

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembang pesatnya ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia, juga diiringi dengan meningkatnya berbagai aktivitas industri. Salah satu sektor industri yang mengalami peningkatan secara signifikan tiap tahunnya yaitu industri tekstil. Kegiatan pertekstilan secara sederhana telah dikenal sejak lama oleh masyarakat Indonesia dalam bentuk kreativitas seni-budaya melalui berbagai kerajinan seperti batik dan hanya untuk keperluan terbatas. Industri tekstil dalam perkembangannya sekarang sudah meluas dan dijadikan sebagai sumber mata pencaharian yang menyebar ke berbagai wilayah nusantara. Industri tekstil memberikan kontribusi penting bagi perekonomian nasional karena perannya dalam memperoleh devisa ekspor, menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang besar dan memenuhi kebutuhan pasar domestik (KEMENPERIN, 2021).

Peningkatan industri tekstil tidak luput dari dampak negatif berupa limbah. Masalah yang paling serius dari limbah industri tekstil yaitu limbah cair zat warna karena sebagian besar zat warna yang dibuat mempunyai sifat resistensi terhadap lingkungan seperti efek pH, suhu dan mikroba sehingga tidak mudah terdegradasi (Maghfiroh et al., 2016). Limbah industri tekstil mengandung zat warna dengan kadar sekitar 20–30 mg/L sehingga sukar terurai secara alami yang menyebabkan terganggunya ekosistem dalam air. Zat warna yang dikandung limbah industri tekstil juga dapat mengganggu kesehatan, misalnya iritasi kulit dan iritasi mata hingga menyebabkan kanker dan dapat menyebabkan terjadinya mutasi gen (Rizki et al., 2019).

Salah satu jenis zat warna yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah remazol karena memiliki sifat yang mudah larut dalam air dan tidak terdegradasi pada kondisi aerob biasa, zat warna ini merupakan senyawa golongan azo yang memiliki ikatan $-N=N-$ (Bawa et al., 2023). Zat warna remazol dengan penggunaan dominan yaitu *remazol yellow FG*, dengan penggunaan lebih dari 27,2% dalam industri tekstil. *Remazol yellow FG* memiliki struktur kompleks, bersifat stabil, dan terdapat gugus kromofor yang sangat mudah memberikan warna-warna yang cerah dan tahan uji (Rakhmawati, 2007). Keberadaan *remazol yellow FG* di lingkungan dapat mengalami fotodegradasi secara alami dengan bantuan sinar UV yang berasal dari cahaya matahari, akan tetapi proses fotodegradasi tersebut berjalan relatif lambat disebabkan karena intensitas sinar UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah. Sehingga menyebabkan lebih cepatnya akumulasi *remazol yellow FG* di dasar perairan atau tanah (Maghfiroh et al., 2016).

Beberapa metode yang telah dikembangkan untuk menghilangkan zat warna yang terlarut dalam air, misalnya filtrasi membran, adsorpsi, koagulasi, pengendapan, elektrolisis, oksidasi kimiawi dan pertukaran ion (Rizki et al., 2019). Metode yang dinilai lebih efektif ialah metode adsorpsi dikarenakan metode adsorpsi lebih sederhana dan ramah lingkungan. Penggunaan jenis media penjerap (adsorben) menjadi hal yang harus diperhatikan dalam proses adsorpsi sehingga, dalam pemilihan adsorben memerlukan berbagai pertimbangan seperti harga bahan baku, karakteristik hingga

daya penjerapnya. Salah satu adsorben yang terus dikembangkan adalah material hidroksiapatit (Amalia et al., 2021). Hidroksiapatit adalah senyawa yang memiliki rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dengan struktur heksagonal dan berbentuk padatan berwarna putih. Hidroksiapatit berpotensi sebagai bahan adsorben dalam jangka panjang karena memiliki kapasitas penjerapan yang tinggi dengan biaya yang rendah, memiliki pori, inert, dan tahan aus. Keunggulan adsorben berbahan baku tulang sapi dibandingkan adsorben yang lain adalah mudah didapat, harganya sangat murah, cukup melimpah jumlahnya karena dapat diperbaharui (*renewable*), tidak toksik (tergolong biomaterial), serta ramah lingkungan atau *biodegradable* (Negara dan Simpen, 2018).

Hidroksiapatit dapat diperoleh dengan memanfaatkan sumber kalsium alami secara sintesis. Sumber kalsium alami yang dapat digunakan pada sintesis hidroksiapatit diantaranya batu kapur, cangkang kepiting, dan tulang sapi. Hidroksiapatit yang digunakan pada penelitian ini disintesis dari tulang sapi. Komposisi anorganik tulang sapi terdiri atas 93% hidroksiapatit dan 7% β -trikalsium fosfat. Selama ini, tulang sapi hanya dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan dan tepung tulang sehingga pemanfaatan tulang sapi sebagai material adsorben diharapkan mampu meningkatkan fungsi dan nilai ekonomis dari tulang sapi. Hasil analisis pendahuluan menggunakan instrument FT-IR untuk tulang sapi yang dihasilkan dari kalsinasi terdapat gugus fungsi $-\text{OH}^-$, PO_4^{3-} , dan CO_3^{2-} . Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan tulang sapi sebagai sumber hidroksiapatit (Afifah dan Cahyaningrum, 2020; Ooi et al., 2017).

Salah satu hewan yang banyak ditanakkan di Indonesia adalah hewan ternak sapi dan pada tahun 2022 jumlah pemotongannya adalah 18.610.148 (BPS, 2023). Besarnya jumlah sapi yang dipotong akan meningkatkan jumlah limbah tulang sapi yang dihasilkan. Sampah biologi tulang sapi dengan ketersediaan yang cukup besar harus dimanfaatkan secara efisien dan ekonomis untuk mencegah pencemaran lingkungan dan berbagai masalah kesehatan terhadap manusia. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan berbagai penelitian untuk mengetahui alternatif pengolahan limbah tulang sapi (Ikhsan et al., 2018). Tulang sapi mengandung komposisi mineral berupa unsur kalsium dan fosfor. Kalsium yang terkandung dalam tulang sapi adalah sebesar 7,07% dalam bentuk senyawa CaCO_3 , 1,96% dalam bentuk senyawa CaF_2 , fosfor sebanyak 2,09% dalam bentuk senyawa $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$, dan 58,30% dalam bentuk senyawa $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Kelebihan bahan tulang sapi sebagai sumber hidroksiapatit dibandingkan dengan sumber yang lainnya yaitu kandungan kalsium dan fosfor pada tulang sapi yang lebih tinggi sehingga dalam proses sintesis hidroksiapatit sudah tidak dilakukan penambahan bahan kimia. Pembuatan hidroksiapatit dari tulang sapi hanya melalui proses kalsinasi tanpa penggunaan peralatan yang lebih kompleks sehingga mudah diakses dalam skala industri (Yuliana et al., 2017).

Metode yang digunakan untuk sintesis hidroksiapatit cukup beragam. Selama 10 tahun terakhir, terdapat 11 metode yang sering digunakan yaitu kalsinasi, *solid-state*, *Mechanochemical*, pengendapan, hidrolisis, sol-gel, hidrotermal, pirolisis, *sonochemical* dan kombinasi (Windarti et al., 2023; Montero et al., 2006). Sintesis hidroksiapatit tulang sapi pada penelitian ini menggunakan metode kalsinasi. Metode kalsinasi yang digunakan dapat menghilangkan senyawa organik dan air dalam tulang sapi pada suhu tinggi sehingga dihasilkan hidroksiapatit dengan kemurnian yang tinggi dan juga dapat meningkatkan rendemen hidroksiapatit yang dihasilkan (Wathi et al., 2014). Kekurangan menggunakan metode kalsinasi untuk memperoleh hidroksiapatit

dari tulang sapi sebagai adsorben adalah proses sintesisnya yang menggunakan suhu tinggi. Material hidroksiapatit yang dihasilkan dengan proses ini memiliki kristalinitas lebih tinggi, penyusutan pori dan mengalami agglomerasi. Kondisi kristalinitas yang tinggi menyebabkan ukuran partikel lebih besar dan luas permukaan lebih kecil sehingga menurunkan kemampuan adsorbsinya (Wunta et al., 2020).

Penelitian lain menyebutkan bahwa dengan suhu kalsinasi yang tinggi, dapat menghasilkan hidroksiapatit yang lebih murni. Tulang sapi dikalsinasi pada suhu 900 °C selama 6 jam, hal tersebut karena suhu dan waktu optimum dalam sintesis hidroksiapatit tulang sapi, sehingga pengurangan suhu dapat menyebabkan penurunan kemurnian hidroksiapatit. Cara yang dapat dilakukan untuk memperoleh hidroksiapatit dengan kemurnian yang tinggi dan kristalinitas yang rendah adalah dengan mengurangi lama waktu kalsinasi dengan menghilangkan lemak, protein dan gelatin pada sampel melalui proses perendaman menggunakan larutan basa sebelum proses kalsinasi (Afifah dan Cahyaningrum, 2020; Rachmantio, 2023). Lama waktu perendaman juga menjadi sasaran pada penelitian ini, dimana lama waktu perendaman tulang sebelum kalsinasi cukup bervariasi dengan waktu yang lama, sehingga pada penelitian ini dilakukan dua variasi perlakuan perendaman yaitu perendaman pada suhu ruang dan perendaman dengan menggunakan *autoclave*. Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang telah menggunakan *autoclave* untuk menghilangkan sebagian senyawa organik pada tulang sapi, tetapi setelah perendaman tidak dilanjutkan dengan proses kalsinasi (Anisah et al., 2018).

Penelitian mengenai HAp sebagai adsorben terus meningkat dan telah banyak digunakan sebagai adsorben limbah cair zat warna. Oleh sebab itu pada penelitian ini, material hidroksiapatit disintesis dari tulang sapi dengan metode kalsinasi yang dimodifikasi dengan variasi proses perendaman. Material hidroksiapatit kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kemurnian dan persen kristalinitas. Setelah didapatkan hasil yang maksimal hidroksiapatit terbaik dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional dan *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mengetahui luas permukaan serta diaplikasikan sebagai adsorben pada larutan contoh zat warna *remazol yellow FG*. Proses adsorpsi meliputi variasi massa adsorben, penentuan waktu optimum adsorpsi, serta jenis model isothermal adsorpsi untuk mengetahui kapasitas adsorpsi hidroksiapatit pada zat warna *remazol yellow FG*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh variasi perlakuan pada waktu perendaman dan variasi konsentrasi larutan perendam pada lama waktu kalsinasi terhadap kemurnian dan kristalinitas hidroksiapatit pada tulang sapi?
2. berapa waktu kontak optimum pada adsorpsi zat warna *remazol yellow FG* oleh hidroksiapatit?
3. berapa massa optimum adsorben pada adsorpsi zat warna *remazol yellow FG* oleh hidroksiapatit?
4. isothermal apakah yang berlaku pada adsorpsi zat warna *remazol yellow FG* oleh hidroksiapatit?

5. berapakah kapasitas adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit?
6. gugus apa yang berperan dalam proses adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi perlakuan perendaman terhadap waktu perendaman dan variasi konsentrasi larutan perendam terhadap waktu kalsinasi hidroksiapatit dari tulang sapi. Hidroksiapatit selanjutnya diaplikasikan sebagai adsorben zat warna *remazol yellow* FG.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah:

- 1 menganalisis pengaruh variasi perlakuan pada waktu perendaman dan variasi konsentrasi larutan perendam pada lama waktu kalsinasi terhadap kemurnian dan kristalinitas hidroksiapatit pada tulang sapi.
- 2 menentukan waktu kontak optimum adsorben pada adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit.
- 3 menentukan massa optimum adsorben pada adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit.
- 4 menentukan isothermal apakah yang berlaku pada adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit.
- 5 menentukan kapasitas adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit.
- 6 menganalisis gugus apa yang berperan dalam proses adsorpsi zat warna *remazol yellow* FG oleh hidroksiapatit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. manfaat ilmiah ialah hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi para pembaca dan peneliti terkait dengan biomaterial hidroksiapatit sebagai adsorben zat warna *remazol yellow* FG.
2. manfaat bagi masyarakat yaitu diharapkan dapat meningkatkan wawasan dan pengetahuan tentang pemanfaatan limbah tulang sapi dan solusi dalam pencemaran perairan khususnya limbah cair zat warna *remazol yellow* FG.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulang sapi, akuades, NaOH teknis, zat warna *remazol yellow* FG, kertas saring whatman 42, kertas saring biasa, plastik tahan panas, aluminium foil, kertas pH universal dan *plastic warp*.

2.2 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat gelas yang umum digunakan dalam laboratorium, gerinda, neraca digital, neraca analitik (Ohaus), *autoclave*, batang pengaduk, penyaring Buchner, dan pompa vakum (ABM tipe 4EK F6 3CX-4), cawan petri, oven (spinsofd), cawan porselin, tanur, desikator, mortar dan alu, ayakan 100 mesh, botol sampel, *shaker*, spektrofotometer FTIR Prestige-21 (Shimadzu), spektrometer UV-Vis (Spektronik 20 D⁺), difraktometer sinar-X (Rigaku), dan *Surface Area Analyzer* (SAA).

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan Mei hingga Oktober 2024 di Laboratorium Kimia Fisika Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Biokimia Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium kimia Terpadu Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, dan Laboratorium Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi dan Pengaruh Variasi Perlakuan Perendaman Tulang Sapi Terhadap Waktu Perendaman

Tulang sapi dibersihkan dari kotoran dan daging yang masih menempel, kemudian dipotong kecil-kecil untuk memperluas daerah kontak tulang dengan larutan perendam dan dicuci dengan air, lalu direbus selama 6 jam untuk menghilangkan lemak yang masih menempel pada permukaan tulang. Tulang sapi tersebut dicuci kembali dengan akuades, dikeringkan di bawah sinar matahari dan ditimbang sebanyak 50 gram, lalu direndam dengan larutan NaOH 4% untuk menghilangkan lemak dan protein yang masih ada pada bagian dalam tulang sapi. Proses perendaman menggunakan dua perlakuan yaitu perendaman dengan menggunakan *autoclave* pada suhu 115-121 °C dan tekanan 0,68-1,021 atm selama 3 jam dan perendaman pada suhu ruang selama 12 jam. Tulang sapi yang telah direndam kemudian dibilas dengan akuades dan dicuci hingga pH 7 (netral). Tulang sapi yang telah dinetralisasi selanjutnya dijemur dibawah sinar matahari serta dikeringkan. Tulang sapi yang sudah kering ditimbang massanya hingga berat konstan dan dihitung persentase bobot tulang yang berkurang menggunakan rumus (1):

$$\% \text{Bobot berkurang} = \left\{ \frac{(\text{Bobot sebelum perendaman} - \text{Bobot setelah perendaman})}{\text{Bobot sebelum perendaman}} \times 100\% \right\} \quad (1)$$

hasil perendaman dengan persentase bobot berkurang yang tinggi digunakan untuk prosedur selanjutnya (Afifah dan Cahyaningrum, 2020; Anisah et al., 2018).

2.4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Perendam NaOH terhadap Waktu Kalsinasi

Tulang sapi hasil pencucian akuades yang telah kering, ditimbang sebanyak 50 gram lalu direndam menggunakan larutan NaOH (4, 7, 10%) dengan perlakuan perendaman yang paling baik. Setelah direndam, tulang sapi dinetralisasi hingga pH 7 melalui pencucian menggunakan akuades setelah itu dikeringkan. Tulang sapi yang telah kering ditimbang sebanyak 20 gram kemudian dikalsinasi pada suhu 900 °C. Tulang sapi dengan variasi konsentrasi larutan perendam NaOH 4, 7 dan 10% berturut-turut dikalsinasi selama 6, 5, dan 4 jam. Hasil kalsinasi selanjutnya didinginkan dan ditimbang hingga berat konstan. Senyawa hidroksiapatit yang dihasilkan setelah proses kalsinasi selanjutnya dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa hidroksiapatit yang lebih murni dari proses perendaman yang berbeda-beda dengan kristalinitas yang lebih rendah. Setelah itu dilakukan kembali proses kalsinasi tulang sapi dari proses perendaman yang menghasilkan senyawa hidroksiapatit lebih murni sebanyak 150 gram, namun setelah dihaluskan hidroksiapatit hasil kalsinasi diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan disimpan dalam wadah tertutup. Hasil yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional dan *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mengetahui luas permukaan (Afifah dan Cahyaningrum, 2020).

2.4.2 Karakterisasi Hidroksiapatit

Material hidroksiapatit dikarakterisasi dengan XRD. HAp ditimbang sebanyak 2 gram, kemudian dimasukkan ke dalam *holder*. Diatur Panjang gelombang difraktometer dan diatur sudutnya. XRD sampel HAp diukur pada suhu kamar dengan instrumen Bruker AXS yang dilengkapi dengan radiasi Cu K α ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) yang beroperasi pada 40 kV dan 40 mA antara 2θ dalam kisaran 0,5 dan 10 derajat dengan kecepatan scan 0.02°s^{-1} . Hasil analisis yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk dibandingkan dengan kartu ICDD (*International Center for Diffraction Data*) (Muttaqin et al., 2023).

Material hidroksiapatit selanjutnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). Sampel digerus bersama dengan KBr dalam mortar dengan menggunakan perbandingan massa 1:10. Hasil gerusan dimasukkan ke dalam tempat khusus yang berbentuk bulat kemudian divakumkan untuk melepaskan air. Campuran dipres beberapa saat (10 menit) pada tekanan 72 Torr (8 hingga 20 ton per satuan luas) untuk menghasilkan bulatan tipis. Spektra IR diperoleh dari pengukuran pada rentang bilangan gelombang 4500-350 cm^{-1} , resolusi 4 cm^{-1} dan jumlah scan 300 (Stuart, 2004; Nandiyanto et al., 2019). Analisis material hidroksiapatit yang terakhir yaitu penentuan luas permukaan dengan metode BET (Brunauer-Emmet-Teller) menggunakan alat SAA. Pengujian dilakukan

dengan adsorpsi gas N_2 ke dalam sampel pada suhu 77,35 K dan rentang tekanan relatif (p/p_0) 0,0001-1 (Kamieniak et al., 2018).

2.4.3 Pembuatan Larutan Induk *Remazol Yellow FG* 1000 mg/L

Sebanyak 1 gram *remazol yellow FG* ditimbang, kemudian diencerkan menggunakan akuades ke dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.4 Pembuatan Larutan Baku *Remazol Yellow FG* 100 mg/L

Larutan induk *remazol yellow FG* 1000 mg/L dipipet sebanyak 100 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Tepatkan dengan akuades sampai tanda batas dan homogenkan.

2.4.5 Pembuatan Larutan Baku *Remazol Yellow FG* 50 mg/L

Larutan baku *remazol yellow FG* 100 mg/L dipipet sebanyak 50 mL kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.6 Pembuatan Deret Standar 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L

Larutan baku *remazol yellow FG* 50 mg/L dipipet sebanyak 2, 4, 6, 8 dan 10 mL ke dalam masing-masing labu ukur 50 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.7 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna *Remazol Yellow FG*.

Larutan zat warna RYFG (*Remazol Yellow FG*) dengan konsentrasi 6 mg/L diukur absorbansinya dengan spektrofotometer 20 D⁺ pada panjang gelombang 350-450 nm sehingga panjang gelombang maksimum diperoleh. Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang dengan nilai absorbansi maksimum. Selanjutnya larutan deret standar RYFG diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer 20 D⁺. Blanko yang digunakan adalah akuades, karena dalam proses pelarutan RYFG, pelarut yang digunakan adalah akuades.

2.4.8 Penentuan Waktu Optimum

Serbuk hidroksiapatit ditimbang sebanyak 0,2 gram kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan 50 mL larutan RYFG (*remazol yellow FG*) 10 mg/L. Campuran diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 170 rpm selama 5 menit lalu disaring, sebelum pengadukan Erlenmeyer ditutup dengan menggunakan *plastic wrap*. Campuran tersebut disaring menggunakan corong dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat yang diperoleh kemudian diukur absorbansinya dengan instrument spektrofotometer 20 D⁺. Percobaan diulangi dengan variasi waktu pengadukan berturut-turut 10, 30, 60, 90 dan 120 menit. Setiap percobaan dilakukan dua kali pengulangan.

Banyaknya konsentrasi zat warna RYFG yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben (serbuk hidroksiapatit) ditentukan melalui persamaan (2).

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{W} \times V \quad (2)$$

Dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_o yaitu konsentrasi awal zat warna (mg/L), C_e merupakan konsentrasi akhir zat warna (mg/L), W adalah massa dari adsorben (g) dan V merupakan volume larutan zat warna (L), untuk menentukan konsentrasi akhir zat warna maka digunakan kurva standar zat warna. Waktu optimum adalah waktu dimana diperoleh q_e terbesar (Bawa et al., 2023).

2.4.9 Penentuan Pengaruh Massa Adsorben

Serbuk hidroksiapatit ditimbang sebanyak 0,1 gram kemudian dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan 50 mL larutan RYFG (*remazol yellow FG*) 10 mg/L. Campuran diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 170 rpm selama waktu optimum lalu disaring, sebelum pengadukan Erlenmeyer ditutup dengan menggunakan *plastic wrap*. Campuran tersebut disaring menggunakan corong dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat yang diperoleh kemudian diukur absorbansinya dengan instrumen spektrofotometer 20 D⁺. Percobaan diulangi dengan variasi massa adsorben berturut-turut 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 gram. Setiap percobaan dilakukan dua kali pengulangan. Banyaknya konsentrasi zat warna RYFG yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben (serbuk hidroksiapatit) ditentukan melalui persamaan (2).

2.4.10 Penentuan Kapasitas dan Isotermal Adsorpsi

Larutan RYFG (*remazol yellow FG*) dengan variasi konsentrasi (10, 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L) yang telah disediakan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan masing-masing serbuk hidroksiapatit sebanyak massa adsorben yang optimum. Campuran diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan 170 rpm selama waktu optimum lalu disaring, sebelum pengadukan Erlenmeyer ditutup dengan menggunakan *plastic wrap*. Campuran tersebut disaring menggunakan corong dengan kertas saring Whatman 42. Filtrat yang diperoleh kemudian diukur absorbansinya dengan instrumen spektrofotometer 20 D⁺. Setiap percobaan dilakukan dua kali pengulangan.

Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dari persamaan Freundlich yaitu (3):

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

atau dengan menggunakan persamaan Langmuir yaitu (4):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (4)$$

Data yang diperoleh kemudian diplotkan dengan $\log q_e$ sebagai sumbu y, $\log C_e$ sebagai sumbu x untuk persamaan Freundlich dan C_e/q_e sebagai sumbu y dan C_e sebagai sumbu x untuk persamaan Langmuir. Grafik yang dihasilkan merupakan garis linier dimana *Intercept* pada persamaan Freundlich menghasilkan nilai k (kapasitas adsorpsi) dan kemiringan persamaan Langmuir memberikan nilai Q_o yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi (Wuntu et al., 2020;).

Keterangan:

C_e = konsentrasi keseimbangan larutan (mg/L)

k = kapasitas adsorpsi (mg/g)

n = intensitas adsorpsi (L/g)

q_e = jumlah zat warna yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g)

Q_o = kapasitas adsorpsi (mg/g)

b = intensitas adsorpsi (L/mg)

2.4.11 Analisis FTIR Adsorben Sebelum dan Sesudah Adsorpsi

Adsorben hidroksiapatit sebelum dan setelah adsorpsi larutan zat warna RYFG pada konsentrasi dengan kapasitas adsorpsi tertinggi dikeringkan lalu dianalisis dengan FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*). Sampel digerus bersama dengan KBr dalam mortar dengan menggunakan perbandingan massa 1:10. Hasil gerusan dimasukkan ke dalam tempat khusus yang berbentuk bulat kemudian divakumkan untuk melepaskan air. Campuran dipres beberapa saat (10 menit) pada tekanan 72 Torr (8 hingga 20 ton per satuan luas) untuk menghasilkan bulatan tipis. Spektra IR diperoleh dari pengukuran pada rentang bilangan gelombang $4500\text{--}350\text{ cm}^{-1}$, resolusi 4 cm^{-1} dan jumlah scan 300. Hasil FTIR selanjutnya dilakukan analisis pergeseran bilangan gelombang untuk mengetahui gugus fungsi pada adsorben hidroksiapatit yang dapat berinteraksi dengan adsorbat zat warna *remazol yellow FG* (Handayani et al., 2011).