

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

2.1.1 Definisi Limbah

Sisa atau hasil usaha manusia untuk memenuhi kebutuhan dasar disebut limbah. Limbah terdiri dari barang-barang yang tersisa setelah suatu kegiatan atau proses industri tertentu berubah fungsinya, kecuali jika barang-barang tersebut dapat digunakan kembali oleh manusia. Limbah juga dapat diartikan sebagai sisa-sisa kegiatan atau perusahaan yang mengandung zat beracun atau berbahaya yang, karena jenis, konsentrasi, dan jumlahnya, dapat secara langsung maupun tidak langsung membahayakan kesehatan manusia, lingkungan, atau keberadaan makhluk hidup (Umroningsih et al., 2022).

2.1.2 Limbah Sablon

Limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh proses pencetakan gambar, pembuatan film, dan penggunaan pelat pengolahan yang mengandung pewarna buatan disebut sebagai sampah sablon (Atmono, et al. 2017). Karena pewarna sintesis tertentu mengandung kontaminan berbahaya seperti logam berat, penggunaan pewarna sintesis dalam proses pewarnaan telah mengakibatkan sejumlah masalah lingkungan. Beberapa logam berat tersebut antara lain Co, Ni, Cu, Cr, dan Hg. Lingkungan, terutama ekosistem perairan, tercemar ketika kontaminan ini akhirnya terlepas ke perairan umum.

2.1.3 Limbah Kromium (Cr)

Industri yang menggunakan logam kromium menghasilkan sampah dalam kehidupan sehari-hari yang beracun dan berbahaya bagi lingkungan. Industri yang menghasilkan limbah kromium antara lain penyamakan kulit, pelapisan logam, cat, pewarnaan, dan tekstil (Aynuddin, 2022).

1. Keracunan dan Dampak Kontaminasi Kromium (Cr)

Karena senyawa kromium murni tidak ditemukan di alam, keberadaan kromium dalam limbah cair merupakan indikasi kontaminasi industri. Konsentrasi senyawa kromium yang tinggi dapat menyebabkan keracunan akut, yang bermanifestasi sebagai kehilangan kesadaran, mual, ketidaknyamanan perut, dan

penurunan produksi urine, kontak dengan kulit dapat menyebabkan kanker dan dermatitis (Asmadi, et al. 2009).

2. Baku Mutu Logam Kromium (Cr)

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan undang-undang untuk mengurangi polusi yang disebabkan oleh logam kromium dari berbagai industri dan menetapkan standar kualitas untuk limbah logam kromium yang dapat dibuang ke lingkungan dalam upaya untuk melindungi lingkungan dan mendorong pembangunan berkelanjutan. Selain itu PP RI No. 18 tahun 1999 mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, mengatur baku mutu logam Cr pada angka 0,25 mg/l, ada juga Permen Negara Lingkungan Hidup No. 03 tahun 2010 mengenai Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri, yang menentukan bahwa batas maksimal logam Cr untuk dibuang ke badan air adalah 1 mg/L.

2.2 Adsorpsi

2.2.1 Definisi Adsorpsi

Dalam proses pemisahan material dari campuran gas atau cairan, adsorpsi terjadi ketika material yang akan dipisahkan tertarik dan tertahan di tempatnya oleh gaya yang bekerja pada permukaan sorben padat. Zat yang menyerap disebut adsorben, dan material yang akan diserap disebut adsorbat atau zat terlarut (Wibowo, 2017). Adsorpsi biasanya terjadi ketika logam berikatan dengan gugus fungsi pada permukaan adsorben melalui pembentukan kompleks atau interaksi pertukaran ion (Zaini, et al. 2016).

2.2.2 Jenis Adsorpsi

Menurut Abdurrahman (2016), terdapat dua proses adsorpsi, berupa:

1. Adsorpsi Fisika

Ketika partikel yang terfisisorpsi memiliki besaran yang serupa dengan entalpi kondensasi, energi yang dilepaskan cukup besar. Adsorpsi ini mencakup interaksi Van der Waals antara adsorbat dan substrat, yang dicirikan oleh gaya lemah jarak jauh. Meskipun terdapat kemungkinan deformasi, molekul yang terfisisorpsi mempertahankan identitasnya karena entalpi yang kecil ini tidak cukup untuk memutuskan ikatan. Adsorpsi fisika biasanya terjadi pada suhu rendah, dan kuantitas adsorpsi berkurang secara signifikan seiring dengan kenaikan suhu.

Kurang dari $20,92 \text{ kJ.mol}^{-1}$ adalah panas rendah adsorpsi yang terkait dengan adsorpsi fisika.

2. Adsorpsi Kimia

Partikel dalam situasi ini menempel pada permukaan dengan menciptakan ikatan kimia kovalen dan cenderung mencari lokasi yang mengoptimalkan bilangan koordinasinya dengan substrat. Kebutuhan valensi atom permukaan dapat menyebabkan molekul yang teradsorpsi terpisah, sehingga terjadi kemisorpsi. Molekul yang teradsorpsi pada permukaan dalam adsorpsi kimia mengalami proses kimia, dan karena putusannya ikatan, panas adsorpsi berada dalam rentang yang sama dengan reaksi kimia, yaitu lebih dari $20,92 \text{ kJ.mol}^{-1}$.

2.2.3 Kelebihan dan Kekurangan Adsorpsi

Salah satu teknik pengolahan air limbah yang paling populer adalah adsorpsi. Teknik ini memiliki beberapa keunggulan, antara lain keterjangkauan, kemudahan penggunaan, adaptabilitas, dan efisiensi (Maliki, 2023). Namun, metode adsorpsi memiliki kekurangan, antara lain perlunya prosedur regenerasi atau pencucian setelah penggunaan adsorben, serta inefisiensinya dalam menghilangkan parameter polutan dalam kondisi limbah alkali, yang dapat mengakibatkan terbentuknya garam yang menghambat proses pengolahan (Kuncoro & Eddy, 2022). Menurut Rizkamala (2011), adanya sejumlah faktor yang memengaruhi proses adsorpsi, berupa:

1. Konsentrasi logam

Konsentrasi logam memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan adsorben dalam menyerap logam. Banyak situs aktif dengan luas permukaan yang besar dapat ditemukan pada permukaan adsorben, dalam contoh ini adsorben biomassa. Dengan demikian, penyerapan akan meningkat secara linear hingga

2. Luas permukaan adsorben

Frekuensi tumbukan antara partikel adsorben dan adsorbat memengaruhi proses adsorpsi. Semakin besar luas permukaan, semakin besar pula tumbukan efektif antara partikel-partikel ini. Akibatnya, adsorben dengan luas permukaan yang lebih tinggi menghasilkan penyerapan yang lebih seragam.

3. Tumbukan antar partikel

Frekuensi tumbukan partikel adsorbat dan adsorben memengaruhi proses adsorpsi. Peningkatan suhu dapat mempercepat tumbukan ini.

4. pH

Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh pH. Sifat gugus aktif dalam adsorben dan adsorbat sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan sekitarnya.

5. Waktu kontak

Komponen penting dari proses adsorpsi adalah waktu kontak. Molekul adsorbat dapat melekat dan berdifusi lebih efektif dengan durasi kontak yang lebih lama. Waktu kontak yang dibutuhkan adsorben untuk mencapai kesetimbangan dalam proses adsorpsi logam berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam.

2.3 Adsorben

Bahan padat yang dikenal sebagai adsorben memiliki kemampuan untuk menyerap partikel fluida selama proses adsorpsi. Karena proses adsorpsi terjadi di permukaan, luas permukaan adsorben merupakan salah satu sifat yang diperlukan untuk keberhasilan adsorpsi; luas permukaan yang lebih besar menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi. Ketika tidak ada perubahan volume yang signifikan selama fase adsorpsi, proses adsorpsi lebih berhasil (Wardani, 2018). Tulang ayam merupakan salah satu jenis adsorben yang dapat digunakan sebagai arang aktif. Setelah diaktifkan untuk menghasilkan karbon aktif, senyawa kalsium... ..fosfat seperti hidroksiapatit, yang terdapat dalam tulang ayam, memiliki luas permukaan yang besar dan struktur berpori. Karena sifat ini, tulang ayam dapat secara efektif menyerap logam berat seperti kromium (Cr).

2.3.1 Definisi dan Karakteristik Ayam (*Gallus gallus domesticus*)

Gallus gallus domesticus merupakan jenis unggas dengan perbedaan bobot tubuh, di mana ayam jantan memiliki bobot lebih besar dibandingkan ayam betina. Panjang tubuh rata-rata ayam jantan adalah 23,74 cm, sedangkan betina 16,12 cm (Ambarwati, 2023). Ciri-ciri bulu ayam dominan pada bulu berwarna putih, kuning, dan hitam dengan corak lurik dan polos (Irwanto, et al 2023).

Kerangka tulang pada *Gallus gallus domesticus*, tengkorak memiliki ukuran kecil dan ringan. Tulang pinggang dan punggungnya saling terhubung, tempat otot-otot sayap melekat. Tulang pneumatic berhubungan dengan sistem pernafasan,

berongga, dan berisi kantong udara untuk membantu mengurangi berat badan ketika terbang. Ayam juga memiliki tulang meduler yang termasuk tulang khusus yang tumbuh di rongga bagian dalam tulang panjang untuk menyimpan kalsium (Adisa, 2024).

2.3.2 Klasifikasi Ayam (*Gallus gallus domesticus*)

Menurut Safitri & Hani, (2023), klasifikasi ayam meliputi:

Tingkatan Klasifikasi :

Kingdom : Animalia

Filum : Chordata

Kelas : Aves

Sub-kelas : Neornithes

Ordo : Galliformis

Genus : Gallus

Spesies : *Gallus gallus domesticus*

2.3.3 Daur Hidup Ayam

Menurut Desta, 2024 Ayam kampung (*Gallus gallus domesticus*) memiliki siklus hidup yang dimulai dari telur → anak ayam → remaja → dewasa reproduktif. Berdasarkan penelitian ini pullet (ayam betina muda) mencapai kematangan seksual pada usia rata-rata 5,5 bulan, sedangkan pejantan mencapai sekitar 6 bulan. Umur reproduktif ayam betina dapat mencapai sekitar 3 tahun, dengan produktivitas bertelur sekitar 174 telur selama masa tersebut. Kecepatan daur hidup yang relatif singkat ini memungkinkan populasi ayam kampung tumbuh pesat, sehingga limbah organik berupa tulang ayam tersedia dalam jumlah besar. Akumulasi tulang ini menjadi bahan baku penting untuk pembuatan karbon aktif, karena struktur mineral tulang yang kaya kalsium dan fosfor mendukung proses adsorpsi dalam pengolahan limbah.

2.3.4 Habitat Ayam

Habitat ayam (*Gallus gallus domesticus*) bukan sekadar tempat tinggal, melainkan berperan penting dalam membentuk perilaku adaptif dan kualitas biologis tulang mereka. Sebagai contoh, studi Skanberg et al. 2024 menemukan bahwa ayam betina yang dibesarkan di lingkungan kompleks—yang mencakup

variasi litter, tempat bertengger, dan objek eksplorasi—menunjukkan perilaku menjelajah yang lebih tinggi dan kemampuan mengenali sumber daya baru. Akibatnya, ayam ini memiliki tingkat aktivitas fisik yang lebih tinggi dan konsumsi pakan yang bervariasi, sehingga tulang yang terbentuk lebih kuat dan kaya mineral seperti kalsium dan fosfor. Dengan demikian, kondisi habitat langsung memengaruhi komposisi dan struktur tulang ayam, menjadikan tulang tersebut lebih potensial digunakan sebagai bahan baku karbon aktif dalam penelitian ini.

2.4 Pemanfaatan Tulang Ayam (*Gallus gallus domesticus*) sebagai Adsorpsi

Tulang ayam seringkali dianggap sebagai sampah atau sisa makanan yang jarang dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Sekitar 85% komposisi kimia tulang terdiri dari mineral, seperti kalsium fosfat, 14% kalsium karbonat, dan 1% magnesium (Anggraeni, dkk, 2023). Niu et al. (2021) menyatakan, menghasilkan removal Cu^{2+} sebesar 99,98% pada dosis adsorben hanya 0,2 g, menunjukkan efisiensi tinggi dalam waktu kontak singkat. Hal ini menghasilkan kapasitas adsorpsi yang tinggi berkat struktur pori dan aktivitas kimia tulang ayam, terutama kandungan hidroksiapatit yang kaya mineral. Menurut penelitian, karbon aktif yang terbuat dari tulang ayam efektif menurunkan kadar Cr.

2.5 Pemanfaatan Sebagai Sumber Belajar

2.5.1 Definisi Sumber Belajar

Semua komponen yang dapat mendukung proses pembelajaran tercakup dalam sumber belajar, seperti informasi, teknik, media, dan lingkungan tempat pembelajaran berlangsung. Materi ajar yang dipilih harus bermanfaat, efektif, dan mudah digunakan, serta sejalan dengan tujuan pembelajaran. Materi ajar memiliki tujuan berikut: meningkatkan produktivitas pembelajaran; memberi siswa kesempatan untuk belajar mandiri; memberikan dasar ilmiah yang lebih baik bagi pendidikan; dan membantu siswa memahami materi pelajaran (Supriadi, 2015).

Hasil studi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar Biologi oleh guru SMA pada mata pelajaran Biologi, dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar materi Perubahan Lingkungan sub materi Mengatasi Masalah Lingkungan sesuai dengan materi kelas X semester genap.

2.5.2 Definisi LKS

Lembar Kerja Siswa (LKS) adalah media pembelajaran yang disusun untuk mendorong kegiatan belajar secara aktif dan mandiri. LKS biasanya berisi aktivitas berpikir, eksperimen, dan panduan refleksi yang mendorong siswa menemukan konsep secara kontekstual. Agung & Yanti 2021, menjelaskan bahwa LKS yang dirancang berdasarkan prinsip konstruktivisme, yaitu membangun pengetahuan siswa sendiri dan tidak hanya menerima informasi secara pasif, mampu meningkatkan kemampuan berpikir aktif dan kritis siswa, sehingga memenuhi kriteria validitas dan efektivitas dalam pembelajaran.

Dalam konteks pembelajaran biologi, khususnya materi Perubahan Lingkungan, LKS berbasis hasil penelitian ini yang memuat gambar proses adsorpsi, klasifikasi bahan aktif (karbon aktif dari tulang ayam), dan deskripsi prosedur—dapat menjadi sumber belajar yang sesuai kurikulum Merdeka. Berdasarkan penelitian oleh Dewi et al. 2023, pengembangan Lembar Kerja Siswa (LKS) sebagai media pembelajaran telah terbukti efektif dalam meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa terhadap materi pelajaran.



2.6 Kerangka Konsep

