Imprinted Polymer* (NIP). NIP disintesis dengan prosedur yang identik dengan MIP, namun tanpa penambahan molekul cetakan selama proses polimerisasi. Akibatnya, NIP tidak memiliki situs pengikatan yang spesifik untuk molekul cetakan. Polimer ini berfungsi sebagai kontrol untuk membedakan antara adsorpsi spesifik oleh molekul cetakan pada MIP dan adsorpsi non-spesifik yang terjadi pada permukaan polimer atau massa pada NIP (Atqa & Sianita, 2021).

Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk melakukan sintesis MIP, antara lain *bulk polymerization*, *suspension polymerization*, dan polimerisasi presipitasi. Polimerisasi curah (*bulk polymerization*) adalah metode polimerisasi sederhana tetapi polimer yang dihasilkan dari metode ini berbentuk massa padat yang tidak beraturan sehingga perlu digiling dan diayak lebih lanjut. Hal ini dapat merusak struktur polimer dan situs cetakannya (He et al., 2021). Polimerisasi *in situ* (*in situ polymerization*) adalah metode polimerisasi radikal bebas monomer yang tidak larut didispersikan sebagai tetesan dalam media pengadukan mekanis sehingga memerlukan pengadukan yang tinggi. Metode ini juga memerlukan *suspending agent* atau pengemulsi yang membantu menstabilkan dispersi tetesan monomer. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengadukan, sifat, dan kuantitas *suspending agent* dapat



secara signifikan memengaruhi ukuran tetesan monomer sehingga pembentukan polimer jadi lebih tidak terkontrol dan rumit (Alosime et al., 2023). Polimerisasi presipitasi (*precipitation polymerization*) adalah metode yang tidak memerlukan penggunaan penstabil yang dapat tetap teradsorpsi ke permukaan polimer. Metode ini dilakukan dengan cara hampir sama dengan metode ruah, namun tidak dilakukan penggerusan dan menggunakan volume pelarut yang lebih besar (Butar & Sianita, 2022). Oleh karena itu, metode polimerisasi presipitasi digunakan untuk sintesis MIP pada penelitian ini.

Sintesis MIP dilakukan melalui metode polimerisasi presipitasi karena kemampuannya dalam menghasilkan mikrosfer dengan permukaan yang bersih dan ukuran yang seragam. Metode ini tidak memerlukan penambahan surfaktan atau bahan tambahan lainnya. Mikrosfer terbentuk melalui ikatan silang monomer dan pengikat silang, kemudian mengendap dari larutan (Zhang et al., 2022). Dibandingkan dengan metode ruah (*bulk polymerization*), polimerisasi presipitasi menawarkan keuntungan karena menghindari proses penggerusan yang dapat merusak struktur polimer dan menghasilkan ukuran partikel yang tidak homogen. Beberapa faktor kritis yang perlu dikendalikan dalam metode ini meliputi polaritas pelarut, kecepatan pengadukan, dan suhu reaksi (Fransiska & Sianita, 2021). Selain itu, metode *Solid Phase Extraction* (SPE) merupakan salah satu teknik yang efektif untuk mengekstraksi berbagai analit organik dari sampel, menawarkan keuntungan berupa kesederhanaan, selektivitas, dan fleksibilitas dalam penggunaan adsorben (Mpupa et al., 2021). Beberapa penelitian menggunakan MIP sebagai bahan penyerap atau adsorben dalam pengolahan air limbah pada metode ekstraksi ini (Öter & Zorer, 2021).

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penelitian dilakukan untuk mensintesis dan mengarakterisasi polimer bercetakan molekul menggunakan monomer dan pengikat silang melalui polimerisasi presipitasi. Tujuan utamanya adalah menghasilkan MIP Alizarin Red S, yang akan berfungsi sebagai adsorben dalam metode SPE. Setelah mendapatkan material MIP, langkah selanjutnya adalah mengkarakterisasi morfologi permukaannya menggunakan SEM, menganalisis komposisi unsur penyusunnya melalui EDS, menentukan gugus fungsi yang terlibat dalam sintesis MIP dengan FTIR, dan mengukur luas permukaan, volume, dan diameter pori menggunakan SAA. Selain itu, kemampuan MIP untuk menangkap senyawa Alizarin Red S akan dievaluasi secara kualitatif dan kuantitatif.

## 1.2 Rumusan Masalah



salah dalam penelitian ini adalah:

sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul ARS nakan monomer metakrilamida (MAM) dan pengikat silang etakrilat (TRIM) melalui metode polimerisasi presipitasi?

al kinetika adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan Red S (ARS) berdasarkan pengaruh variasi waktu?

3. bagaimana kapasitas adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul Alizarin Red S (ARS) berdasarkan pengaruh variasi konsentrasi?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menyintesis dan mengarakterisasi polimer bercetakan molekul ARS yang disintesis menggunakan monomer metakrilamida (MAM) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) melalui metode polimerisasi presipitasi.
2. menganalisis model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul ARS berdasarkan pengaruh variasi waktu.
3. menentukan kapasitas adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul ARS berdasarkan pengaruh variasi konsentrasi.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu berguna sebagai bahan informasi mengenai sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul dengan menggunakan monomer metakrilamida dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat sebagai adsorben senyawa Alizarin Red S, serta dapat menjadi acuan dalam penen model kinetika dan kapasitas adsorpsi berdasarkan pengaruh waktu dan konsen



## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Bahan Penelitian

*Alizarin Red S*, metakliratamida 99% (MAM) (Sigma Aldrich), Trimetilpropan Trimetakrilat (TRIM) (Sigma Aldrich), 2,2-azobisisobutironitril 75% (AIBN) (Sigma Aldrich), metanol p.a (Supelco), asam asetat p.a (Supelco), asam klorida p.a (Supelco), natrium hidroksida (Supelco), gas nitrogen (PT SII (Surya Indotim Imex)), kertas Whatman no.42, *aluminium foil*, tisu, *plastic wrap* dan akuades.

### 2.2 Alat Penelitian

Desikator, labu semprot, *shaker*, *water bath*, sonikator, oven (SPNI 505 FD), botol, micropipet (10-100  $\mu\text{L}$  dan 100-1000 $\mu\text{L}$ ), cawan petri, neraca analitik (Ohaus), pipet tetes, statif, klem, *bulb*, batang pengaduk, spatula, serangkaian alat gelas kaca, spektrofotometer *Ultra Violet Visible* (UV-Vis) (Shimadzu UV-2600), spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Shimadzu, IR Prestige 21), *Surface Area Analyzer* (SAA) (Altamira, Miceo200), Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) (JOEL, JSM-6510 LA).

### 2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus-November 2024 di Laboratorium Kimia Fisika, Laboratorium Kimia Terpadu, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

### 2.4 Prosedur Penelitian

#### 2.4.1 Sintesis MIP dan NIP (Xue et al., 2022 ; Hashemi et al., 2018)

*Molecular Imprinted Polymer* (MIP) disintesis dengan menggunakan metode polimerisasi presipitasi sebagai berikut: 0,1711 g ARS (0,5 mmol) sebagai molekul target (templet), 0,1702 g MAM (2 mmol) sebagai monomer fungsional, dan 6,4900 mL TRIM (20 mmol) sebagai pengikat silang dilarutkan dalam 5 mL metanol di dalam labu alas bulat 50 mL dan didiamkan selama 5 menit. Campuran kemudian disonikasi selama 10 menit kemudian dialiri gas nitrogen selama 10 menit, dan ditambahkan 1 mL AIBN (1 mmol) sebagai inisiator. Campuran kemudian disonikasi kembali selama 10 menit dan dialiri kembali dengan gas nitrogen selama 5 menit. Setelah proses pembersihan dengan gas nitrogen, campuran ditutup rapat dengan aluminium foil dan dipolimerisasi selama 24 jam dalam *water bath* pada suhu tertentu. Produk kemudian diambil dan dipanaskan dalam oven selama 10 menit pada suhu 50°C. Padatan dicuci dengan menggunakan akuades dan dihilangkan reagen yang tidak bereaksi. Polimer yang telah dicuci kemudian dikeringkan di suhu kamar untuk menghasilkan polimer  $\text{PS}_{\text{MAM-co-TRIM}}(\text{BE})$ . Selanjutnya, polimer diekstraksi untuk analisis. Analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Analisis dari polimer tersebut melalui pencucian dengan asam asetat 2 M dan diendapkan dengan metanol. Pencucian diulangi dengan menggunakan metanol



yang mengandung 10% (v/v) asam asetat sampai padatan dan cairan tidak berwarna. Padatan tersebut akhirnya dicuci dengan metanol sebanyak tiga kali dan dikeringkan dalam desikator. Polimer yang didapatkan diberi nama MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub>. *Non Inprinted Polymers* (NIP) disintesis dengan prosedur yang sama seperti MIP, namun tanpa menggunakan molekul cetakan. Polimer yang dihasilkan kemudian diberi nama NIP\_MAM-co-TRIM.

#### 2.4.2 Karakterisasi MIP dan NIP

Karakterisasi MIP dan NIP yang dihasilkan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan instrumen SEM-EDS, FTIR, dan SAA.

##### 2.4.2.1 Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan SEM-EDS

Material MIP dan NIP yang telah dipreparasi dengan cara dipotong dan dilapisi dengan lapisan konduktor, kemudian morfologi permukaannya dan distribusi atomnya ditentukan dengan menggunakan instrumen SEM-EDS.

##### 2.4.2.2 Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan FTIR

Material MIP dan NIP dipreparasi dengan mencampurkan masing-masing polimer dan bubuk KBr dengan perbandingan 1:10 hingga merata. Kemudian, campuran tersebut ditempatkan di dalam cetakan pelet kemudian ditekan dengan alat mekanik selama beberapa menit. Pelet kemudian dimasukkan ke dalam plat KBr kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Instrumen dijalankan pada bilangan gelombang 4000-340  $\text{cm}^{-1}$  menggunakan resolusi 4 dan jumlah *scan* 300 detik.

##### 2.4.2.3 Karakterisasi MIP Menggunakan SAA

Material MIP yang telah diekstraksi dipreparasi dengan menghilangkan gas-gas yang terperangkap pada permukaannya (*degassing*). Selanjutnya, sampel tersebut dianalisis luas permukaan, volume pori, dan distribusi ukuran pori menggunakan instrumen SAA.

#### 2.4.3 Pembuatan Larutan Standar ARS (Al-Salihi dan Alfatlawi, 2021)

Zat warna ARS ditimbang sebanyak 0,1 g dan dilarutkan dengan sedikit akuades. Selanjutnya larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL diencerkan hingga tanda batas, sehingga didapatkan larutan induk 1000 mg/L. Larutan kemudian dipipet sebanyak 0,1 mL dan diencerkan ke labu 100 mL sehingga didapatkan larutan dengan konsentrasi 100 mg/L.



##### panjang Gelombang Maksimum ARS (Al-Salihi dan Alfatlawi,

akan dengan membuat variasi konsentrasi 2, 4, 8, 16 dan larutan standar diukur absorbansinya dengan menggunakan

spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 450-550 mg/L sehingga didapatkan panjang gelombang maksimum dari ARS.

#### 2.4.5 Uji Kemampuan Adsorpsi Polimer MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> & NIP\_ARS\_MAM-co-TRIM (Khapre dan Jugade, 2020; Nodehi et al., 2022)

Material MIP dan NIP masing-masing dimasukkan ke dalam botol vial sebanyak 0,3 g dan ditambahkan 10 mL larutan ARS 50 mg/L ditambahkan ke dalam setiap botol vial. Campuran kemudian diaduk dengan menggunakan alat *shaker* selama 60 menit pada suhu ruang. Campuran kemudian disaring dan konsentrasi ARS dalam filtrat diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (512 nm).

##### 2.4.5.1 Pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan adsorpsi MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> (Tagyan et al., 2023)

Larutan standar ARS 10 mg/L dan MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> 0,3 g dimasukkan ke dalam 7 botol vial. Selanjutnya campuran diaduk menggunakan alat shaker dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90, 120, 150, 180, dan 200 menit pada suhu ruang. Campuran kemudian disaring, konsentrasi ARS dalam filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (512 nm).

##### 2.4.5.2 Pengaruh konsentrasi terhadap kemampuan adsorpsi MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> (Nodehi et al., 2022)

Larutan standar ARS 10 mg/L dan MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> 0,3 g dimasukkan ke dalam 5 botol vial. Selanjutnya campuran diaduk menggunakan alat shaker dengan variasi konsentrasi 50, 100, 200, 300, dan 400 mg/L pada waktu optimum pada kondisi pH netral, asam dan basa. pH larutan diatur menggunakan asam klorida 0,1 M dan natrium hidroksida 0,1 M dan diukur menggunakan pH meter. Campuran disaring dan konsentrasi ARS dalam filtrat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (512 nm).

#### 2.4.6 Penentuan kinetika adsorpsi MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> (Liu et al., 2021; Qodim, 2022)

Kinetika adsorpsi dapat ditentukan dari data pengaruh waktu terhadap jumlah ARS yang diadsorpsi dengan menggunakan persamaan orde satu semu dan persamaan orde dua semu. Persamaan orde satu semu dapat dilihat pada persamaan (1) dan persamaan orde dua semu dapat dilihat pada persamaan (2)



$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (1)$$

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2)$$

Keterangan:

- $q_t$  = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)  
 $q_e$  = Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)  
 $k_1$  = Konstanta orde satu semu (menit<sup>-1</sup>)  
 $k_2$  = Konstanta orde dua semu (menit<sup>-1</sup>)  
 $t$  = waktu kontak (menit)

#### 2.4.7 Penentuan kapasitas adsorpsi MIP\_ARS\_MAM-co-TRIM<sub>(TE)</sub> (Liu et al., 2021; Yang et al., 2018; Miri dan Narimo, 2022)

Kapasitas adsorpsi dapat dianalisis dari data pengaruh konsentrasi dengan menggunakan persamaan isotermal adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Persamaan isotermal adsorpsi Freundlich dan Langmuir dapat dilihat pada persamaan (3) dan (4).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (4)$$

Keterangan:

- $C_e$  = Konsentrasi saat setimbang dalam larutan (mg/L)  
 $q_m$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)  
 $q_e$  = Jumlah zat teradsorpsi saat kesetimbangan (mg/g)  
 $K_L$  = Kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg)  
 $K_F$  = Kapasitas adsorpsi Freundlich (mg/g)  
 $1/n$  = Faktor heterogenitas

