

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses yang berfungsi untuk mengikat dan menyisihkan komponen tertentu yang terdapat di dalam suatu larutan dengan menggunakan adsorben (Miranda et al., 2024). Adsorpsi adalah teknik untuk menurunkan kandungan pencemar dalam air dengan proses penyerapan atom, ion, atau molekul dalam larutan pada suatu permukaan zat penyerap (Hafiz, 2023). Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap.

Penerapan proses adsorpsi pertama kali dilakukan oleh orang Mesir pada tahun 1550 sebelum Masehi, yaitu pada penggunaan arang untuk tujuan pengobatan bau dari luka yang membusuk di usus. Pada tahun 640 sebelum masehi, orang-orang Fenisia menggunakan arang untuk memurnikan air minum. Penggunaan teknik adsorpsi pertama kali dilakukan pada tahun 1794 untuk penyerapan warna dari sirup gula. Saat ini, pada skala industri proses adsorpsi banyak digunakan untuk pengolahan air dan air limbah (Suryadi Ismadji et al., 2021).

Keberhasilan dalam proses adsorpsi terletak pada pemilihan adsorben (penyerap) yang tepat. Kunci keberhasilan proses adsorpsi terletak pada pemilihan jenis adsorben yang tepat. Suatu adsorben yang efektif harus memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi, murah, dan dapat diregenerasi dengan mudah

tanpa kehilangan kemampuan adsorpsinya (Suryadi Ismadji et al., 2021). Adsorben yang digunakan dalam suatu proses adsorpsi harus memiliki luas permukaan spesifik dan volume pori yang cukup besar. Suatu adsorben yang memiliki kemampuan penyerapan yang sangat bagus tetapi memerlukan waktu yang lama pada saat berdifusi, bukan pilihan yang tepat untuk penerapan pada skala industri karena akan membutuhkan waktu yang lama di dalam kolam penyerap. Umumnya adsorben dapat berbentuk zat padat seperti alumina, karbon aktif, zeolit, silika gel, selulosa, dan platina halus. Jenis adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah karbon aktif tempurung kelapa dan zeolit.

Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu sistem pengadukan dan sistem filtrasi (Hafiz, 2023). Adsorpsi sistem pengadukan dilakukan dengan membubuhkan adsorben berbentuk serbuk dalam air kemudian diaduk, sedangkan adsorpsi sistem filtrasi dilakukan dengan memasukan adsorben ke dalam wadah yang kemudian dialiri dengan air mengalir. Berdasarkan (Suryadi Ismadji et al., 2021), proses adsorpsi dapat dikategorikan dalam dua jenis mekanisme utama, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika (Fisisorpsi)

Pada adsorpsi fisika terjadi gaya Van der Waals yang lemah. Pada ikatan ini tidak terjadi transfer atau pemakaian elektron bersama antara adsorben dan adsorbat meskipun telah mencapai suatu keadaan setimbang. Adsorpsi fisika ini biasanya terjadi pada suhu rendah ($5-40\text{ kJ/mol}$) dan bersifat eksotermis. Sistem ini juga dapat mengarah pada pembentukan multilayer

yang menyebabkan ketergantungan lebih besar pada adsorbat daripada adsorben padat.

2. Adsorpsi Kimia (Kimisorpsi)

Adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat, pada proses ini terjadi perpindahan atau pemakaian elektron bersama antara adsorben dan adsorbat. Adsorpsi kimia biasanya terjadi pada suhu yang relatif tinggi (40-800 kJ/mol) dan bersifat endotermis.

Secara garis besar, perbedaan adsorpsi fisika dan kimia (Miranda et al., 2024):

Tabel 2. 1 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Entalpi adsorpsi kecil (biasanya kurang dari 20 kJ/mol)	Entalpi adsorpsi besar (biasanya 40-400 kJ/mol)
Terjadi adsorpsi multilayer	Kebanyakan monolayer
Terjadi pada temperatur yang relatif rendah	Terjadi pada temperatur yang relatif tinggi
Tidak melibatkan energi aktivasi	Proses adsorpsi terjadi apabila sistem mempunyai energi aktivasi

Proses adsorpsi dapat terjadi ketika padatan atau molekul adsorben dikontakan dengan adsorbat, sehingga di dalamnya terjadi gaya kohesif atau gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja di antara molekul seluruh material. Molekul yang diserap tidak terakumulasi/melekat ke permukaan adsorben disebut adsorptif sedangkan yang terakumulasi disebut adsorbat. Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang

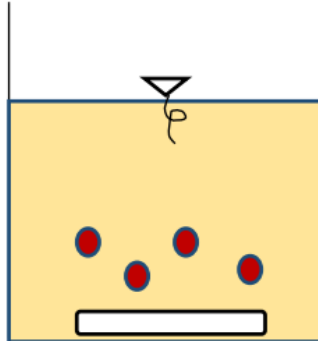
mengadsorpsi, sifat antar molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain (Miranda et al., 2024).

Metode adsorpsi dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu:

a) Sistem *batch*

Sistem *batch* yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben yang selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan. Sistem ini cocok digunakan pada skala kecil. Proses *batch* dilakukan pada skala laboratorium dengan mencampurkan antara adsorben dan adsorbat, juga dilakukan pengadukan agar terjadi kontak secara merata.

Tujuan dari metode *batch* ini adalah untuk mengetahui karakteristik adsorben yang digunakan, yang dinyatakan dalam hubungan antara penurunan zat yang diserap dengan adsorben yang digunakan. Selain itu, dapat digunakan untuk mengukur efisiensi adsorpsi, efisiensi adsorpsi diukur dengan cara membandingkan konsentrasi limbah sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi. Dalam sistem *batch* ini memungkinkan untuk melakukan penelitian terhadap beberapa variabel seperti waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, massa adsorben, diameter adsorben, dan konsentrasi limbah (Alfernando et al., 2025).



Gambar 2. 1 Model Sistem Adsorpsi *Batch*

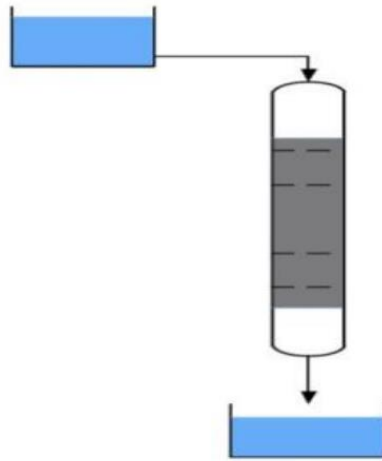
Sumber: (Masriatini, 2019)

b) Sistem kolom

Sistem kolom yaitu dimana larutan selalu dikontakan dengan adsorben sehingga adsorben mampu mengadsorp dengan optimal sampai kondisi jenuh yaitu pada saat konsentrasi *efluen* (larutan yang keluar) mendekati konsentrasi *influen* (larutan awal). Oleh karena itu, sistem kolom ini cocok diaplikasikan pada skala besar dan lebih menguntungkan karena pada umumnya memiliki kapasitas lebih besar dibanding dengan sistem *batch*.

Pada sistem kolom dalam dilakukan dengan dua cara aliran yaitu dari atas ke bawah (*down flow*) atau aliran dari bawah ke atas (*up flow*). Tetapi pada sistem *down flow* lebih banyak digunakan karena pengaturan laju alurnya lebih mudah, pada model ini limbah akan teradsorpsi secara cepat dan efektif. Lapisan atas adsorben merupakan lapisan tempat terjadinya kontak langsung antara permukaan adsorben dengan larutan berkonsentrasi tinggi, sementara lapisan adsorben

dibawahnya akan menyerap larutan dengan konsentrasi lebih rendah, dan seterusnya. Namun seiring dengan berjalannya waktu, adsorben akan mencapai kondisi jenuh, yaitu kondisi dimana adsorben sudah tidak dapat mengadsorpsi kontaminan terlarut atau dengan kata lain berkurangnya efisiensi penyerapannya sehingga konsentrasi keluar pada efluen mendekati konsentrasi larutan masuk (influen) (Alfernando et al., 2025).



Gambar 2. 2 Model Sistem Adsorpsi Kolom *Up Flow*

Sumber: : (Masriatini, 2019)

B. Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Karbon aktif adalah bahan yang memiliki struktur pori yang kompleks dan sangat heterogen karena adanya berbagai macam pori mikro, meso maupun makro dengan berbagai macam ukuran. Arang aktif adalah bahan padat berpori dan mengandung 85%-95% karbon dan 5%-15% adalah deposit (Miranda et al., 2024). Arang aktif atau sering disebut juga karbon aktif yang mengalami proses aktivasi secara fisik maupun kimia, menyebabkan pori dan luas permukaan

menjadi lebih besar sehingga daya adsorpsi atau daya ikatnya meningkat. Karbon aktif merupakan adsorben yang paling umum digunakan pada proses adsorpsi dalam pengolahan limbah cair industri, hal ini karena karbon aktif memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi berbagai senyawa organik maupun anorganik bahkan senyawa organik yang bersifat racun.

Karbon aktif diproduksi dari berbagai macam bahan baku, di mana sifat permukaan yang dihasilkan (komposisi kimia, luas permukaan, dan ukuran pori) bergantung pada bahan baku yang dipilih serta prosedur pembuatan (metode aktivasi, suhu, dll) yang dilakukan (Lopes et al., 2021). Karbon aktif biasanya dibuat dari bahan baku yang kaya akan oksigen sehingga banyak gugus fungsi pada karbon aktif yang memiliki atom oksigen. Karbon aktif dibuat dari material yang mengandung karbon (Susmanto et al., 2020), beberapa peneliti telah mencoba untuk memproduksi karbon aktif untuk menghilangkan berbagai polutan menggunakan prekursor yang terbarukan dan lebih murah yaitu produk sampingan industri dan pertanian seperti tempurung kelapa, ampas tebu, serbuk kayu, jerami padi, bambu, serat kelapa sawit dan sabut kelapa.

Salah satu material karbon aktif yang mengandung karbon yaitu tempurung kelapa, komposisi utama tempurung kelapa terdiri dari selulosa, lignin, hemiselulosa dengan kandungan atom-atom C, O, H, dan N (Susmanto et al., 2020). Tempurung kelapa merupakan bahan pembuatan karbon aktif yang baik dikarenakan mengandung 74,3% unsur karbon cukup terjangkau untuk diperoleh. Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki beberapa kelebihan dari pada bahan lain yaitu tingkat kekerasan yang tinggi sehingga mempermudah

karakteristik penanganannya, luas permukaannya di atas $1.500\text{m}^2/\text{g}$, daya serap tinggi, abunya sedikit, serta kemurniannya tinggi.



Gambar 2. 3 Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Sumber: (Data Primer, 2025)

Pembuatan karbon aktif tempurung kelapa dimulai dengan preparasi, dimana tempurung kelapa dibersihkan dari pengotornya lalu dilanjutkan dengan tahapan dehidrasi untuk menghilangkan kadar air di dalamnya. Tahapan selanjutnya adalah karbonisasi, proses ini bertujuan untuk mengubah bahan baku tempurung kelapa menjadi karbon/arang. Berikutnya adalah proses aktivasi fisik dengan pemanasan pada suhu 900°C selama 2 jam dan aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan cairan kimia (Miranda et al., 2024).

Permukaan karbon aktif memiliki struktur berpori yang menentukan kapasitas adsorpsi, memiliki struktur kimia yang mempengaruhi interaksi dengan adsorbat polar atau nonpolar, memiliki sisi aktif yang menentukan reaksi kimia dengan atom lain (Suryadi Ismadji et al., 2021). Pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 proses (Masriatini, 2019):

1. Pengeringan

Pengeringan merupakan sebuah proses yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif. Hal ini dapat dilakukan dengan cara pengeringan di bawah sinar matahari atau pengeringan dengan oven.

2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pembakaran bahan baku yang akan menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik bahan baku dan pengotor. Pada tahap ini, sebagian unsur non karbon akan hilang sehingga pelepasan unsur-unsur volatile ini akan membuat struktur pori-pori mulai terbuka.

3. Aktivasi

Pada proses aktivasi, dibedakan menjadi 2 yaitu:

a) Aktivasi secara fisika

Aktivasi secara fisika dilakukan dengan memasukan bahan baku pada reaktor suhu tinggi ($600-1000^{\circ}\text{C}$) dan proses ini terjadi saat karbon bereaksi dengan uap air/udara dimana akan dihasilkan oksida karbon yang tersebar pada permukaan karbon secara merata. Terbentuknya struktur pori di dalam material karbon tersebut adalah hasil kerja dari aktivator sehingga menyebabkan pori yang tertutup akan terbuka. Proses oksidasi yang lebih lama menyebabkan pori-pori terbentuk semakin banyak dalam material karbon.

b) Aktivasi secara kimia

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan penambahan bahan kimia seperti ZnCl_2 , CaCl_2 , H_2SO_4 , dan NaOH . Dalam proses ini bahan baku terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran dan debu, kemudian dikeringkan. Setelah kering, bahan baku yang akan dijadikan karbon aktif dipotong kecil-kecil dan direndam ke dalam larutan bahan kimia tertentu yang berfungsi sebagai aktivator dengan konsentrasi dan waktu perendaman 12-24 jam.

Perendaman ini bertujuan untuk membuka struktur internal bahan dan mempermudah pembentukan pori-pori saat proses karbonisasi. Setelah proses perendaman selesai, bahan dikeringkan kembali hingga kadar airnya rendah. Kemudian dilakukan proses karbonisasi, yaitu pemanasan pada suhu tinggi ($400\text{-}800^\circ\text{C}$) di dalam *furnace* tanpa oksigen. Pemanasan ini menyebabkan zat volatil menguap dan menghasilkan struktur karbon yang berpori. Setelah karbonisasi, karbon aktif dicuci menggunakan air suling untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia yang masih menempel pada karbon aktif. Karbon kemudian dikeringkan kembali dan disimpan dalam wadah tertutup sehingga menghasilkan karbon aktif yang memiliki luas permukaan dan struktur pori besar.

C. Zeolit

Zeolit atau batu zeolit merupakan mikroskopis kristal aluminosilikat terhidrasi yang strukturnya adalah saluran-saluran atau rongga-rongga tertutup dengan ukuran molekuler (diameter 0,3-1,5 nm) (Suryadi Ismadji et al., 2021). Zeolit dikategorikan sebagai mineral aluminosilikat yang memiliki struktur berongga dan mampu membentuk kerangka tiga dimensi (Sufra et al., 2024). Zeolit merupakan mineral yang memiliki struktur utama SiO_4 dan AlO_4 , mempunyai bentuk kristal teratur dengan rongga yang berhubungan ke segala arah (Chamidah et al., 2023). Oleh karena itu, zeolit cocok digunakan sebagai adsorben karena luas permukaannya yang besar.



Gambar 2. 4 Zeolit

Sumber: (Data Primer, 2025)

Zeolit banyak diaplikasikan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar, kapasitas penukaran kation yang tinggi, cadangannya melimpah, biaya relatif rendah dan telah banyak digunakan sebagai adsorben dalam berbagai aplikasi. Selain itu, zeolit dipilih sebagai bahan adsorpsi karena mudah ditemukan dengan harga yang relatif murah. Struktur

kristal tiga dimensi zeolit dibangun dari unsur aluminium, oksigen dan silikon dengan logam alkali atau alkali tanah (seperti natrium, kalium, dan magnesium) ditambah molekul air yang terperangkap di celah antaranya.

Sebagai adsorben, zeolit alam dapat digunakan secara langsung. Namun daya serap, daya tukar ion maupun katalis zeolit alam tersebut belum maksimal untuk digunakan sebagai adsorben. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan yang tinggi diperlukan beberapa perlakuan, yaitu preparasi, aktivasi dan modifikasi preparasi (Akbar et al., 2022). Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan produk tersebut. Proses preparasi terdiri dari tahap peremukan sampai penggerusan. Proses aktivasi zeolit dilakukan dengan dua cara yaitu secara fisik dan kimia. Aktivasi secara fisik berupa pemanasan zeolit dengan tujuan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga luas permukaan pori bertambah.

Pemanasan pada proses aktivasi dilakukan dalam oven biasa pada suhu 300-400°C (untuk skala laboratorium) atau dengan menggunakan tungku putar dengan pemanasan secara penghampaan selama 3 jam atau penghampaan selama 5-6 jam (skala besar). Aktivasi secara kimia dilakukan dengan larutan asam H_2SO_4 atau basa $NaOH$ dengan tujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan.

Pada perlakuan selanjutnya, modifikasi dilakukan di dalam proses pengolahan air, zeolit hasil aktivasi telah mampu menyerap ion logam berat yang

berbentuk kation. Tujuan dari modifikasi ini yaitu agar zeolit dapat juga menyerap logam berat yang berupa anion, mikroorganisme, serta zat organik lainnya. Modifikasi ini dilakukan dengan melapisi zeolit dengan polimer organik atau vinil piridin, polimer organik alam, atau dengan mangan (Akbar et al., 2022).

D. Limbah Cair Industri Batik

1. Industri Batik di Kota Tasikmalaya

Batik merupakan salah satu bentuk karya seni tradisional yang berasal dari Indonesia, yang pada tanggal 2 Oktober 2009 ditetapkan oleh UNESCO sebagai warisan budaya dunia dari Indonesia. Berdasarkan teknik pembuatannya, batik digolongkan menjadi batik tulis, batik cap, dan batik lukis (Nugroho, 2021). Keberadaan industri batik di Indonesia menempati kategori industri skala besar, menengah, kecil, dan bahkan skala rumah tangga (*home industry*) (Dini et al., 2023). Besarnya minat dan potensi budaya lokal menjadikan batik tidak hanya diproduksi khusus sebagai produk budaya, tetapi sudah merupakan produk industri yang di produksi dalam skala kecil sampai skala yang besar. Industri batik di Indonesia tersebar di beberapa daerah di Pulau Jawa seperti di Pekalongan, Surakarta, Yogya, Cirebon, dan salah satu di antaranya adalah di Kota Tasikmalaya.

Pemerintah Kota Tasikmalaya telah menetapkan sentra industri batik di Kota Tasikmalaya tepatnya di kampung Ciroyom dan Cigeureung, Kelurahan Nagarasari, Kecamatan Cipedes Kota Tasikmalaya tidak jauh dari pusat kota. Berdasarkan data dari Kelurahan Nagarasari, jumlah UKM

yang menekuni industri batik adalah sebanyak 20 unit usaha. Batik Tasikmalaya dikenal memiliki motif yang kental dengan keindahan dan nuansa parahyangan dengan paduan warna yang cerah. Pembuatan batik meliputi proses pewarnaan, pelorodan, dan pencucian (Dini et al., 2023). Dalam proses produksinya Industri batik menghasilkan limbah cair yang jumlahnya mencapai 80% dari seluruh jumlah air yang digunakan dalam proses pembatikan (Setiono, Andik dan Gustaman, 2017). Air limbah dari industri batik memiliki ciri fisik seperti warna, kekeruhan, dan berbusa.

Industri batik dengan skala kecil dan rumah tangga seringkali membuang limbahnya ke sungai tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu sehingga memberikan dampak tercemarnya lingkungan air sungai dan perubahan peruntukan badan sungai (Dini et al., 2023). Hal ini menyebabkan pencemaran yang ditimbulkan oleh industri batik tidak hanya terjadi pada kawasan industri, tetapi terjadi juga di lingkungan sekitar. Pencemaran terutama berasal dari limbah cair yang berupa zat warna yang dihasilkan dari bahan pewarna pada proses pencucian dan pembilasan kain batik (Apriyani, 2019) .

2. Kandungan Pencemar Limbah Batik

Tahap-tahap pembuatan batik dimulai dengan persiapan, pemolaan, pemalaman, pewarnaan celup, pelorodan (penghilangan lilin batik) dan *finishing*. Bahan baku pembuatan batik yang digunakan adalah kain, malam dan pewarna, baik pewarna alami maupun pewarna buatan (Dini et al., 2023). Lilin batik dibuat dari campuran bahan organik sintetis maupun non

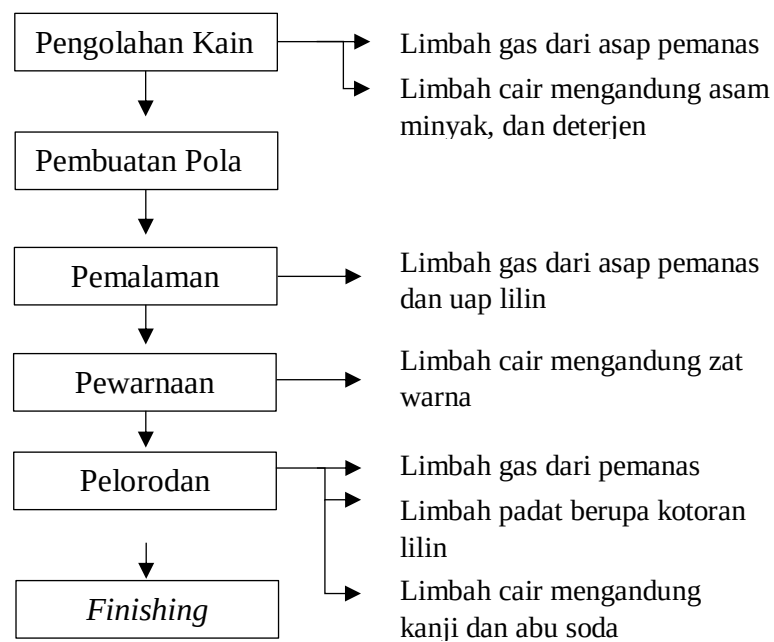
sintetis yang berfungsi sebagai bahan perintang warna pada proses pembatikan. Komposisi pada lilin batik terdiri dari 7 macam, yaitu damar mata kucing (getah pohon *Shorea sp.*), gondorukem (residu pohon pinus), kote (lilin lebah), parafin (hasil pengolahan minyak mentah), *microwax* (hasil proses penyulingan minyak bumi sejenis parafin), kendal (minyak hewan), dan lilin bekas (residu dari proses pembatikan) (Nugroho, 2021).

Pewarnaan dalam produksi batik dilakukan untuk menambah nilai estetika dan nilai jual produk. Zat pewarna yang digunakan dapat berupa pewarna alami dan buatan, namun kondisi di lapangan menunjukkan bahwa kebanyakan dari industri batik menggunakan zat pewarna sintesis dalam proses produksinya. Pewarnaan zat sintesis ini dinilai lebih efisien, efektif, dan ekonomis dibandingkan dengan zat pewarna alami (Nugroho, 2021). Pada proses pewarnaan batik lebih banyak menggunakan zat sintetis dari pada zat warna alami karena zat sintetis dapat memenuhi kebutuhan skala besar, warnanya lebih bervariasi dan pemakaiannya lebih praktis (Herfiani et al., 2022).

Pewarna sintesis merupakan jenis zat warna yang dibuat menurut reaksi-reaksi kimia tertentu sehingga sifatnya lebih stabil dan mudah digunakan. Sehingga air limbah yang dihasilkan banyak mengandung zat kimia khususnya logam berat yang dapat mencemari lingkungan sekitar. Zat warna dalam air limbah batik umumnya sukar terdegradasi karena sifatnya yang mampu menahan kerusakan oksidatif dari cahaya matahari (Apriyani, 2019). Jika air limbah cair batik yang mengandung zat pencemar terbuang

ke lingkungan, maka dapat bertahan lama dan mengalami akumulasi sampai pada tingkat konsentrasi tertentu dan dapat menimbulkan dampak negatif terhadap daya dukung lingkungan.

Selain itu, air limbah batik memiliki karakteristik kimia yang meliputi konsentrasi BOD, konsentrasi COD, pH, kandungan lemak, dan kandungan zat lain dari zat warna diantaranya adalah macam-macam logam berat seperti Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Tembaga (Cu), Mangan (Mn), Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) (Dini et al., 2023). Menurut Sembiring (2018) dalam (Apriyani, 2019) dalam proses produksinya, batik menghasilkan limbah yang masing-masing tercantum dalam:



Gambar 2. 5 proses Pembuatan Batik

Sumber: (Apriyani, 2019)

3. Bahaya Limbah Cair Industri Batik

Seiring dengan pertumbuhan industri batik, maka bertambah pula limbah cair yang dihasilkan mulai dari proses persiapan kain hingga *finishing*. Industri batik memainkan peran penting dalam ekonomi negara melalui penyediaan lapangan kerja, pajak, dan penerimaan devisa (Hannan et al., 2024). Pengetahuan terkait pengelolaan limbah cair batik yang relatif rendah membuat sejumlah pemilik usaha batik, terutama *home industry* membuang limbah tersebut ke badan sungai sehingga mencemari air sungai dan menurunkan kualitas air sungai, kerusakan terhadap kehidupan akuatik seperti ikan dan mikroorganisme, serta pencemaran sumber air bersih.

Beberapa kandungan dalam limbah cair industri batik yang berpotensi menimbulkan pencemaran air adalah bahan organik, padatan tersuspensi, minyak atau lemak yang tinggi, serta kandungan logam berat yang berbahaya seperti Cr, Zn, Cd, Cu, dan Pb. Beberapa penelitian menyatakan bahwa salah satu jenis logam berat pencemar dalam limbah batik yaitu Cr. Sumber logam berat Cr yang bersifat toksik berasal dari zat pewarna (CrCl_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) maupun zat mordan ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$ dan PbCrO_4 yang merupakan pengikat zat warna (Murniati et al., 2025). Keberadaan zat pencemar Cr dalam limbah cair batik yang dibuang ke sungai dapat menjadi masalah yang serius mengingat logam berat ini bersifat toksik dan limbah yang dibuang ke badan sungai ini terdiri dari beberapa industri yang berdekatan.

Pencemaran yang disebabkan oleh limbah batik menyebabkan kerusakan yang signifikan pada kualitas air di daerah yang terkena dampak. Kromium (Cr) dalam tubuh biasanya berada dalam keadaan sebagai ion Cr^{3+} . Kromium (Cr) dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati, dan ginjal. Jika terjadi kontak dengan kulit, kromium (Cr) dapat menyebabkan iritasi dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut dan muntah (Hannan et al., 2024).

4. Standar Baku Mutu

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah menyatakan bahwa baku mutu air limbah secara nasional yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	38
TDS	mg/L	2.000
TSS	mg/L	200
pH	mg/L	6,0-9,0
Besi terlarut (Fe)	mg/L	5
Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2
Barium (Ba)	mg/L	2
Tembaga (Cu)	mg/L	2
Seng (Zn)	mg/L	5
Krom heksavalen (Cr^{6+})	mg/L	0,1
Krom total (Cr)	mg/L	0,5
Cadium (Cd)	mg/L	0,05

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
Air Raksa (Hg)	mg/L	0,002
Timbal (Pb)	mg/L	0,1
Stanum (Sn)	mg/L	2
Arsen (As)	mg/L	0,1
Selenium (Se)	mg/L	0,05
Nikel (Ni)	mg/L	0,2
Kobalt (Co)	mg/L	0,4
Sianida (CN)	mg/L	0,05
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,5
Fluorida (F)	mg/L	2
Klorin bebas (Cl ²)	mg/L	1
Amonia-Nitrogen (NH ₃ -N)	mg/L	5
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1
Total Nitrogen	mg/L	30
BODs	mg/L	50
COD	mg/L	100
Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5
Fenol	mg/L	0,5
Minyak & Lemak	mg/L	10
Total Bakteri Koliform	MPN/100mL	10.000

E. Logam Berat Kromium (Cr)

Salah satu jenis logam berat yang banyak ditemukan dalam pencemaran air maupun tanah dan yang memiliki toksisitas yang cukup tinggi yaitu kromium (Cr). Keberadaan logam berat ini dapat dilihat dari buangan air limbah kegiatan perindustrian yang biasanya digunakan sebagai pelaspis elektrolit pada proses

pemolesan mendapatkan hasil yang mengkilat yaitu pada industri penyamakan kulit, pabrik cat, industri tekstil, limbah batik maupun digunakan pada ketel dipengeboran kilang minyak (Yulianita, 2021).

Dalam industri batik, kromium (Cr) berasal dari zat pewarna sintesis yang digunakan pada saat proses pembuatan batik. Industri batik ini cenderung menggunakan pewarna sintetis daripada pewarna alami karena lebih mudah didapatkan dengan variasi warna yang lebih banyak, harga yang lebih murah, dan cara pemakaian yang lebih praktis. Namun, penggunaan pewarna sintetis berpotensi merusak lingkungan lebih besar dibandingkan dengan pewarna alami. Adapun jenis pewarna sintetik yang banyak digunakan di sentra batik Cigeureung adalah indigosol, reaktif Procion, Remazol, dispersi, dan direk yang mana diketahui mengandung senyawa azo dan logam berat yang saat bereaksi dengan air dapat bersifat karsinogenik (Hernawan et al., 2024).

Logam berat kromium (Cr) adalah bahan kimia yang bersifat persisten, bioakumulatif, dan toksik yang tinggi serta tidak dapat terurai dalam lingkungan dan akhirnya diakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan (Wardani et al., 2024). Ion krom pertama kali ditemukan oleh Vagueline pada tahun 1797, logam kromium (Cr) berwarna putih, kristal keras dan sangat tahan korosi, melebur pada suhu 1.093°C sehingga sering digunakan sebagai lapisan, pelindung atau logam paduan.

Logam berat kromium (Cr) biasa didapatkan pada industri gelas, metal, fotografi, tekstil, dan elektropaliting. Kromium (Cr) pada industri batik ditemukan dalam bentuk senyawa dikromat dan kromat (Nugroho, 2021).

Kromium (Cr) pada proses proses pembuatan batik berasal dari pewarna yang digunakan dan akan keluar pada saat pembilasan kain setelah pewarnaan, yang kemudian terkandung dalam limbah yang dihasilkan.

Semakin banyak produksi batik maka semakin banyak pula pewarna yang digunakan, sehingga keberadaan zat pencemar kromium (Cr) dalam bentuk limbah cair batik akan semakin tinggi. Terlebih apabila limbah yang dihasilkan secara langsung dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan, hal tersebut akan memicu terjadinya pencemaran air sungai sekitar oleh zat pencemar khususnya kromium (Cr).

Logam berat kromium (Cr) jika ada di lingkungan bebas tanpa terkendali maka akan menjadi zat pencemar lingkungan. Keberadaan kromium (Cr) di perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis. Pada kadar tertentu, logam berat kromium (Cr) dapat menjadi racun bagi makhluk hidup. Meskipun logam berat kromium (Cr) dapat dijumpai secara bebas di alam sekitar, namun logam berat kromium (Cr) juga merupakan logam pencemar yang dihasilkan dari aktivitas manusia dan salah satunya berasal dari air limbah batik (Dini et al., 2023).

Kromium (Cr) dalam tabel periodik merupakan unsur yang memiliki nomor atom 24 dan nomor masa 51,996, terletak pada periode 4 golongan IVB. Sifat fisik krom yaitu sangat keras, mempunyai titik leleh dan titik didih tinggi di atas unsur-unsur transisi deretan pertama lainnya. Krom mempunyai

konfigurasi elektron $1S^2, 2S^2, 2P^6, 3S^2, 3P^6, 4S^2$, dan $3D^4$. Bilangan oksidasi +2, +3, dan +6 merupakan bilangan yang menyatakan sifat muatan spesi tersebut ketika terbentuk dari atom-atomnya yang netral. Berdasarkan kecepatan oksidasinya, Cr^{2+} bersifat relatif tidak stabil jika dibandingkan dengan Cr^{3+} dan Cr^{6+} karena merupakan logam yang memiliki bilangan oksidasi paling stabil yang ditemukan di alam (Nugroho, 2021).

Logam berat kromium (Cr) memiliki keunikan jika dibandingkan dengan logam lainnya, karena reaktivitas dan toksisitasnya yang ditentukan oleh tingkat oksidasi. Tingkat oksidasi Cr sangat bervariasi, yaitu Cr^{6+} , Cr^{5+} , Cr^{4+} , Cr^{3+} , Cr^{2+} , Cr^{1+} , Cr^0 , Cr^{1-} , dan Cr^{2-} , namun yang paling stabil dan umum adalah Cr^0 , Cr^{3+} , dan Cr^{6+} . Kromium (Cr) tergolong unsur beracun dan karsinogenik serta sangat reaktif/oksidatif karena konfigurasi elektronnya tidak stabil.

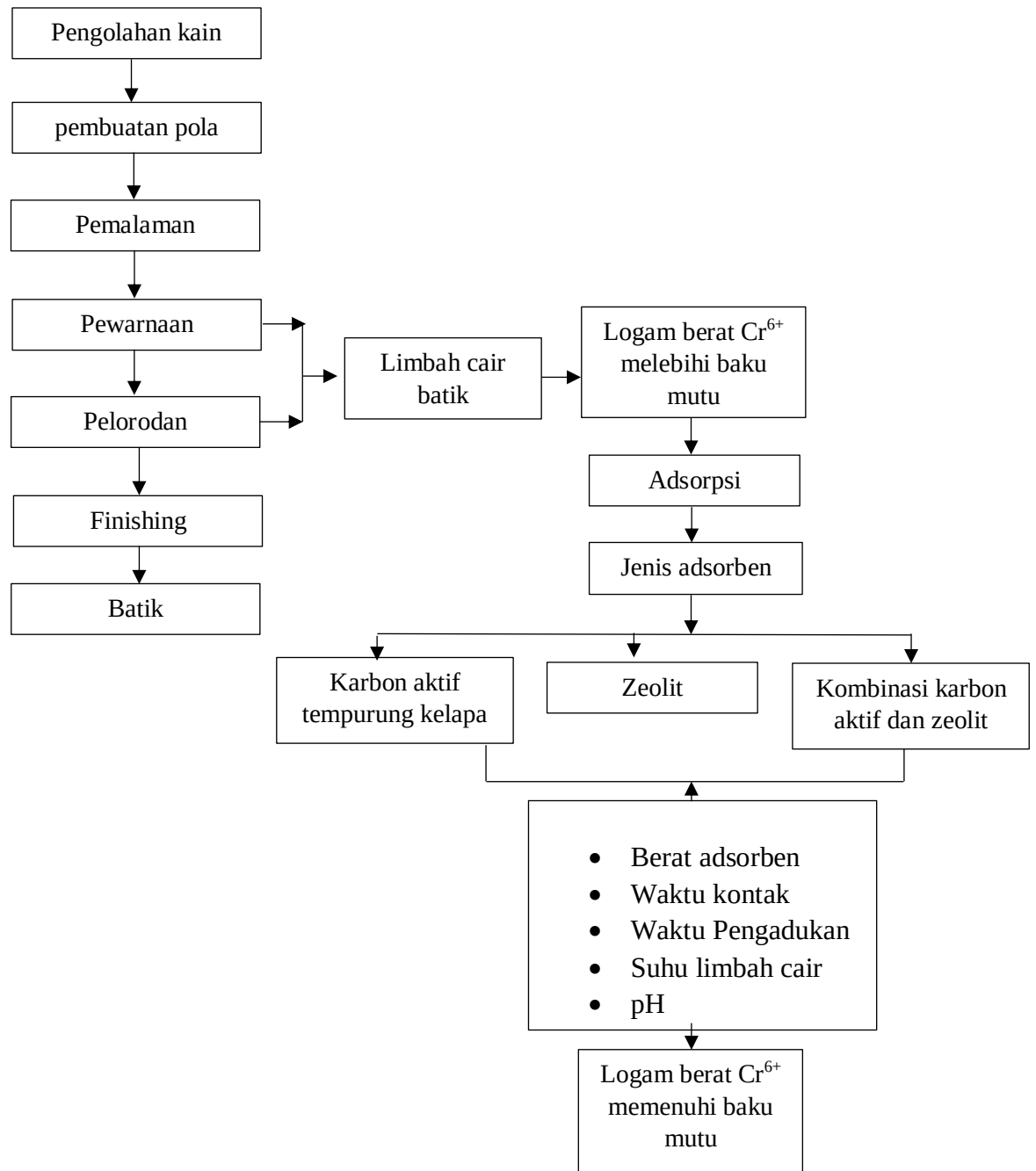
Di antara 3 bentuk Cr yang stabil di lingkungan, Cr^{6+} (kromium heksavalen) lebih toksik dibandingkan dengan Cr^{3+} (kromium trivalen). Toksisitas Cr^{6+} ini karena keberadaannya dalam bentuk anion oksida (kromat atau dikromat), sedangkan Cr^{3+} biasanya terjadi dalam bentuk sulfat, hidroksida, dan oksida atau terikat pada senyawa organik tanah dan air (Tambunan & Kasmiyati, 2023).

Menurut Rusyda, 2014 dalam (Yulianita, 2021) yang menjadi penyebab utama logam kromium (Cr) memiliki toksisitas yang tinggi yaitu berdasarkan daya larutnya dan sifatnya sebagai oksidator kuat sehingga mudah untuk menembus membran sel dan tereduksi di dalamnya. Apabila terjadi pencemaran logam berat Cr^{6+} terhadap sumber air, logam kromium (Cr) dapat mengendap

pada tanah dan terserap oleh tanaman dan ternak hal ini akan menyebabkan bioakumulasi pada manusia jika tanaman dan ternak pada daerah tercemar tersebut dikonsumsi terus menerus dan dapat menyebabkan timbulnya penyakit kanker karena cemaran logam berat Cr bersifat karsinogenik.

Pencemaran logam berat yang tidak terkontrol berpeluang dalam terakumulasinya logam berat pada lingkungan secara bioakumulasi maupun biomagnifikasi terhadap makhluk hidup. Berdasarkan hal ini, maka perlu adanya upaya dalam mencegah dan menanggulangi pencemaran logam berat kromium (Cr) pada lingkungan.

F. Kerangka Teori



Gambar 2. 6 Kerangka Teori

Sumber: PerMen LH No.5 , 2014; Modifikasi Apriyani, 2019; A`yunina et al., 2022; Chamidah et al., 2023; Hafiz, 2023, Febrina et al., 2021