

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN HIPOTESIS

A. Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah salah satu industri yang mempunyai wawasan dan peran dalam pengembangan industri kulit di Indonesia. Industri ini merupakan industri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi atau kulit samak. Tujuan dari proses penyamakan kulit yaitu menjadikan kulit menjadi awet dan tidak mudah rusak akibat dari faktor fisika dan kimia serta biologis (Rukmana dkk., 2022). Adapun Bahan yang digunakan dalam proses penyamakan kulit yaitu kulit kambing, sapi, kelinci, kerbau, domba dan berbagai jenis kulit ikan seperti ikan pari dan ikan nila (Fatimah dkk., 2024). Bahan kulit tersebut diolah dalam proses penyamakan kulit menjadi produk yang diperlukan oleh kebutuhan manusia seperti sepatu, dompet, tas, jaket, dan sarung tangan kulit dan lain-lain (Maryudi dkk., 2021). Adapun proses penyamakan kulit terdiri dari tiga tahap yaitu (Kuncoro dan Soedjono, 2022);

1. Pra-Penyamakan (*Beamhouse*) yaitu proses persiapan kulit segar menjadi kulit piket yang siap untuk disamak. Proses pada tahap ini terdiri dari:
 - a. Perendaman (*soaking*) yaitu tahap penghilangan kotoran seperti darah, larutan garam, dan protein terlarut yang menempel di kulit.
 - b. Pengapuran (*liming*) yaitu bagian kulit yang tidak dibutuhkan dihilangkan.
 - c. Penghilangan kapur (*deliming*) adalah kapur di kulit dihilangkan dengan bahan kimia asam lemah.

- d. Pengikisan protein (*batting*) adalah metode integrasi pengikisan minyak dan lemak kulit.
 - e. Tujuan pengikisan lemak untuk menghilangkan minyak dan lemak alami yang lebih pada kulit.
 - f. Pengasaman (*Pickling*) merupakan proses kulit mentah diawetkan sebelum masuk tahap *tanning*.
2. Penyamakan (*Tanning*) adalah proses utama dalam penggunaan bahan krom sulfat sebagai bahan untuk menstabilkan jaringan protein dan berubah sifatnya secara fisik, mekanik, kimia, dan biologi. Tahap ini juga dilakukan secara bertahap.
 3. *Pasca* penyamakan (*Post tanning*) yaitu tahap penyempurnaan kulit agar kulit terbentuk. Tahap dari proses ini yaitu:
 - a. *Pressing* (*sammyng*) yaitu kelembaban kulit dihilangkan
 - b. Penyamakan sekunder (*retanning*) yaitu tahap penyempurnaan dengan memaksimalkan kulit tidak mengalami resisten.
 - c. Pewarnaan (*dyeing*) adalah tahap pewarnaan pada dasar kulit yang disamak.
 - d. Perminyakan (*fatliquoring*) adalah tahap terakhir penggunaan minyak pada kulit yang bertujuan untuk kelembaban kulit dan terdapat efek lentur.

B. Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair yang terdapat pada penyamakan kulit merupakan salah satu limbah dengan penghasil kuantitas terbesar. Hal itu, disebabkan bahwa dalam proses penyamakan mengolah kulit mentah dalam 1 ton kulit mentah memperoleh air limbah sebesar 30-35 m³. Diketahui bahwa limbah cair tersebut mengandung bahan seperti kapur, natrium sulfida, ammonium sulfat, garam dapur, asam sulfat, dan krom (Kuncoro dan Soedjono, 2022). Bahan pada limbah cair memiliki sifat toksik dan harus diukur kualitasnya, sehingga dalam proses pembuangan dapat disesuaikan dengan standar baku. Cemaran limbah di Indonesia setiap daerah memiliki standar bakunya masing-masing, hal itu dapat ditunjukkan pada kegiatan industri penyamakan kulit menurut PERGUB DIY NO. 7 Tahun 2016 pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Industri Penyamakan kulit Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor. 7 Tahun 2016.

Parameter	Proses Penyamakan Menggunakan Krom	
	Kadar Paling Banyak (Mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (Kg/ton)
BOD5	50	2,0
COD	110	4,4
TSS	50	2,0
TDS	2.000	80
Sulfida (sebagai S)	0,5	0,02
Krom Total (Cr)	0,5	0,02
Nitrogen Total (sebagai N)	10	0,4
Ammonia Total (NH ₃ sebagai N)	0,5	0,02
Minyak dan Lemak Total	5,0	0,2
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara	
pH	Peraturan 6.0 - 9.0	
Debit Limbah Paling Banyak (m ³ /ton bahan baku)	40	

C. Karakteristik Limbah Cair

Parameter yang dijelaskan merupakan parameter yang dilakukan pada penelitian ini. Tujuan pengukuran ini yaitu sebagai parameter pendukung dan mengetahui karakteristik pada air limbah penyamakan kulit selama prosesnya. Adapun penjelasannya dapat dilihat sebagai berikut:

a. Suhu

Suhu dari air limbah memiliki karakteristik yang berpengaruh pada reaksi kimia, laju reaksi, kehidupan dalam air dan keberlangsungan air yang bermanfaat. Laju reaksi biokimia yang naik maka suhu akan naik namun jumlah oksigen di air akan turun (Farida dan Hartanti, 2021). Suhu atau temperatur pada air yang diperlukan oleh udara sekitarnya yaitu $\pm 3^{\circ}\text{C}$, karena pada nilai suhu tersebut udara sekitarnya akan memberikan rasa segar, namun tergantung dari iklim setempat atau jenis sumber airnya. Namun disisi lain, suhu air juga berpengaruh pada toksisitas bahan kimia pencemar, pertumbuhan mikroorganisme dan virus (Ningrum, 2018). Diketahui jika suhu air yang tinggi dengan melebihi batas normal maka air mengindikasikan terdapat bahan kimia yang terlarut dalam jumlah yang cukup besar atau terdapat bahan kimia dalam proses penguraian oleh mikroorganisme yang berbahaya bagi tubuh (Amani dan Prawiredjo, 2016).

b. Derajat Keasaman (pH)

pH atau derajat keasaman dibutuhkan untuk menyatakan tingkat asam dan basa pada suatu larutan. pH juga diartikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktivitasnya tidak bisa diukur

secara eksperimen namun nilainya tetap dihitung secara teoritis (Farida dan Hartanti, 2021). Tujuan dari pengukuran pH air yaitu untuk mengetahui konsentrasi ion H^+ dan OH^+ yang terlarut. pH atau derajat keasaman memiliki nilai normal yaitu 7, jika nilai lebih besar dari 7 itu artinya bersifat basa, dan jika nilai pH kurang dari 7 artinya bersifat asam (Rezki dkk., 2014).

c. TDS (*Total Dissolved Solid*)

TDS yaitu zat organik, anorganik, dan material lainnya yang berdiameter $<10^{-3} \mu$ dan terlarut di dalam air. Salah satu sumber utamanya yaitu limbah cemaran dari industri. Konsentrasi pada TDS jika berubah maka akan membahayakan, karena hal itu dapat menyebabkan salinitas, komposisi dan toksisitas ion juga akan berubah. Akibat dari penyebab tersebut maka keseimbangan biota air dan biodiversitas terganggu serta bersifat toksik (Farida dan Hartanti, 2021). Adanya perubahan konsentrasi pada TDS, maka bahan yang terdapat air limbah tidak akan larut dan akan membentuk koloid yang tersuspensi yang mengakibatkan adanya nilai kekeruhan dalam suatu perairan meningkat. Tidak hanya itu saja, adanya kekeruhan juga akan menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam perairan dan hal itu berpengaruh pada proses fotosintesis (Mustofa, 2023).

d. *Dissolved Oxygen* (DO)

Oksigen terlarut adalah terdapat oksigen yang banyak yang terkandung di dalam air dengan satuan miligram per liter. Oksigen terlarut jika konsentrasinya semakin besar maka mengindikasikan air memiliki

derajat pengotor yang relatif kecil. Keberadaan oksigen di dalam air sangat dibutuhkan oleh kehidupan organisme perairan sehingga jika konsentrasinya kecil maka air mengindikasikan adanya cemaran dengan organik yang tinggi. Oleh karena itu adanya pengukuran kadar oksigen penting sebagai indikator penentuan kualitas air limbah (Fadzry dkk., 2020).

Tidak hanya itu faktor yang berpengaruh pada kelarutan oksigen yaitu adanya kekeruhan air, suhu, salinitas, dan pergerakan massa air serta udara yang dapat berpengaruh pada kecepatan difusi oksigen dari udara. Diketahui jika kedalaman air semakin dalam maka kadar oksigen akan menurun, hal ini disebabkan air jauh dari kontak udara luar sehingga oksigen pada bagian dalam akan banyak dan banyak biota yang hidup. Maka dari itu, jika suplai oksigen sedikit maka untuk memenuhi kebutuhan oksigen berjalan optimal maka perlu menggunakan aerasi dengan alat aerator (Tangahu dkk., 2024).

D. Kromium (Cr)

Kromium (Cr) dari limbah penyamakan kulit merupakan salah satu kandungan logam berat hasil limbah cair yang sebagian besar berasal dari proses *chrome tanning* (Hartanti dkk., 2014). Diketahui bahwa kromium merupakan logam berat yang membentuk valensi Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Valensi Cr^{3+} paling banyak ditemui, namun valensi ini berbahaya jika ditemukan di tanah dan di batuan kadar logamnya kecil dalam bentuk oksida karena adanya faktor cuaca; oksidasi; dan ada aktivitas bakteri yang mengubah senyawa yang tidak larut menjadi larut. Valensi Cr^{3+} juga bisa ditemukan di dalam penyamakan kulit sebagai katalis

industri dan pewarna pada cat, fungisida dan keramik serta pabrik gelas. Sementara itu valensi Cr^{6+} merupakan valensi yang jarang ditemukan di alam, namun dapat ditemukan di perairan akibat dari kegiatan industri dan aktivitas domestik di air limbah lainnya (Berniyanti, 2018).

Sifat dari kromium terdapat dua sifat yaitu sifat pertama fisika seperti zat padat kristal, logam berat berkilau, dan kerak perak keabu-abuan. Jika dipanaskan maka kromium akan membentuk oksida kromat hijau. Hal itu dikarenakan logam ini tidak stabil pada oksigen sehingga akan cepat menghasilkan lapisan oksida tipis. Sifat kedua kimia ini yaitu unsur logam dengan nomor atom 24. Kromium heksavalen memiliki sifat toksik dibandingkan dengan kromium trivalent, karena kedua valensi tersebut memiliki sifat toksik yang berbeda tergantung dari bilangan oksidasinya. Selain itu kromium juga dapat bersifat persisten, bioakumulatif dan toksik yang tinggi yang tidak mudah terurai di dalam lingkungan (Berniyanti, 2018).

Pengaruh kromium (Cr) pada tanaman yaitu menghambat perkembangan pada biji, akibatnya saat benih berkecambah maka tertoleran kromium. Beberapa penelitian mengindikasikan jika biji terkena kromium maka terjadi penurunan perkecambahan karena biji depresif pada aktivitas amilase dan transportasi gula ke embrio serta aktivitas protease akan meningkat. Cekaman tersebut menjadi faktor penting dalam pengaruh fotosintesis, dalam hal fiksasi CO_2 , transport elektron, fotofosforilasi dan aktivitas enzim. Ada tiga yang memicu kemungkinan yang terjadi pada modifikasi metabolisme yaitu pertama perubahan pigmen produksi seperti klorofil dan antosianin. Kedua produksi

metabolit meningkat seperti glutathione, asam askorbat dan memicu kerusakan tanaman. Ketiga yaitu pusat metabolisme berubah dalam penyaluran metabolisme menghasilkan resistensi atau toleran cekaman kromium berupa *phytochetins* dan *histidine* (Handayanto dkk., 2017).

E. Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan strategi yang digunakan oleh tanaman untuk mendekontaminasi tanah, lumpur, sedimen dan air limbah. Proses dekontaminasi tergantung dari kondisi tingkat pembersihan yang diperlukan; tipe tanaman; dan beberapa kategori teknologi fitoremediasi seperti fitoekstraksi, fitofiltrasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, fitodegradasi, dan rizodegradasi (Chandra dkk., 2017). Adapun tanaman atau tumbuhan yang menyerap cemaran logam diklasifikasikan ada tiga yaitu akumulator, indikator, dan eksklusi. Ketiga klasifikasi tersebut tergantung dari serapan dan perpindahan logam oleh tumbuhan ke bagian atas tanah (Arumingtyas dkk., 2023).

Tanaman akumulator memiliki dua kelompok yaitu pertama tanaman dengan potensi akumulasi logam berat yang tinggi dan efisiensi biomassa yang kecil (hiperkumulator). Kedua tanaman dengan kapasitas ekstraksi lebih rendah daripada hiperkumulator (*non* hiperkumulator). Hiperkumulator juga tergantung dari proses penyerapan, transportasi logam dari membran sel akar, pemuatan logam ke xilem dan translokasi ke pucuk serta penyerapan dan detoksifikasi logam dalam jaringan. Epidermis, trikoma, dan kutikula merupakan lokasi dengan jumlah detoksifikasi yang banyak, sedangkan sel-sel tetangga atau

bagian subsidiari masih terlindungi dari sifat toksik logam. Tumbuhan indikator merupakan tumbuhan yang mengatur perpindahan logam dari akar ke pucuk dan ada penyekat pada tingkat akar ke dalam tanaman dibatasi pergerakannya saat logam masuk (Arumingtyas dkk., 2023).

Kapasitas translokasi tanaman merupakan potensi akumulasi pencemaran logam berat dari akar ke pucuk dengan karakter kritis yang dipertimbangkan untuk perbaikan pengembangan fitoremediasi selanjutnya. Mekanisme detoksifikasi bahan cemaran logam dalam pemulihan performa tanaman yaitu terjadi karena sebagian dari sifat logam berat tidak larut dalam tanah secara hayati. Bioavailabilitas tanaman akan naik dengan melepaskan eksudat akar dan merubah pH rizosfer dan logam berat akan naik atau larut. Proses peningkatan logam akan bergerak melewati membran sel di akar dengan melewati dua jalur yaitu jalur apoplastik (difusi pasif) dan jalur simplastik (transport aktif yang memerangi gradien potensial elektrokimia dan konsentrasi melewati membran plasma). Diketahui pada jalur simplastik tergantung dari energi yang berdiam oleh ion logam (Arumingtyas dkk., 2023).

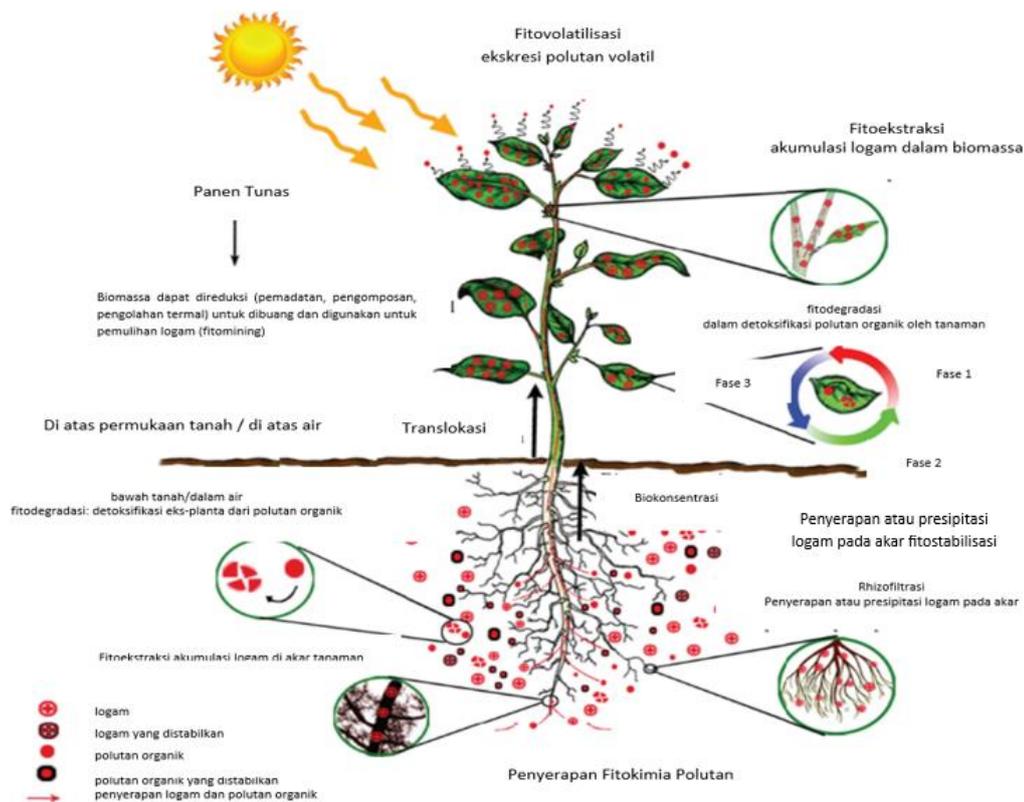
Logam berat yang sudah melewati akar kemudian akan terbentuk kompleks seperti pengkelat asam organik yang terimobilisasi di ruang ekstraseluler (dinding sel apoplastik) atau ruang intraseluler (kompartemen simplastik berupa vakuola). Agen ion tersebut akan naik ke dalam *stele* dan masuk ke xilem melalui simplasma akar. Proses selanjutnya maka akan ditranslokasikan ke pucuk melalui xilem dan menyebar ke daun dan di letakan di kompartemen ekstraseluler (dinding sel) atau vakuola tanaman, maka dari itu

tanah akan membendung cemaran akumulasi logam bebas di sitosol (Arumingtyas dkk., 2023). Menurut Arumingtyas dkk. (2023), terdapat penjelasan detoksifikasi secara umum dalam strategi pertahanan logam berat yaitu;

1. Penghindaran (*Avoidance*) yaitu tanaman mampu membatasi serapan dan pergerakan logam berat dari akar ke jaringan. Strategi ini merupakan tingkat pertahanan pertama tingkat ekstraseluler melalui mekanisme penyerapan dengan modifikasi logam berat pada eksudat akar lalu terbentuk dengan ion yang stabil. Mekanisme dilanjut dengan pengendapan logam dimana bioavailabilitas dibatasi dan sifat toksik di kurangi, lalu masuk ke mekanisme eksklusi dimana logam berat hanya dibatasi pada akar tidak tersebar ke pucuk karena bertujuan sebagai perlindungan bagian aerial logam berat yang berbahaya. Bahan seperti mikoriza arbuskular dapat memicu adanya pembatasan penyerapan logam melalui adsorpsi atau khelasi logam di rizosfer dan akan menghalangi penyerapan logam berat. Diketahui bahwa pektin dinding sel pada gugus karboksilat asam poligalakturonat bermuatan negatif dapat mengikat logam, sehingga dinding sel mempunyai peran dalam penukar kation dalam pembatasan ion logam yang masuk bebas ke dalam sel.
2. Toleransi (*tolerance*) merupakan logam berat yang sudah melewati sitosol strategi ini diadopsi pada tanaman untuk mengatur Tingkat toksisitas ion logam. Garis pertahanan kedua intraseluler ini masuk pada mekanisme inaktivasi, khelasi dan kompartementalisasi. Jika tanaman kelebihan ion

logam di sitosol maka harus ada detoksifikasi akar efek toksik kurang. Khususnya pada khelasi dengan kompleksasi logam ion logam berat dengan ligan sehingga konsentrasi ion logam yang tinggi akan relatif rendah.

Adapun kriteria tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai proses fitoremediasi yaitu tumbuh tinggi lebih cepat, hidup di habitat yang kosmopolitan, dapat mengkonsumsi air dengan jumlah yang besar dan waktu yang cepat, bisa meremediasi lebih dari satu polutan, memiliki toleransi yang tinggi dan mudah dipelihara (Waluyo, 2018). Berdasarkan hal tersebut maka mekanisme dari fitoremediasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Beberapa Strategi dari Skema Representasi Fitoremediasi (Chandra dkk., 2017).

Berikut adalah beberapa mekanisme dari fitoremediasi secara aktif, yaitu;

1. Fitotransformasi merupakan mekanisme dengan cara kontaminan bahan organik dan *nutrient* tanah atau air tanah diambil dan ditransformasikan oleh tumbuhan. Proses ini mampu membantu tumbuhan dalam pengurangan cemaran yang toksik, dan akan menjadi hasil metabolit yang terakumulasi di tanaman (Waluyo, 2018).
2. Fitoekstraksi adalah tumbuhan memiliki sifat yang terakumulasi dan tersimpan di bagian organ tertentu saja pada tumbuhan, seperti akar, batang, dan daun pada tanaman air. Jika organ tersebut terakumulasi hal itu juga dapat dikatakan sebagai hiperkumulator (Waluyo, 2018). Ada dua jenis proses fitoekstraksi yaitu pertama proses fitoekstraksi terus menerus, dimana tumbuhan dapat mengakumulasi bahan polutan dalam jumlah yang besar selama masa tumbuhnya (hiperkumulator). Jenis yang kedua yaitu fitoekstraksi induksi, dimana dalam prosesnya terjadi upaya peningkatan akumulasi bahan beracun pada waktu tertentu dengan adanya penambahan bahan pengkelat seperti seperti EDTA, EGTA, EDDS dan asam sitrat (Handayanto dkk., 2017).

Adapun faktor keberhasilan pada proses fitoekstraksi yaitu karakteristik tumbuhan, seperti biomassa dengan jumlah yang besar, potensi remediasinya dan waktu yang cepat. Tidak hanya itu Nilai BAC (*Biological Accumulation Coefficient*), yaitu rasio konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dengan konsentrasi logam dalam tanah, dimana jika nilai BAC >1 maka dapat diaplikasikan sebagai fitoekstraksi. Nilai TF (*Translocation*

Factor) adalah rasio konsentrasi logam dalam tajuk tanaman dengan konsentrasi akar tanaman. Nilai BCF dan TF yang tinggi maka fitoekstraksi logam akan terpengaruh dan standar penilaian tersebut yaitu $BCF > 1$ dan $TF < 1$ sebagai potensi fitostabilisasi (Handayanto dkk., 2017).

Syarat untuk tanamannya yaitu tumbuh di luar daerah tumbuhnya, punya sistem akar yang melimpah dan potensi pengangkutan dengan toleransi yang tinggi. Oleh karena itu, diharapkan hasil biomasnya banyak dan tumbuh dengan cepat tanpa adanya hama dan penyakit. Tanamannya juga perlu memiliki kanopi dengan sistem perakaran yang padat, topografi yang sesuai dan logam berat dalam tanah tergantung dari tingkat ketersediaan logam yang diserap (Handayanto dkk., 2017).

3. Fitovolatilisasi yaitu unsur logam yang sudah terserap di tumbuhan diubah menjadi zat yang memiliki sifat volatil yang mudah menguap (Waluyo, 2018). Unsur logam yang dikonversi tersebut dilepas dalam bentuk unsur logam yang kurang beracun ke atmosfer serta unsur logam yang menguap diserap kembali. Proses ini tidak maksimal dalam penyisihan unsur logam, tetapi hanya dipindahkan saja dari tanah ke atmosfer, yang nantinya akan diendapkan kembali ke tanah (Handayanto dkk., 2017).
4. Fitodegradasi adalah proses metabolisme oleh bantuan beberapa enzim di dalam tumbuhan (Waluyo, 2018). Proses tersebut didegradasi dengan bantuan enzim *dehalogenase* dan *oksigenase* pada mikroorganisme rizosfer. Tanaman akan mendapatkan akumulasi *xenobiotic* organik dari cemaran dan akan mendetoksifikasi pada proses metabolisme (Handayanto dkk., 2017).

5. Fitostabilisasi yaitu pengurangan mobilitas dan ketersediaan hayati bahan pencemar di lingkungan, agar pergerakannya masuk ke dalam air tanah atau ke dalam rantai makanan. Mekanismenya dengan penyerapan oleh akar, pengendapan, kompleksasi valensi logam di rizosfer. Enzim redoks pada tanaman akan terkonversi oleh logam berbahaya menjadi relatif kurang, maka kerusakan tanaman akibat cekaman logam akan kurang juga. Syarat tanamannya adalah menggunakan tumbuhan asli yang tercemar pada logam berat dikarenakan mampu melakukan evolusi untuk bisa bertahan dari cekaman logam di lingkungan (Handayanto dkk., 2017).

6. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi yaitu penyerapan logam berat dari air atau tanah limbah oleh tumbuhan. Mekanisme ini dapat diaplikasikan pada medium dengan polutannya termasuk suatu badan perairan (Waluyo, 2018).

Sedangkan untuk tumbuhan yang berperan sebagai pasif dalam proses fitoremediasi yaitu sebagai berikut (Waluyo 2018);

1. Biofilter yaitu mekanisme oleh tumbuhan sebagai sistem biofilter dimana tumbuhan melakukan penyerapan dan degradasi cemaran yang berasal dari air, udara dan tanah. Mekanismenya adalah dengan cara kontaminan disaring dan di filter.
2. Transfer oksigen yaitu tumbuhan dengan sistem perakaran di transfer dengan kebutuhan oksigen untuk mikroba. Proses difusi gas akan memicu apabila ada

water table yang bisa diturunkan. Mekanisme ini secara langsung melibatkan penguraian jasad hidup.

3. Sumber karbon dan energi yaitu eksudat akar pada tumbuhan dikeluarkan dari proses metabolisme. Zat yang terlibat dimanfaatkan oleh mikroba tanah sebagai sumber energi. Hal ini memanfaatkan sebelum penggunaan sumber energi dan karbon dari polutan.
4. Tarikan polutan oleh sinar matahari yaitu penarikan polutan ke daerah rizosfer oleh bantuan cahaya matahari, sehingga intensitas cahaya harus cukup.

Perlakuan tanaman selama proses fitoremediasi dengan konsentrasi logam yang tinggi dalam biomassa dipanen, maka dapat diencerkan dengan capaian konsentrasi tepat. Hasil tersebut dapat diterima di lingkungan dengan menggabungkan biomassa bersih dan dapat juga dengan formulasi bahan tanaman seperti pupuk atau pakan ternak. Keterbatasan metode fitoremediasi adalah butuh waktu yang lama, efisiensi yang dihasilkan dibatasi oleh lambatnya pertumbuhan tanaman dan rendahnya biomassa yang dihasilkan. Mobilisasi kadangkala mengalami kesulitan, karena hanya berlaku pada tingkat cemaran yang ringan dan kontaminasi rantai makanan (Handayanto dkk., 2017).

Kelebihan penggunaan teknik fitoremediasi adalah memiliki harga yang murah, volume limbah sebagai buangan sekunder lebih rendah toksiknya. Selain itu, dapat menjadi metode alternatif sebagai upaya mitigasi dari remediasi jangka panjang pada lokasi tercemar. Sedangkan kekurangan dari fitoremediasi adalah

keterbatasan proses akumulasi pada tumbuhan hiperkumulator yang dapat berakibat pada rantai makanan (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

F. Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*)

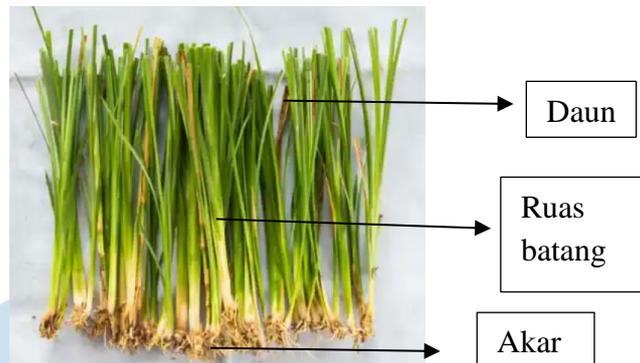
Salah satu jenis tanaman dapat digunakan sebagai hiperkumulator adalah akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Karakteristik dari akar wangi yaitu termasuk tumbuhan menahun, memiliki tinggi mencapai 1 m, memiliki batang yang beruas berbentuk pita, pelepah berwarna hijau, terdapat buah padi dengan warna putih kecoklatan, dan akarnya memiliki kandungan minyak. Nama lokal akar wangi yaitu useur (Gayo); haplas, usar (Batak); akar babau (Minangkabau); akar banda (Timor); iser, morwastu (Sumatera Utara); Usa, urek usa (Makasar); Janur, Narawastu, usar (Sunda); larasetu, larawastu, rarawestu (Jawa) (Putra, 2015).

Tanaman akar wangi juga dapat tumbuh pada dataran rendah (200 m dpl) dan dataran tinggi (dengan elevasi sampai 1.500 m dpl). Tanaman ini membutuhkan curah hujan dengan kisaran 2.000-3000 mm tiap tahun dengan bulan kering tidak lebih dari 2 bulan. Tanaman ini juga baik dalam tanah bertekstur berpasir dan tanah abu vulkanik (Seswita dan Hadipoentyanti, 2010). Tidak hanya itu, menurut Truong (2003), tanaman akar wangi juga dapat diaplikasikan pada lahan basah.

Karakteristik morfologis tanaman akar wangi atau rumput vetiver memiliki sistem perakaran yang besar dan halus sehingga dapat tumbuh dengan cepat, akar dapat tumbuh dengan kedalaman 3-4 m pada tahun pertama. Tidak

hanya itu akar tanaman vetiver toleran terhadap kondisi kering dan tidak mudah dicabut dalam kondisi arus yang kuat. Batang tanaman ini juga kaku dan tegak yang berfungsi untuk menahan aliran air serta tahan terhadap hama, api, dan penyakit; mempunyai bentuk yang rapat, sehingga ketika ditanam rapat dapat bertindak sebagai sedimen dan penyebar air yang efektif. Tunas akan tumbuh dari tajuk bawah tanah dan akar baru tumbuh ketika akarnya terkubur dengan sedimen yang terperangkap, dan sedimen akan tumbuh pada endapan lumpur dan akan tumbuh membentuk keras sedimen yang terperangkap (Truong dkk., 2008).

Sedangkan pada karakteristik fisiologisnya yaitu tanaman ini mampu tumbuh dalam kondisi cuaca ekstrem, dengan suhu dari -14°C hingga $+55^{\circ}\text{C}$, mampu tumbuh kembali dengan cepat ketika terkena kekeringan, embun yang beku dan kondisi buruk lainnya. Selain itu, toleransi pH tanah dapat tumbuh pada 3,3 hingga 12,4 tanpa pembenahan tanah, memiliki tingkat toleransi yang tinggi pada herbisida dan fungisida, efisien dalam penyerapan nutrisi seperti N dan P dan logam berat pada air yang tercemar. Fisiologis tanaman ini juga memiliki tingkat toleran yang tinggi pada media tumbuh tinggi keasaman, alkalinitas, salinitas, dan dapat toleran pada beberapa logam berat seperti Ai, Mn, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se, dan Zn dalam tanah. Khususnya pada logam berat kromium dilaporkan kisaran adaptasi di Australia yaitu $200-600 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Truong dkk., 2008). Berikut adalah tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) (Elfianis, 2022).

Adapun klasifikasi dari tanaman akar wangi sebagai berikut:

Kerajaan	: <i>Plantae</i>
Sub-kerajaan	: <i>Tracheobionta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Equisetopsida</i>
Bangsa	: <i>Poales</i>
Suku	: <i>Poaceae</i>
Marga	: <i>Chrysopogon</i>
Spesies	: <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty (<i>Sinonim:</i> <i>Vetiveria zizanioides</i> (L.) Nash.)

Sumber: *Plantamor.com*

Spesies *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash menurut sumber dari *plantamor.*, menyebutkan bahwa akar wangi merupakan tumbuhan menahun dari *famili/keluarga* rumput-rumputan (*Poaceae*). Di Indonesia sendiri disebut dengan nama umum tanaman akar wangi. Tidak hanya itu, penamaan *Vetiveria zizanioides* (L.) dengan *Chrysopogon zizanioides* L. masih merujuk pada spesies yang sama atau sinonim pada spesies ini. Diketahui bahwa menurut Truong dkk., (2008) bahwa sistem vetiver (VS) didasarkan pada aplikasi rumput vetiver dan sekarang di reklasifikasikan menjadi *Chrysopogon zizanioides* L. Tanaman dengan nama kedua spesies tersebut memiliki peran penting dalam pengolahan lahan, penelitian dan pengembangan terus dilakukan

selama 20 tahun terakhir, dan penggunaan nama VS atau sistem vetiver ini yang sekarang dapat digunakan untuk teknik bioteknologi untuk stabilisasi lereng curam, pembuangan air limbah, fitoremediasi dan dan tujuan perbaikan lingkungan lainnya.

G. Biomassa

Bahan organik yang dihasilkan pada proses fotosintesis, baik dalam bentuk produk maupun limbah disebut biomassa. Contoh dari biomassa biasanya dihasilkan dari tumbuhan, pohon, rumput, ubi jalar dan berbagai jenis limbah pertanian, limbah hutan, feses, dan kotoran hewan (Febriani dkk., 2024). Biomassa yang terdapat pada tumbuhan memiliki kandungan persentase air 70%, bahan organik 27% dan mineral 3%. Kandungan paling tinggi dalam biomassa tumbuhan yaitu air, karena air memiliki peran untuk metabolisme dalam proses fotosintesis sehingga kandungan mineral akan terpenuhi dan juga guna mendukung fisiologis dan secara praktis tanaman (Rai, 2023).

Prinsip dari biomassa tanaman yaitu tanaman menyerap sumber karbon dari matahari dalam proses fotosintesis dengan mempergunakan air dan unsur dalam tanah serta CO_2 dari atmosfer lalu menghasilkan bahan organik untuk pembentukan jaringan pada daun, bunga, atau buah. Dalam prosesnya energi CO_2 akan dilepas ke atmosfer, dimana siklus CO_2 akan menjadi pendek dibandingkan dengan hasil pembakaran minyak bumi atau gas alam namun tidak ada efek pada kesetimbangan CO_2 di atmosfer (Fitria dkk., 2024).

Biomassa tanaman dalam konteks fitoremediasi dilakukan dengan cara pengukuran berat basah dan berat kering. Berat basah merupakan berat suatu tanaman hidup yang diukur dengan cara ditimbang setelah proses fitoremediasi atau sebelum tanaman layu akibat kehilangan air (Marendra dkk., 2024). Pengukuran berat basah bisa saja dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kerapatan tanah yang kurang efektif sehingga akan menyulitkan akar untuk menembus lapisan tanah, dan pertumbuhannya sedikit melambat. Tidak hanya itu volume akar juga berpengaruh dimana akar yang semakin besar akan mengakibatkan kontur tanah tidak padat dan sirkulasi air dan udara menjadi lapang (Sulastrri dkk., 2023).

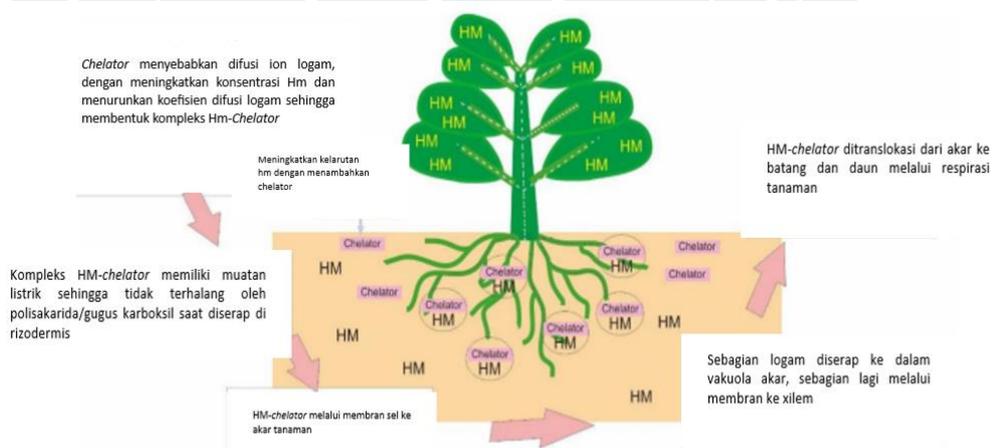
Berat kering tanaman adalah hasil dari asimilasi fotosintat yang ditranslokasikan dari akar ke seluruh bagian tanaman dan hasil dari penambahan protoplasma karena bertambahnya ukuran dan jumlah sel (Lewu dan Killa, 2020). Faktor yang dapat berpengaruh pada berat kering yaitu adanya volume akar dan banyaknya akar pada tanaman yang diperoleh. Selain itu, aktivitas akar dalam proses pengangkutan air dan unsur hara juga dipengaruhi. Oleh karena itu faktor jumlah tanaman, dapat berpengaruh pada persaingan unsur hara dan menciptakan adanya batasan dalam pertumbuhan organ tanaman serta penambahan ukuran dan jumlah sel menjadi terbatas (Sulastrri dkk., 2023).

H. *Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid (EDTA)*

EDTA merupakan senyawa dari *Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid* yang memiliki enam posisi berikatan dengan ion logam diantaranya ada empat gugus

digunakan untuk mengurangi adanya keterbatasan pada proses fitoekstraksi logam berat dari tanah (Shinta dkk., 2021). Adapun proses dari mobilisasi logam ke agen pengkelat, sebagai berikut (Shinta dkk., 2021);

- a. Agen pengkelat akan merangsang eksudat akar (senyawa pengkelat alami)
- b. Agen rizosfer akan menaikkan transpor dan proses akumulasi HMs-*chelator* di rhizosfer.
- c. Tanaman akan mengalami proses transpirasi tumbuhan yang dapat berpengaruh pada translokasi HM di tumbuhan



Gambar 4. Mekanisme Fitoremediasi menggunakan Agen Pengkelat (Shinta dkk., 2021).

Berdasarkan Gambar 4. Menunjukkan kompleks HM-khelator bergerak pada plasmodesmata, melewati apoplas dan akan mencapai jalur casparian sehingga kompleks ini akan masuk ke aliran simplas. Proses pengangkutan berjalan dari akar dengan proses transpirasi sehingga EDTA akan berdifusi lebih tinggi dan konsentrasi logam pada tanah akan naik dalam proses desorpsi. Dalam hal ini, maka koefisien logam berat akan turun dalam bentuk kompleks, namun

dalam kondisi pH netral, gugus karboksil dan polisakarida pada sel rhizodermal tidak terhalang. Kelebihan penggunaan EDTA pada fitoremediasi adalah efektif pada proses fitoekstraksi pada berbagai jenis logam berat, murah dan mudah didapatkan sedangkan kekurangannya adalah resiko pencemaran air tanah (Shinta dkk., 2021).

Kelebihan dari agen pengkelat EDTA juga memiliki kemampuan dalam menaikkan BCF (*bioaccumulator factor*) dalam berbagai jenis tumbuhan. Disisi lain juga bahwa EDTA memiliki *biodegradabilitas* yang rendah, sehingga perlu hati-hati karena mudah persisten di lingkungan. Namun dalam hal ini, dapat dimanfaatkan untuk fitoremediasi karena EDTA dalam prosesnya itu dapat membentuk kompleks pada semua jenis logam sehingga dapat terimobilisasi oleh tumbuhan fitoremediator (Nadhila dan Titah, 2021).

I. *Constructed Wetland (CW)*

Constructed Wetland (CW) merupakan sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan tanaman air, tanah, atau media lain dan mikroba. Sistem ini dirancang bertujuan untuk sistem pengolahan air limbah, penyedia keragaman habitat, dan satwa liar, tempat rekreasi, dan penyimpanan air dan nilai estetika lingkungan. Fungsi dari *Constructed Wetland (CW)* yaitu untuk mengolah air limbah dari berbagai industri seperti rumah sakit, domestik dan pertambangan (Kholik, 2020).

Kelebihan dari sistem ini yaitu biaya konstruksi lebih rendah, pendekatan ramah lingkungan yang bisa diaplikasikan oleh masyarakat, dan biaya operasi

perawatan relatif rendah, dan fleksibilitas yang tinggi dalam desain lanskap yang diperlukan untuk habitat dan satwa liar dan organisme. Sementara itu, untuk kekurangannya yaitu butuh lahan yang luas, ada ketidakkonsistenan pengolahan dalam pengolahan air limbah, tidak cocok diolah jika jika dalam pembuangannya harus standar baku, ammonia dan pestisida akan ada efek yang merugikan pada tanaman mikroorganisme dan toleransinya rendah pada kondisi pengeringan (Hassan dkk., 2021). Sistem pengolahan lahan basah atau *Constructed Wetland* (CW) memiliki beberapa kriteria berikut (Hassan dkk., 2021);

1. *Surface flow* (SF)

Surface flow (SF) atau aliran permukaan merupakan permukaan air limbah yang dialirkan di atas tanah. Bahan media yang digunakan yaitu substrate berupa tanah liat dan pasir yang berfungsi agar agar dapat mempertahankan air dan kedalaman air yang dangkal. Kriteria lahan basah ini memiliki konsentrasi oksigen yang bervariasi namun tergantung dari tingkat kedalaman, dimana paling atas kadar oksigennya tinggi sedangkan bawah rendah. Maka dari lapisan atas dapat membantu proses aerobik (nitrifikasi) dan lapisan bawah membantu anaerobik (denitrifikasi).

2. *Subsurface Flow* (SSF)

Subsurface Flow (SSF) atau substrat lahan basah dialirkan di bawah permukaan. Media yang digunakan yaitu batu dan kerikil. Mekanisme yang terjadi pada lahan basah ini yaitu adanya pemurnian air dari proses penyerapan, penyaringan substrat, sedimentasi, pengendapan, pertukaran

ion, penyerapan tanaman dan oksidasi mikroorganismenya. Ada jenis lahan basah pada kriteria ini, yaitu:

1. *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland (HSSF)* yaitu saluran air terletak di bawah permukaan tanah. Saluran tersebut terdiri dari ukuran kerikil, dan pasir tertentu serta ditanami tanaman tertentu. Pada proses ini yang perlu diperhatikan adalah salurannya. Dimana aliran air dirancang dengan level air dibawah permukaan tanah. Tidak hanya itu, padatan juga dikeluarkan dari air limbah sebelum masuk ke saluran agar tidak menyumbat. Tangki merupakan salah satu tempat untuk sedimentasi dari buatan partikel limbah. Dan kadar oksigen pada kriteria ini cukup membantu pertumbuhan dan metabolisme bakteri aerob serta tanaman.
2. *Vertical Subsurface-Flow Constructed Wetlands (VSSF)* yaitu aliran air dibuat *vertical*, dimana aliran ini harus melewati beberapa filter sebelum memasuki saluran CW. Waktu dalam aliran lahan basah ini diperlukan untuk mengetahui peresapan air limbah. Akar tanaman bertugas dalam mentransfer sejumlah oksigen ke bawah dan periode kekeringan dimungkinkan dapat berdifusi oksigen ke bawah permukaan. Proses ini mendukung adanya pertumbuhan bakteri aerob sehingga degradasi akan meningkat dan cocok untuk nitrifikasi.

J. *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*

Spektrometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) merupakan alat analisis penentu senyawa unsur logam dan metaloid berdasarkan serapan cahaya dan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam kondisi bebas. Fotometri yang dimiliki pada alat ini terdapat *range* ukur optimum dengan panjang gelombang 200-300 nm. Prinsip kerja alat ini yaitu adanya absorpsi cahaya, dimana atom menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Absorpsi tersebut menghasilkan garis spektrum yang tajam dengan intensitas yang maksimal melalui transisi dari keadaan dasar ke tereksitasi awal yang disebut dengan garis resonansi. Oleh karena itu terdapat dua peristiwa yang di dalam AAS yaitu atom yang bebas dari sampel sehingga akan berubah dan adanya absorpsi radiasi sumber eksternal dilakukan pada atomnya (Farida dan Hartanti, 2021).

Kelebihan dari alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) yaitu karena umum digunakan untuk analisis unsur logam, memiliki sensitivitas yang tinggi. Selain itu juga, mampu mendeteksi konsentrasi unsur logam yang rendah, beberapa unsur logam dapat diukur secara bersamaan. Sementara itu kekurangan dari alat ini yaitu persiapan sampel yang cermat tidak efektif untuk unsur-unsur logam dalam bentuk padatan atau kompleks organik (Mayefis dkk., 2023).

K. Hipotesis Penelitian

1. Tanaman akar wangi yang ditambah dengan EDTA mampu meningkatkan penyerapan kromium (Cr) pada limbah cair penyamakan kulit.
2. Kemampuan penyerapan kromium akan meningkat dengan adanya EDTA yang diserap oleh tanaman akar wangi yaitu dengan menunjukkan nilai $TF < 1$ sebagai fitostabilisasi dan $TF > 1$ yaitu fitoekstraksi.
3. Tanaman akar wangi akan tumbuh tidak normal selama proses penyerapan peningkatan kromium yang ditambah besarnya EDTA.

