

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Penyamakan Kulit

Penyamakan kulit merupakan salah satu industri dengan kuantitas penghasil limbah cair terbesar. Proses penyamakan pada industri ini dilakukan dengan tujuan untuk merubah sifat kulit mentah yang mudah mengalami kerusakan menjadi kulit tersamak yang tahan terhadap aktivitas mikroorganisme dan pembusukan. Proses penyamakan kulit umumnya banyak menggunakan air, dimana pada proses penyamakan 1 ton kulit mentah dapat menghasilkan kurang lebih 30-35 m³ limbah cair (Kuncoro dan Soedjono, 2022).

Limbah cair dari industri penyamakan kulit pada dasarnya bersumber dari proses penyamakan yang meliputi tahap pra-penyamakan (*beamhouse*), penyamakan (*tanning*), dan pasca-penyamakan (*posttanning*). Tahap pra-penyamakan merupakan tahap yang dilakukan untuk mempersiapkan bahan mentah atau kulit segar menjadi kulit pikel yang siap untuk disamak menggunakan bahan penyamak. Pada tahap ini meliputi beberapa tahap didalamnya yaitu perendaman (*soaking*), pengapuran (*lignin*), penghilangan kapur (*deliming*), pengikisan protein (*bating*), dan pengasaman (*pickling*). Tahap penyamakan (*tanning*) merupakan tahap inti pada proses penyamakan kulit, dimana pada tahap inilah banyak digunakan bahan penyamak yaitu krom sulfat dengan tujuan menstabilkan jaringan protein (kolagen) sehingga terjadi

perubahan sifat fisik, mekanik, kimia, dan biologi pada kulit (Kuncoro dan Soedjono, 2022).

Tahap pasca penyamakan (*posttanning*) merupakan tahap akhir pada proses penyamakan kulit, dimana tahap ini bertujuan untuk menyempurnakan kulit samak yang telah terbentuk. Tahap pasca penyamakan juga meliputi beberapa tahap didalamnya diantaranya *pressing* (*sammying*), penyamakan sekunder (*retaning*), pewarnaan (*dyeing*), dan tahap peminyakan (*fatliquoring*). Proses penyamakan kulit yang secara garis besar meliputi 3 tahap ini banyak menggunakan air dan beberapa penambahan bahan kimia seperti kapur, natrium sulfida, asam sulfat, amonium sulfat, garam dapur, minyak, pewarna hingga penggunaan kromium sulfat yang dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan (Kuncoro dan Soedjono, 2022).

Limbah cair yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit umumnya banyak mengandung polutan, dimana polutan-polutan tersebut bersumber dari penggunaan bahan baku dan bahan kimia (Kuncoro dan Soedjono, 2022). Kromium adalah salah satu bahan kimia yang digunakan dalam proses penyamakan dengan persentase penyerapan kromium oleh kulit sekitar 60-40%, dimana sekitar 20-40% kromium akan terurai bersamaan dengan air dan menjadi limbah. Kadar kromium yang tinggi dalam air tentunya memberi dampak yang berbahaya bagi lingkungan sehingga dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Pada manusia, akumulasi kromium yang cukup besar dapat memicu terjadinya penghambatan kerja dari enzim benzopiren hidroksilase sehingga menyebabkan terjadinya perubahan pertumbuhan sel

dimana sel dalam tubuh akan mengalami pertumbuhan secara liar dan dapat menyebabkan kanker. Besar persentase kromium dalam limbah cair industri penyamakan kulit ini tentunya menjadi tantangan bagi setiap industri penyamakan kulit dalam mengolah air limbahnya sebelum kemudian dibuang bebas ke badan air (Baun dkk, 2023).

Limbah cair industri penyamakan kulit umumnya memiliki karakteristik yang banyak mengandung COD sebesar 8.600-14.000 mg/L, BOD sebesar 5.000-8.500 mg/L, TSS sebesar 1.200-9000 mg/L, kromium (Cr) sebesar 2.500-3.400 mg/L, ammonium sebesar 750-1.500 mg/L, dan derajat keasaman (pH) 2,8-3,7. Karakteristik air limbah penyamakan kulit tersebut tentunya jauh berada diatas ambang baku mutu yang telah ditetapkan (Hidayat, 2016). Baku mutu merupakan standar atau batas atau kadar makhluk hidup, zat atau bahkan energi hingga komponen lainnya yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar lainnya yang ditenggang adanya sesuai dengan peruntukannya. Standar baku mutu parameter pH pada air limbah untuk industri penyamakan kulit mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 Tahun 2014 yaitu pada rentang pH 6-9 (Andika dkk, 2020). Derajat keasaman (pH) sangat mempengaruhi kelarutan logam, dimana kenaikan pH akan menurunkan kelarutan logam. Kenaikan pH akan mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida dan membentuk ikatan dengan partikel pada badan air sehingga menyebabkan terbentuknya lumpur hasil endapan (Nurhayati dkk, 2018).

TDS merupakan komponen yang terlarut di dalam air baik berupa zat padat, ion, senyawa ataupun berupa koloid. TDS pada air limbah umumnya disebabkan oleh adanya bahan-bahan anorganik berupa ion-ion yang terlarut dalam limbah. Dalam proses koagulasi tentunya dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH dan TDS yang saling mempengaruhi. Proses koagulasi yang optimum sebaiknya dilakukan pada rentang pH 5,6-6,5 akan tetapi dalam proses koagulasi dengan rentang pH tersebut tidak semua ion logam pada air limbah dapat mengalami presipitasi sehingga menyebabkan ion logam tersebut tetap larut dalam air limbah dan mengakibatkan tingginya kadar TDS pada air limbah (Nurhayati dkk, 2018).

B. Tanaman Ketapang (*Terminalia catappa*)

Terminalia catappa atau yang dikenal dengan tanaman ketapang merupakan jenis tanaman yang berasal dari famili Combretaceae dan dikenal luas dengan nama *Indian almond*, *Malabar almond* serta *Tropical almond*. Ketapang adalah tanaman yang umumnya ditemukan pada dataran rendah, namun secara umum tanaman ini dapat tumbuh di seluruh daerah tropis (Nugroho dan Nur, 2018). Secara tradisional tanaman memiliki manfaat yang sangat penting bagi kehidupan manusia seperti dapat bermanfaat sebagai tanaman peneduh, tanaman hias, dan kacang-kacangan yang dapat dikonsumsi. Kayu ketapang dapat dijadikan atau dimanfaatkan sebagai furniture dan kayu bangunan interior. Pada umumnya buah ketapang diproduksi ketika tanaman ketapang mencapai usia 3 tahun (Marjenah dan Ariyanto, 2018).

Ketapang merupakan tanaman dengan nama latin (*Terminalia catappa*) yang menyebar luas di seluruh daerah dengan iklim tropis. Struktur tanaman ketapang memiliki cabang-cabang yang tumbuh mendatar dan bertingkat. Tinggi tanaman ketapang dapat mencapai 35 meter, daun berbentuk lebar, bunga berukuran kecil dan terkumpul dengan panjang sekitar 8-25 cm. Buah ketapang berbentuk bulat telur, pipih, dan bersegi. Buah ketapang akan berwarna hijau pada saat muda, kemudian akan berubah warna menjadi ungu kemerahan setelah matang (Rahim, 2022).

Bunga ketapang tersusun dalam bulir atau tandan, banci atau berkelamin tunggal, aktinomorfi, dengan benang sari 4-10 atau banyak. Daun ketapang berbentuk kelopak berjumlah 4-8, daun mahkota sama banyaknya dengan daun kelopak. Bakal buah tenggelam dengan 1 tangkai putik, beruang 1, bakal biji 2-6. Buah dengan kulit yang bergerigi atau bersayap berisi 1 biji (Nugroho dan Nur, 2018). Menurut Keng (1978) dalam Nugroho dan Nur (2018) klasifikasi tanaman ketapang sebagai berikut

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Bangsa	: Myrtales
Suku	: Comretaceae
Marga	: <i>Terminalia</i>
Jenis	: <i>Terminalia catappa</i>

Buah ketapang berbentuk bujur memanjang dengan ukuran panjang sekitar 3,5-7 cm dan lebar sekitar 2-5 cm. Buah ketapang muda berwarna hijau sedangkan buah ketapang tua berwarna kuning atau merah. Pada kulit kayu ketapang terdapat kandungan tanin sebesar 11-23% tanin, sedangkan pada buah yang belum masak mengandung tanin sekitar 6-20%. Selain kandungan tanin, pada daun dan buah ketapang banyak mengandung asam galik, asam elagik, korilagin dan asam karboksil brevifolin. Minyak pada buah ketapang dapat mencapai 50-54% dan protein sebesar 27%. Minyak pada biji ketapang tentunya juga banyak mengandung asam seperti asam palmitat sebesar 55,5%, asam oleik 23,3%, asam linoleik 7,6%, asam stearik 6,3% dan asam miristik 1,6% (Chooi, 2004).

Tanaman ketapang khususnya pada bagian buah diketahui memiliki beberapa komponen kimia yang dapat bermanfaat sebagai biokoagulan dalam penyerapan logam diantaranya lignin 43,46%, selulosa (16,60%), dan hemiselulosa (24,70%) pada cangkang buah (Fachrurozi dkk, 2019). Komponen kimia lainnya yang terkandung dalam buah ketapang khususnya pada biji yang memiliki potensi dalam menyerap kandungan logam dalam limbah yaitu protein (25%), serat (11,75%), dan karbohidrat (5,8%) (Darmawan, 2016). Tanaman ketapang dapat dilihat pada Gambar 1 dan buah ketapang tua dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. *Terminalia catappa* (Nugroho dan Nur, 2018).



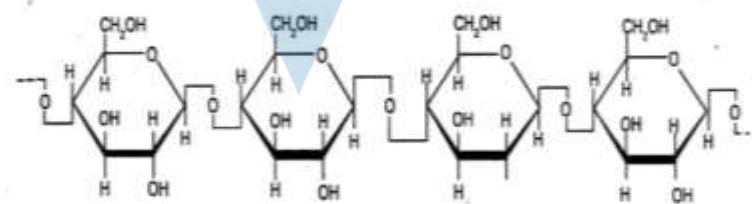
Gambar 2. Buah ketapang Tua (Rachmawati dkk., 2021).

C. Selulosa

Selulosa merupakan suatu polimer glukosa berantai sangat panjang dan berperan penting sebagai pendukung struktur tanaman. Bersamaan dengan lignin, hemiselulosa, dan pektin, selulosa merupakan suatu komponen dinding sel tanaman (Shiddieq dkk, 2018). Secara umum, kadar selulosa dan hemiselulosa pada tanaman muda dapat mencapai 40% berat kering, namun seiring bertambah tua tanaman tersebut proporsi kadar selulosa dan hemiselulosa akan semakin meningkat (Tillman dkk., 1989). Selulosa memiliki rumus empirik ($C_6H_{10}O_8$) dengan $n \sim 1500$ dan berat molekul ~ 243.000 . Selulosa tersusun dari unit-unit anhidroglukopiranososa yang

tersambung dengan ikatan β -1,4-glikosidik membentuk suatu rantai makromolekul tidak bercabang. Setiap unit anhidroglukopiranososa memiliki tiga gugus hidroksil (Siagian dkk, 2019).

Berdasarkan analisis di bawah sinar-X diketahui bahwa selulosa berupa rantai-rantai panjang sejajar yang terikat menjadi satu oleh ikatan hidrogen, sehingga menyebabkan selulosa berserat-serat panjang. Ciri selulosa yaitu berupa zat padat amorf, berwarna putih, dan tidak dapat larut dalam air maupun pelarut organik lainnya (Sumardjo, 2009). Adanya gugus $-OH$ memberikan potensi yang besar bagi selulosa sebagai pengadsorpsi, dimana gugus tersebut dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Gugus $-OH$ pada selulosa tersebut menyebabkan terjadinya sifat polar pada biokoagulan tersebut, sehingga selulosa akan lebih kuat mengikat zat yang bersifat polar daripada zat yang kurang polar. Mekanisme adsorpsi yang terjadi antara gugus $-OH$ yang terikat pada permukaan dengan ion logam bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion (Kusumawardani dkk, 2018). Struktur selulosa menurut Sumardjo (2009) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Selulosa (Sumardjo, 2009).

D. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida rantai cabang dari polisakarida. Hemiselulosa memiliki rantai utama lurus yang tersusun atas

selulosa, dan rantai cabang yang tersusun atas gula pentosa (C5) dan gula heksosa (C6). Gula pentosa tersusun atas D-silosa dan D-arabinose, sedangkan gula heksosa tersusun atas D-glukosa, D-manosa, dan D-galaktosa (Rumbiati dan Safitri, 2019).

Ciri hemiselulosa yaitu memiliki molekul yang lebih kecil, lebih mudah menyerap air, bersifat plastis, dan mempunyai permukaan kontak antar molekul yang lebih luas dibandingkan dengan selulosa. Ikatan pada rantai selulosa banyak bercabang karena memiliki gugus β -glikosida dalam molekul yang satu berikatan dengan gugus hidroksil C2, C3, dan C4 dari molekul yang lain (Rumbiati dan Safitri, 2019). Sama halnya dengan selulosa, hemiselulosa diketahui juga bersifat polar dan lebih kuat mengikat zat yang lebih bersifat polar dibandingkan dengan yang kurang polar (Mandasari dan Purnomo, 2016).

E. Lignin

Lignin merupakan senyawa polimer yang berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa pada jaringan tanaman. Lignin dapat berfungsi sebagai perekat sehingga memberi sifat yang kuat, kaku, dan keras pada struktur tanaman. Lignin bukan polisakarida, tetapi merupakan senyawa polimer tiga dimensi yang terdiri atas fenilpropanoid berupa unit guasil (G) dari prekursor trans koniferil alkohol, unit siringil (S) dari prekursor trans sinafil alkohol, dan unit p-hidroksil fenil (H) dari prekursor trans p-kumaril alkohol. Ketiganya dihubungkan dengan beberapa ikatan berbeda antara ikatan C-O-C dan C-C (Rumbiati dan Safitri, 2019).

Lignin diketahui memiliki potensi yang serupa dengan selulosa dalam menjerap logam berat, namun belum banyak dikaji. Lignin terbentuk dari gugus aromatik yang saling dihubungkan dengan rantai alifatik yang terdiri dari 2-3 karbon. Lignin memiliki struktur yang lebih kompleks dengan adanya gugus-gugus -OH yang serupa dengan selulosa, sehingga dapat berpotensi sebagai biokoagulan (Utomo dan Fadila, 2020). Selain selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada dinding sel dengan gugus (-OH) yang dapat berfungsi dalam penyerapan logam berat. Diketahui bahwa jaringan tanaman banyak mengandung gugus fungsi yang dapat mengikat logam seperti gugus amina (-NH₂), gugus karboksil (-COOH), dan gugus sulfidril (-SH) seperti yang terdapat dalam senyawa protein (Mohamad, 2013).

F. Tanin

Tanin merupakan senyawa metabolit sekunder yang terdapat dan dapat disintesis oleh tanaman. Senyawa tanin ialah senyawa dengan berat molekul 500-300 serta mengandung sejumlah besar gugus hidroksil fenolik. Beberapa gugus hidroksil fenolik pada tanin dapat membentuk ikatan silang yang efektif dengan protein dan beberapa molekul lainnya seperti polisakarida, asam amino, asam lemak dan asam nukleat (Hidayah, 2016).

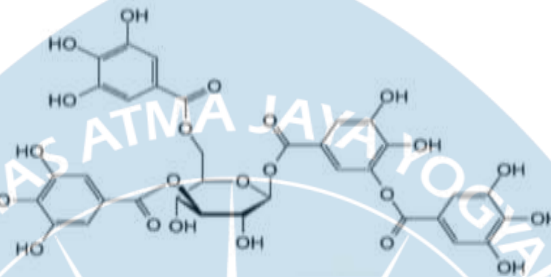
Secara umum tanin tersebar luas pada vakuola atau dinding permukaan tanaman, seperti pada tunas, jaringan akar, daun, batang hingga pada benih. Senyawa tanin juga menyebar luas pada jenis tanaman gymnospermae dan angiospermae, namun paling banyak dijumpai pada jenis tanaman berkeping dua (dikotil) karena senyawa tanin termasuk komponen zat organik yang

merupakan turunan polimer pada berbagai jenis tanaman. Senyawa tanin diketahui memiliki sifat tertentu, terutama sifat fisika dan kimia. Sifat fisika senyawa tanin yaitu dapat membentuk koloid apabila dilarutkan dalam air, memiliki bau atau aroma yang khas, memberi rasa asam serta sepat, berbentuk serbuk amorf dan tidak memiliki titik leleh. Sifat kimia senyawa tanin diantaranya sulit dipisahkan dan dikristalisasi, dapat larut dalam pelarut organik serta dapat dihidrolisis oleh senyawa asam, basa dan enzim (Hersila dkk, 2023).

Tanin terbagi menjadi dua kelompok yaitu yang mudah terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin yang mudah terhidrolisis ialah polimer gallic dan ellagic acid yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula, sedangkan tanin terkondensasi ialah polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbon-karbon berupa catechin dan galocatechin. Tanin yang berasal dari hijauan (leguminosa) umumnya membentuk tanin terkondensasi dan mempunyai ikatan kompleks dengan protein yang lebih kuat dibandingkan dengan tanin terhidrolisis. Tanin yang terhidrolisis maupun terkondensasi dapat berikatan dengan protein dan membentuk ikatan hidrogen antara komponen fenol dan tanin kelompok karboksil (*aromatic dan alifatik*) dari protein, dimana ikatan kuat antara tanin dan protein akan berpengaruh pada pencernaan protein (Hidayah, 2016).

Tanin diketahui mudah teroksidasi apabila senyawa tersebut terkena air panas dan udara. Tanin yang teroksidasi diketahui dapat berubah menjadi asam tanat, dimana asam tanat sendiri merupakan salah satu contoh tanin

terhidrolisis. Asam tanat merupakan polimer asam galat dan glukosa dengan berbentuk serbuk amorf, berkilau, berwarna kuning putih sampai coklat terang, dan berbau khas. Struktur kimia senyawa tanin menurut Hidjrawan, (2018) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Kimia Tanin (Hidjrawan, 2018).

G. Biokoagulan

Biokoagulan merupakan koagulan berbasis tanaman yang memiliki keuntungan mudah dijumpai, mudah terdegradasi oleh lingkungan serta ramah terhadap lingkungan. Biokoagulan dengan kandungan seperti protein dapat dimanfaatkan dalam pengolahan air maupun limbah, karena memiliki sifat seperti polielektrolit yang dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok yang kemudian mengendap (Fatimah dkk, 2024). Pengolahan air ataupun limbah dengan memanfaatkan biokoagulan dapat terjadi melalui beberapa proses dari koagulasi hingga sedimentasi. Koagulasi ialah proses dicampurnya koagulan maupun biokoagulan yang dilakukan dengan pengadukan secara cepat dengan tujuan untuk menstabilisasi koloid dan solid tersuspensi yang halus, dan masa inti partikel sehingga terbentuk jonjot mikro (mikro flok). Flokulasi merupakan proses pengadukan yang dilakukan secara perlahan terhadap larutan jonjot mikro sehingga menghasilkan jonjot besar (flok besar) yang kemudian mengendap secara cepat, kemudian sedimentasi

ialah proses pengendapan lumpur halus atau partikel suspensi dalam air setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi yang kemudian mengendapkan partikel flok (Rahima dkk, 2016).

Kinerja pengolahan air ataupun limbah dapat ditingkatkan dengan metode tambahan seperti adsorpsi. Umumnya kandungan serat alami yang dimiliki oleh biokoagulan seperti lignoselulosa, selulosa, hemselulosa, dan lignin dapat dimanfaatkan dalam pengadsorpsian air ataupun limbah (Fatimah dkk, 2024). Adsorpsi merupakan suatu proses pemindahan massa yang terjadi melalui batas antar dua fase yaitu gas-padat dan cair-padat pada permukaan berpori dalam butiran biokoagulan. Terjadi perpindahan massa selama proses adsorpsi dari cairan ke permukaan butir, difusi dari permukaan butir ke dalam butir melalui pori, perpindahan massa dari cairan dalam pori ke dinding pori dan adsorpsi pada dinding pori (Hajar dkk, 2016).

Adanya energi permukaan dan gaya tarik menarik permukaan dapat membantu terjadinya proses adsorpsi. Sifat dari masing-masing permukaan berbeda, tergantung pada susunan dalam molekul-molekul zat. Setiap molekul dalam interior dikelilingi oleh molekul-molekul lainnya, sehingga gaya tarik menarik antar molekul akan sama besar, setimbang ke segala bagian. Sedangkan untuk molekul di permukaan hanya mempunyai gaya tarik kearah dalam (Hajar dkk, 2016).

Kapasitas adsorpsi dapat dipengaruhi oleh massa biokoagulan, dimana kapasitas adsorpsi akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa biokoagulan. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak massa

biokoagulan yang digunakan maka akan meningkatkan situs atau luas permukaan biokoagulan sehingga memberi hasil kapasitas adsorpsi yang semakin meningkat. Kapasitas adsorpsi juga dapat menurun dengan bertambahnya massa biokoagulan. Hal ini disebabkan oleh kondisi jenuh akibat terbentuknya gumpalan yang menyebabkan menurunnya luas permukaan tersebut (Pandia dan Warman, 2016). Beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi menurut Hajar dkk (2016) sebagai berikut:

1. Proses pengadukan

Kecepatan adsorpsi selain dipengaruhi oleh *film diffusion* dan *pore diffusion* juga dipengaruhi oleh pengadukan. Jika proses pengadukan relatif kecil maka biokoagulan sukar menembus lapisan film antara permukaan biokoagulan dan *film diffusion* yang merupakan faktor pembatas yang memperkecil kecepatan penyerapan. Sebaiknya pengadukan sesuai maka akan menaikan *film diffusion* sampai titik *pore diffusion* yang merupakan faktor pembatas dalam sistem batch dilakukan pengadukan yang tinggi.

2. Karakteristik biokoagulan

Adsorpsi dipengaruhi oleh dua sifat permukaan yaitu energi permukaan dan gaya tarik permukaan, oleh karena itu sifat fisik yaitu ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat yang terpenting dari bahan yang akan digunakan sebagai biokoagulan.

3. Kelarutan biokoagulan

Proses adsorpsi terjadi pada molekul-molekul yang ada dalam larutan harus dapat berpisah dari cairannya dan dapat berikatan dengan permukaan biokoagulan. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik-menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Dengan demikian unsur yang terlarut akan lebih sulit terserap pada biokoagulan bila dibandingkan dengan unsur yang tidak larut.

4. Luas permukaan

Luas permukaan adsorbe yang semakin tinggi maka akan semakin banyak zat yang teradsorpsi dan sebaliknya. Luas permukaan biokoagulan dapat ditentukan oleh ukuran partikel dan jumlah biokoagulan.

5. Waktu kontak

Penentuan waktu kontak yang menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kesetimbangan.

6. Temperatur

Pemanasan atau pengaktifan biokoagulan akan mengikat daya serap biokoagulan terhadap adsorbat sehingga menyebabkan pori-pori biokoagulan lebih terbuka. Pemanasan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan rusaknya biokoagulan sehingga kemampuan penyerapannya menurun.

7. pH

pH atau tingkat keasaman mempengaruhi kelarutan ion logam, aktivitas gugus fungsi pada biosorben dan kompetisi ion logam dalam

proses adsorpsi. Proses koagulasi yang terjadi secara maksimal apabila berada dalam pH optimum yaitu 5,5-6,5.

8. Konsentrasi adsorbat

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka akan semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan biokoagulan.

H. Logam Kromium

Logam kromium (Cr) adalah logam dengan karakteristik kepadatan 7,15%³ elemen paling melimpah ke-21 di permukaan bumi yang diekstraksi sebagai bijih kromit dan dikenal sebagai timbal merah siberia, keras, mengkilap, berwarna abu-abu baja, logam cukup aktif, dan dapat bereaksi dengan sebagian besar asam. Logam kromium dapat digunakan dalam beberapa industri seperti industri keramik logam, pelapisan listrik, penyamakan kulit, pembuatan batu rubi sintesis, cat pewarna, dan garam kromium dapat digunakan untuk mewarnai kaca menjadi hijau (Febria dkk, 2023).

Kromium pada lingkungan dapat terbentuk dalam dua tingkat oksidasi yaitu Cr(VI) dan Cr(III), dimana keduanya dapat terakumulasi dalam tanaman, hewan maupun tubuh manusia. Cr(III) pada lingkungan bebas terdapat dalam jumlah yang kecil, namun apabila dalam jumlah besar dapat teroksidasi menjadi Cr(VI). Logam kromium (Cr) dalam perairan dengan konsentrasi yang tinggi dapat menimbulkan bahaya. Hal ini dikarenakan kromium (Cr) memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam perairan dan bersifat toksik,

korosif, dan karsinogenik yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti kanker paru-paru hingga dapat menyebabkan kematian apabila terakumulasi dalam jumlah yang besar (Mayasari dan Sholeh, 2016).

I. Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan suatu analisa yang dilakukan untuk mengetahui atau menganalisis komposisi data kuantitatif unsur yang terkandung di dalam objek. Analisa SEM ini memanfaatkan interaksi antara elektron sumber dengan elektron penyusun sampel yang akan menghasilkan emisi elektron atau foton. Hasil interaksi tersebut akan direkam oleh detektor, kemudian hasil tersebut dapat divisualisasikan sehingga dapat menghasilkan morfologi sampel (Oktamuliani dkk., 2015). Karakterisasi analisa SEM pada biokoagulan umumnya dilakukan untuk mengetahui morfologi partikel dan diameter pori serta kemampuan adsorbat dalam menyerap partikel dan ion atau kation pada sampel (Hadisoebroto, 2023).

J. Hipotesis

1. Biokoagulan buah ketapang (*Terminalia catappa*) efektivitas mengadsorpsi logam kromium (Cr) lebih dari 50%.
2. Penambahan berat biokoagulan buah ketapang sebanyak 10 gram paling efektif dalam menurunkan kadar kromium (Cr).