BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daun Puring

Daun puring *(Codiaeum variegatum)* dikenal dengan nama Croton, tanaman ini sering digunakan sebagai tanaman hias karena corak dan warnanya yang beragam, tanaman ini juga yang sudah banyak dimanfaatkan sebagai alternatif pengobatan. Puring telah menjadi salah satu tanaman yang populer dalam beberapa tahun terakhir. Menurut Sukmawati et al. (2020), puring memiliki peran penting di masyarakat karena mampu memperindah lingkungan dan menyerap polutan. Tanaman ini dikenal dengan bentuk dan warna daun yang sangat beragam. Tanaman ini sebelumnya dikenal sebagai tanaman yang sering ditanam di area pemakaman dan sebagai tanaman pagar. Namun, sekarang puring lebih dikenal sebagai tanaman hias karena memiliki bentuk dan warna yang beragam, yang menarik minat konsumen untuk mengoleksinya. Terdapat sembilan jenis puring yang dikenal, yaitu puring cobra, puring spageti lokal, puring bor merah, puring jengkol, puring jempol, puring jet merah, puring kura-kura monocolor, puring bor cristata, dan puring lele (Gogahu et al., 2016). Di Kota Gorontalo, jenis puring yang banyak ditemui adalah puring oscar *(Codiaeum variegatum)* dan puring anting *(Codiaeum affine)* (Setiawan, 2014).



Gambar 2.1 Daun Puring *(Codiaeum variegatum)*

Menurut Sulistiani (2016), daun puring diklasifikasikan secara taksonomi sebagai berikut ;

Tabel 1.1 Taksonomi Daun Puring *(Codiaeum variegatum)*

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: Codiaeum
Spesies	: Codiaeum variegatum

Sebagai tanaman tropis, puring memiliki penyebaran alami di Indonesia, dengan berbagai varietas lokal yang diakui di berbagai daerah. K. Heyne dalam bukunya "Tanaman Berguna Indonesia" mencatat berbagai nama lokal untuk puring, seperti "tarimas" (Batak), "dahengara" (Manado), "kodihu" (Ambon), dan "puring" (Jawa). Di Tanah Papua, puring dikenal dengan berbagai nama dalam bahasa lokal, seperti "atiti" (Yei), "bee'ng" (Numbay), "enggin" (Marind), dan "khame" (Sentani) (Kameubun., 2020). Tanaman puring memiliki banyak jenis, puring tersebar di seluruh asia dan Pasifik, diketahui jenis tanaman puring mencapai 1600 varietas (Fikri & Muhardi, 2023). Tanaman puring hidup di habitat bebas Amerika Selatan, Asia Selatan, dan Kepulauan Fuji.

2.1.1 Fitokimia Daun Puring

Daun puring diketahui mengandung senyawa metabolit sekunder, seperti flavonoid, saponin, steroid, alkaloid, dan tanin. Penelitian oleh Bijekar dan Gayatri (2014) menyebutkan bahwa daun puring memiliki senyawa aktif dengan estimasi kuantitatif kandungan alkaloid berada dalam kisaran 4,66–10,2%, flavonoid 33,1–37,63%, saponin 11,36–13,76%, fenolik 35,43–39,76%, tanin 10,5–15,32%, dan terpenoid 27,56–30,3%. Temuan ini diperkuat oleh penelitian Hasnirwan et al. (2018), yang mengonfirmasi bahwa ekstrak daun puring *(Codiaeum variegatum L.)* mengandung berbagai metabolit sekunder, seperti flavonoid, fenolik, saponin, steroid, terpenoid, dan alkaloid. Senyawa-senyawa tersebut tidak hanya berperan dalam

aktivitas antibakteri, tetapi flavonoid juga memberikan manfaat penting dalam proses adsorpsi logam berat.

Flavonoid termasuk dalam kelompok polifenol dan memiliki aktivitas biologis yang signifikan (Purnamasari et al., 2022). Senyawa ini ditemukan di hampir semua tumbuhan hijau dan sering ditemukan dalam berbagai ekstrak tanaman (Arifin, 2018). Flavonoid berperan sebagai antioksidan dengan gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik karbon. Fungsinya adalah menangkap radikal bebas dengan mendonorkan elektron sebagai reduktor, sehingga menghasilkan produk stabil dan mencegah terjadinya reaksi berantai radikal bebas (Plaza et al., 2014).

Flavonoid termasuk senyawa fenol alam yang bersifat polar karena memiliki banyak gugus hidroksil, sehingga mudah larut dalam pelarut polar seperti etanol, metanol, butanol, aseton, dan air. Kadar flavonoid dalam daun puring kura cukup tinggi, yaitu berkisar 33,01–37,63% (Bijekar, S. R et al., 2014). Berdasarkan penelitian Charter et al. (1978) dalam Hafista (2011) yang dikutip oleh Nurkaromah & Sukandar (2017), tanin dan flavonoid memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat. Gugus hidroksil (-OH) ini mudah terdeprotonasi, sehingga mampu menarik kation logam bermuatan positif.

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi, atau penjerapan, merupakan proses pemisahan di mana komponen-komponen dari suatu larutan bergerak dan menempel pada permukaan zat padat (Karim et al., 2018). Mekanisme adsorpsi terjadi ketika molekul-molekul meninggalkan larutan dan terikat di permukaan adsorben akibat sifat kimia dan fisika (Kartikaningsih et al., 2014). Dalam proses ini, komponen teradsorpsi berada di daerah antarmuka, tetapi tidak memasuki fase larutan (Karim et al., 2018). Zat yang diserap dalam adsorpsi disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerapnya dinamakan adsorben (Ragadhita & Nandiyanto, 2021).

Proses adsorpsi terdiri dari empat tahapan, yaitu:

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut ke lapisan film di sekitar adsorben.
2. Difusi zat terlarut melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut melalui pori atau kapiler dalam adsorben (*pore diffusion process*).

4. Penjerapan zat terlarut di dinding pori atau permukaan adsorben, yang merupakan proses adsorpsi sebenarnya (Reynolds, 1982 dalam Karim et al., 2018).

Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Pratiwi et al., 2020). Adsorpsi kimia melibatkan interaksi kimia antara permukaan adsorben dan adsorbat, sedangkan adsorpsi fisika terjadi karena gaya *van der Waals* dan gaya elektrostatik antara molekul adsorbat dan atom penyusun adsorben. Pada adsorpsi kimia, hanya terbentuk satu lapisan ikatan dengan energi sekitar ±100 Kj/mol, diiringi reaksi kimia. Sebaliknya, adsorpsi fisika melibatkan beberapa lapisan gas dan bersifat reversibel karena interaksi antara adsorben dan adsorbat bersifat lemah dan tidak melibatkan ikatan kovalen.

Dalam proses adsorpsi ion Cu(II) oleh adsorben daun puring (*Codiaeum variegatum*), mekanisme adsorpsi berlangsung melalui dua tahapan, yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Pada tahap awal, Adsorpsi fisik merupakan proses interaksi antara adsorben dan adsorbat yang terjadi melalui gaya antarmolekul, seperti gaya *van der Waals*, hal ini dapat terjadi dimana senyawa-senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, tanin, saponin, dan terpenoid berperan dalam menarik ion Cu(II) ke permukaan adsorben. Proses ini bersifat cepat, lemah, dan *reversibel*, dan mendominasi pada saat awal kontak antara ion logam (adsorbat) dan permukaan daun puring (adsorben) (Pei et al., 2019). Selanjutnya, adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia antara kedua komponen tersebut (Anggriawan et al., 2019). Proses ini berlangsung melalui interaksi spesifik antara gugus fungsi aktif, seperti –OH dan –COOH yang dimiliki oleh senyawa fenolik dan flavonoid dengan ion Cu(II), membentuk ikatan kovalen atau ionik yang lebih kuat dan *irreversible*.

2.2.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi meliputi ;

a. Jenis serta luas permukaan adsorben

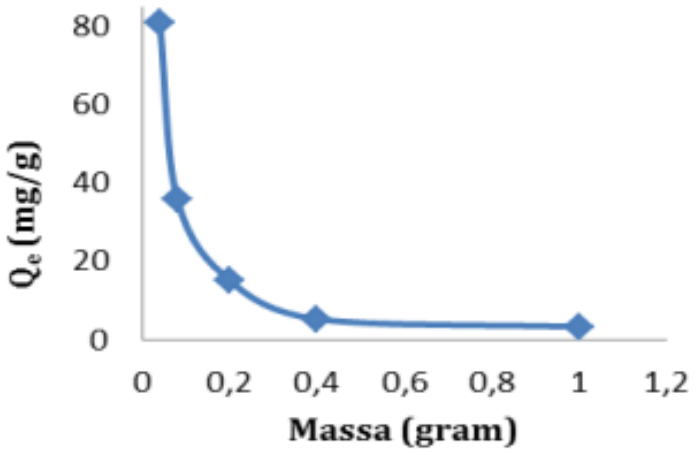
Jenis adsorben memainkan peran penting karena setiap adsorben memiliki sifat fisik dan kimia yang berbeda, seperti luas permukaan, ukuran pori, dan adanya gugus fungsional aktif. Semakin besar luas permukaan suatu adsorben, semakin banyak area yang dapat menampung molekul atau ion adsorbat, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Cendekia & Afifah, 2023). Ukuran dan distribusi pori juga sangat

menentukan, karena pori yang terlalu kecil dapat menghambat masuknya molekul target, sedangkan pori dengan ukuran yang tepat akan memaksimalkan interaksi antara adsorbat dan permukaan adsorben. Sifat permukaan adsorben juga dapat mempengaruhi adsorpsi, apakah adsorben tersebut bersifat hidrofilik atau hidrofobik, akan mempengaruhi efisiensi adsorpsi. Adsorben hidrofilik lebih efisien dalam menyerap senyawa polar seperti logam berat, sementara adsorben hidrofobik lebih baik dalam menyerap senyawa organik non-polar (Suryadi Ismadji et al., 2021).

b. Massa adsorben

Massa adsorben dapat mempengaruhi proses adsorpsi, semakin besar massa adsorben yang digunakan, persentase adsorpsi akan semakin meningkat. Namun, jika massa terus ditambahkan, peningkatan persentase adsorpsi dapat mencapai batas maksimum atau titik jenuh, menunjukkan bahwa telah terjadi kesetimbangan dalam proses tersebut. Kesetimbangan adsorpsi dapat dicapai dengan adanya waktu kontak yang cukup antara adsorben dengan adsorbat (Sera et al., 2019).

Adanya penelitian terkait daya adsorpsi adsorben hidrochar hasil sintesis tanaman eceng gondok untuk mengadsorpsi logam Cu(II) dilakukan dengan menggunakan variasi massa 0,04, 0,08, 0,2, 0,6 dan 1 g, diperoleh variasi optimum pada massa 0,04 g dengan logam Cu yang terabsorbsi sebanyak 41,7018 mg/g, data ini menunjukkan bahwa peningkatan massa adsorben menyebabkan penurunan terhadap proses adsorpsi ion logam Cu(II) karena adsorben yang telah jenuh (Khanifa et al., 2019).



Gambar 2.2 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Cu(II) (Khanifa et al., 2019)

c. Suhu

Peningkatan suhu disertai dengan peningkatan kapasitas adsorpsi dan persentase penghilangan adsorbat. (Abel et al., 2020). Pemanasan adsorben dapat membuka pori-pori adsorben sehingga dapat meningkatkan kemampuan penyerapannya. Namun, apabila pemanasan dilakukan secara berlebihan, struktur adsorben dapat mengalami kerusakan yang mengakibatkan penurunan daya serap (Imelda et al., 2019). Hal tersebut dibuktikan oleh penelitian Nurohmah et al., (2019) yang menunjukkan bahwa adsorben dari kulit jagung mampu mengurangi kadar logam dalam larutan $CuSO_4$ dan $Pb(NO_3)_2$ sebesar 80% dengan seiring peningkatan suhu menyebabkan penurunan efisiensi penyerapan logam.

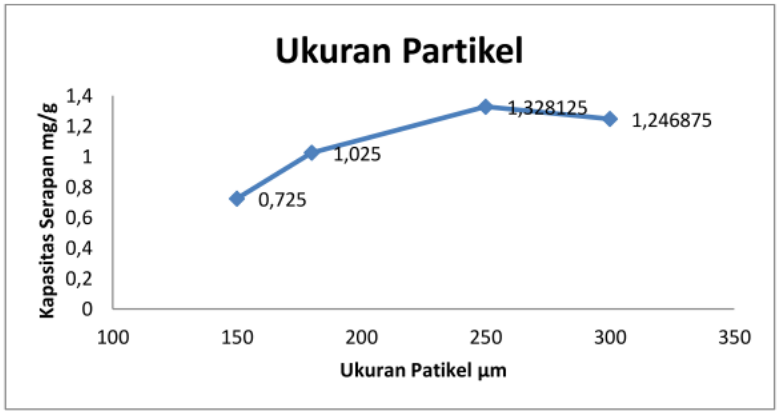
d. Ukuran partikel adsorben

Ukuran partikel merupakan karakteristik geometris yang umumnya digunakan untuk menggambarkan material dengan rentang ukuran dari nanometer hingga milimeter. Semakin tinggi angka pada ukuran mesh screen maka akan semakin halus material tersebut, dan semakin kecil ukuran partikelnya (Imelda et al., 2019). Ukuran partikel mempengaruhi proses adsorpsi, di mana peningkatan ukuran partikel berkorelasi dengan peningkatan kapasitas adsorpsi dan persentase penghilangan adsorbat (Abel et al., 2020).

Ukuran partikel biasanya dibagi menjadi dua kategori, yaitu makropori dan mikropori. Penyerapan molekul adsorbat di mikropori lebih besar dibandingkan makropori, molekul adsorbat yang berukuran lebih kecil cenderung diadsorpsi dalam jumlah lebih banyak dibandingkan molekul yang berukuran lebih besar (Sirajuddin & Harjanto, 2018). Ukuran dan distribusi pori juga sangat menentukan, karena pori yang terlalu kecil dapat menghambat masuknya molekul target, sedangkan pori dengan ukuran yang tepat akan memaksimalkan interaksi antara adsorbat dan permukaan adsorben.

Berdasarkan penelitian Alkhaira & Kurniawati (2022) penyerapan optimum ion logam Cu(II) terjadi pada ampas tebu dengan ukuran partikel 250 µm, bukan pada ukuran partikel terkecil. Sementara itu, pada ukuran partikel 300 µm, efisiensi penyerapan ion Cu(II) mengalami penurunan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Puja et al., (2019) dimana biosorben berukuran partikel lebih kecil memiliki

kemampuan yang lebih tinggi dalam menyerap ion logam dibandingkan dengan biosorben berukuran partikel lebih besar.



Gambar 2.3 Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Cu(II) (Alkhaira & Kurniawati, 2022).

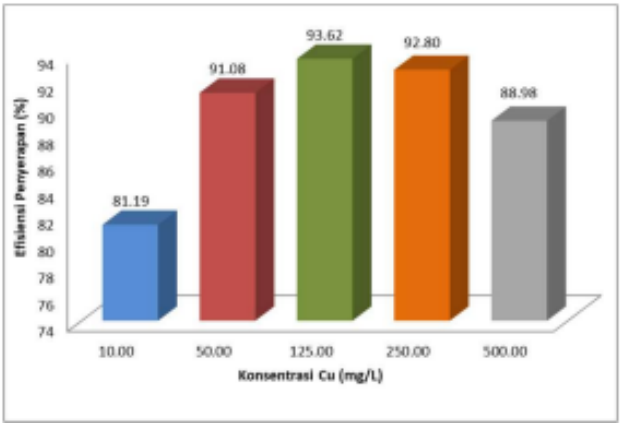
e. Konsentrasi adsorbat

Konsentrasi larutan adsorbat yang digunakan juga berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Jumlah adsorbat berhubungan langsung dengan jumlah molekul atau ion yang tersedia di sekitar permukaan adsorben. Semakin tinggi konsentrasi, semakin banyak molekul yang ada, sehingga frekuensi tumbukan antar molekul meningkat. Dengan meningkatnya jumlah tumbukan, kemungkinan terjadinya tumbukan yang efektif juga akan lebih besar, yang mempercepat laju reaksi (Nurkaromah & Sukandar, 2017). Namun, jika konsentrasi adsorbat terus meningkat, semua situs aktif pada adsorben dapat terisi, menyebabkan proses adsorpsi mencapai batas maksimum atau titik jenuh.

Hubungan antara konsentrasi adsorbat dalam fase cair atau gas dan adsorpsi pada permukaan padatan dapat dijelaskan melalui isoterm adsorpsi, seperti isoterm Langmuir atau Freundlich. Selain itu, pada konsentrasi tinggi, kompetisi antar molekul adsorbat untuk mengisi situs adsorpsi juga dapat meningkat, terutama jika terdapat lebih dari satu jenis adsorbat, yang berdampak pada kapasitas dan selektivitas proses adsorpsi. Oleh karena itu, konsentrasi adsorbat merupakan faktor krusial dalam menentukan efektivitas proses adsorpsi pada suatu adsorben.

Hal ini dibuktikan dengan penelitian yang menggunakan biosorben dari Jarum Cemara Laut, di mana efisiensi penyerapan Cu(II) bervariasi pada rentang konsentrasi 10–50 mg/L, dan mencapai efisiensi maksimum sebesar 93,62% pada konsentrasi 125

mg/L (Khairani et al., 2024). Temuan ini menunjukkan bahwa terdapat konsentrasi optimum dalam proses adsorpsi, di mana kapasitas penyerapan logam berat oleh biosorben berada pada tingkat tertinggi sebelum mengalami kejenuhan.



Gambar 2.4 Pengaruh Konsentrasi Cu(II) Terhadap Kapasitas Adsorpsi (Khairani et al., 2024)

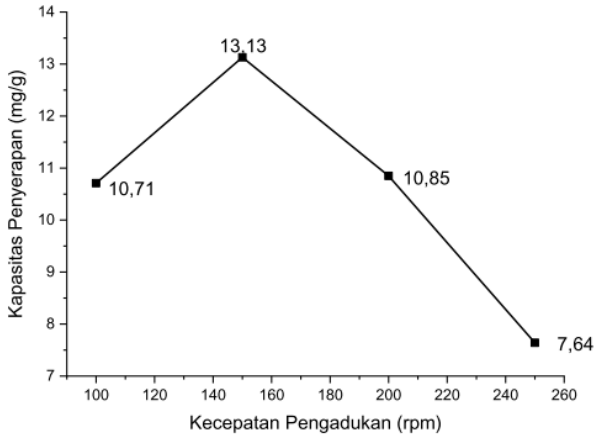
f. Pengadukan

Pengadukan berperan penting dalam proses adsorpsi karena dapat meningkatkan interaksi antara adsorben dan adsorbat dengan mengurangi lapisan batas (boundary layer) di sekitar adsorben. Pengadukan yang optimal memungkinkan molekul-molekul adsorbat lebih mudah mencapai permukaan adsorben dan menyebar secara merata, sehingga peluang penyerapan meningkat. Meningkatnya kecepatan pengadukan atau agitasi selama proses adsorpsi dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan efisiensi penghilangan adsorbat (Abel et al., 2020).

Adanya peningkatan pengadukan memberikan fluiditas yang tinggi dalam suasana fase curah yang dapat meningkatkan interaksi antara adsorben dan adsorbat. Namun, ketika kecepatan pengadukan melampaui batas optimal, laju adsorpsi cenderung menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya desorpsi molekul minyak akibat kondisi turbulen. Kondisi tersebut dapat terjadi karena kecepatan pencampuran yang terlalu tinggi menghasilkan gaya geser yang besar, sehingga memutus ikatan antara minyak dan adsorben (Acquah et al., 2016).

Penyerapan logam Cu(II) terbesar dilaporkan oleh Patricia et al., (2024) terjadi pada kecepatan pengadukan 150 rpm, dengan peningkatan kapasitas adsorpsi terjadi dari 100 rpm ke 150 rpm, namun setelah itu kemampuan adsorpsi menurun pada kecepatan 200 dan 250 rpm. Hasil tersebut disebabkan oleh kecepatan pengadukan

yang terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan ikatan antara ion Cu(II) dan biosorben kulit matoa yang diimobilisasi menjadi tidak stabil, bahkan berpotensi merusak struktur biosorben sehingga efektivitas penyerapan menurun.



Gambar 2.5 Pengaruh Hubungan Kapasitas Adsorpsi Logam Cu(II) Terhadap Kecepatan Pengadukan (rpm) (Patricia et al., 2024)

g. Kelarutan adsorbat

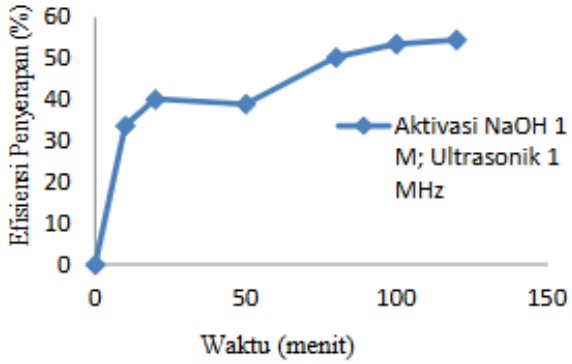
Kelarutan adsorbat turut serta menjadi faktor penting, karena adsorbat yang lebih mudah larut akan lebih cepat terdistribusi dalam medium cair, meningkatkan kontak dengan permukaan adsorben. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Syafrianda et al., (2017) Kapasitas dan efisiensi adsorpsi zat warna pada air gambut menggunakan adsorben limbah Biosolid Land Application dengan variabel berubah laju pengadukan pada 90 rpm, 120 rpm, 150 rpm memiliki kapasitas dan efisiensi terbesar pada laju pengadukan 150 rpm yaitu sebesar 238,400 mg/g dan 68,703 %, dimana laju pengadukan 150 rpm memberikan kapasitas dan efisiensi terbesar, dimana semakin besar pengadukan maka kinerja dari proses adsorpsi semakin baik.

h. Waktu kontak

Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan molekul-molekul berinteraksi dengan lebih optimal pada permukaan adsorben. Daya serap dipengaruhi oleh lamanya waktu kontak antara ion logam dengan adsorben, di mana semakin lama waktu kontak, daya serap meningkat hingga mencapai titik maksimum, mengakibatkan penurunan konsentrasi ion logam dalam larutan (Lelifajri, 2010 dalam Rizky & Silalahi, 2022).

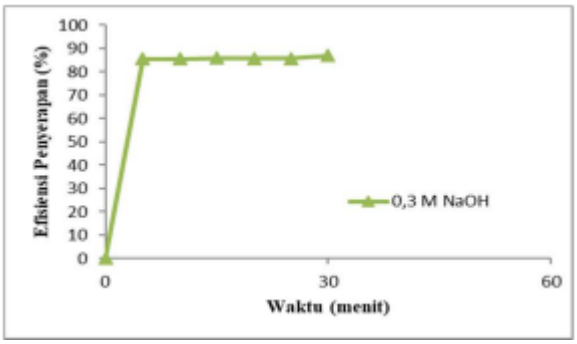
Hal ini dibuktikan dengan penelitian terkait pengaruh waktu kontak adsorben karbon aktif bunga *Pinus merkusi* terhadap efisiensi adsorpsi logam Cu(II) yang menggunakan interval waktu 0, 10, 20, 50, 80, 100 dan 120 menit dengan hasil

adsorpsi berturut-turut adalah 0%; 33,57%; 40,06%; 38,94%; 50,28%; 53,49%; dan 54,45%, berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa efisiensi penyerapan terbesar adalah pada waktu kontak 120 menit dimana merupakan waktu tercapainya kesetimbangan (Rizky & Silalahi, 2022). Adapun kurva hubungan pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ditunjukkan sebagai berikut;



Gambar 2.6 Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas logam Cu(II) (Rizky & Silalahi, 2022)

Efisiensi adsorpsi logam Cu(II) berdasarkan lamanya waktu kontak juga dibuktikan dengan biosorben jarum cemara teraktivasi NaOH dengan variasi lama waktu kontak 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit dengan hasil berturut-turut adalah 85,42; 85,49; 85,82; 85,71; 85,77; dan 86,88 % untuk larutan dengan konsentrasi 500 mg/L (Khairani et al., 2024).



Gambar 2.7 Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi logam Cu(II) (Khairani et al., 2024)

i. pH

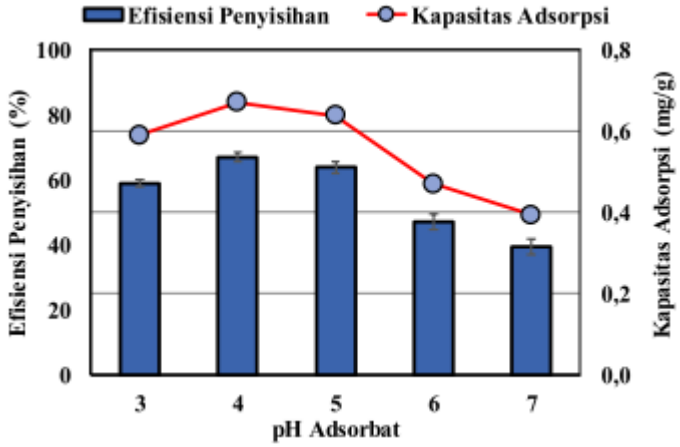
pH mempengaruhi ionisasi gugus fungsi pada permukaan adsorben, yang dapat meningkatkan atau menurunkan kemampuan adsorpsi. Sebagai contoh, pada pH rendah, gugus karboksil pada adsorben dapat terionisasi menjadi bentuk yang lebih reaktif, sehingga interaksi dengan logam berat seperti tembaga (Cu) meningkat. Faktor

pH sangat penting dalam proses adsorpsi, karena pada pH rendah, proses adsorpsi cenderung rendah dan dapat diabaikan. Namun, kenaikan pH sekitar 1 hingga 2 satuan dapat meningkatkan adsorpsi dari 0 hingga 100% (Widwiastuti et al., 2019).

Menurut Alkherraz et al., (2020), pada kondisi pH rendah, gugus fungsional di permukaan adsorben cenderung bermuatan positif, sehingga ion H^+ akan bersaing dengan ion logam dalam proses adsorpsi. Persaingan ini menyebabkan jumlah ion logam yang teradsorpsi menjadi lebih sedikit. Selain itu, gaya tolak-menolak antara ion H^+ dan ion logam yang sama-sama bermuatan positif turut menghambat proses penjerapan ion logam tersebut.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa adsorben zeolit sintetis memiliki pH optimum pada pH 4,0, kemungkinan karena struktur zeolit tetap mampu mengadsorpsi logam meskipun dalam kondisi kompetitif dengan ion H^+. Sebaliknya, karbon aktif menunjukkan efisiensi adsorpsi tertinggi terhadap ion Cu(II) pada pH 9,0.

Adapun hubungan pengaruh pH larutan terhadap kapasitas adsorpsi fosfat dengan biosorben kulit jagung digambarkan sebagai berikut;



Gambar 2.8 Pengaruh pH larutan terhadap adsorpsi fosfat (Indah et al., 2022)

Pada pH yang lebih tinggi, jumlah ion H^+ dalam larutan menurun, sehingga kompetisi dengan ion logam juga berkurang, dan gugus aktif pada permukaan adsorben menjadi lebih tersedia untuk mengikat ion logam. Dengan demikian, rentang pH 4–9 menunjukkan perubahan signifikan terhadap kapasitas adsorpsi, tergantung pada karakteristik permukaan dan sifat kimia adsorben yang digunakan (Indah et al., 2022).

2.4 Adsorben

Adsorben adalah bahan yang digunakan untuk menyerap atau mengikat molekul dari fase gas atau cair pada permukaannya. Adsorben didefinisikan sebagai bahan yang tidak larut, yang permukaannya termasuk pori-pori dan saluran kapilernya dapat dilapisi oleh cairan, tanpa mengalami pembengkakan padat melebihi 50% saat berada dalam kelebihan cairan. Adsorben merupakan material padat berpori yang digunakan untuk menyerap adsorbat pada proses adsorpsi.

Adsorben memegang perananan penting dalam proses adsorpsi. Adsorben yang baik memiliki karakteristik murah, tersedia dalam jumlah banyak, luas permukaan spesifik besar dan volume pori yang baik serta mudah teradsorpsi sehingga dapat digunakan kembali. Adsorben memegang perananan penting dalam proses adsorpsi (Anwar et al., 2022). Adsorben yang baik memiliki karakteristik murah, tersedia dalam jumlah banyak, luas permukaan spesifik besar dan volume pori yang baik serta mudah teradsorpsi sehingga dapat digunakan kembali (Belhaine et al., 2016).

Pemisahan adsorbat dari larutannya dipengaruhi oleh sifat adsorbat maupun adsorben. Sifat dalam hal ini yaitu perbedaan bobot molekul atau perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul dapat melekat pada permukaan lebih erat dibandingkan molekul lainnya (Yusan, 2021). Selain itu, interaksi antara gugus fungsional pada permukaan adsorben dan adsorbat juga memainkan peran penting dalam proses adsorpsi. Misalnya, gugus hidroksil (-OH) pada permukaan adsorben dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul polar, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan (Agusriyadin., 2020).

Adsorben dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat kimianya menjadi tiga jenis utama, yaitu adsorben polar, non-polar, dan basa. Adsorben polar memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap senyawa polar seperti asam karboksilat, alkohol, keton, dan aldehid; alumina merupakan salah satu contoh adsorben jenis ini. Sementara itu, adsorben non-polar cenderung lebih efektif dalam mengadsorpsi senyawa-senyawa basa seperti amina, dengan silika sebagai contoh utamanya. Di sisi lain, adsorben basa menunjukkan efisiensi adsorpsi yang tinggi terhadap senyawa yang bersifat asam, dan magnesia termasuk dalam kategori ini (Widayatno et al., 2017).

2.5 Kapasitas Adsorpsi

Kemampuan suatu adsorben dalam mengikat zat tertentu dikenal sebagai kapasitas adsorpsi (Ifa, Nurjannah, Syarif, 2021). Kapasitas ini menunjukkan sejauh mana permukaan adsorben dapat berinteraksi dengan partikel zat terlarut, baik melalui ikatan fisik maupun kimia. Faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan ini antara lain luas permukaan adsorben, ukuran pori, sifat kimia permukaan, serta jenis interaksi antara adsorben dan zat terlarut. Kapasitas adsorpsi mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu kontak hingga mencapai kondisi setimbang (Indah et al., 2022). Dimensi pori pada adsorben juga berperan penting terhadap kapasitas adsorpsi, di mana pori yang lebih kecil akan meningkatkan luas permukaan adsorben, sehingga jumlah molekul adsorbat yang dapat terikat juga menjadi lebih besar (Elfia, 2019).

Pemilihan jenis adsorben yang tepat sangat menentukan keberhasilan proses pemisahan atau penurunan kadar suatu zat dalam larutan. Kapasitas maksimum adalah jumlah tertinggi zat adsorbat yang dapat diikat oleh adsorben pada kondisi tertentu, biasanya pada saat telah tercapai kesetimbangan adsorpsi (Ifa, Nurjannah, Syarif, 2021). Nilai ini menggambarkan batas kemampuan adsorben dalam menyerap zat yang ada dalam larutan, sehingga tidak ada lagi peningkatan jumlah adsorbat yang terikat meskipun waktu kontak diperpanjang atau konsentrasi ditambah.

2.2 Logam Berat Tembaga (Cu)

2.2.1 Deskripsi Logam Berat Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) merupakan logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083°C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom sebesar 1,173 Å, dan jari-jari ion Cu^{2+} sebesar 0,96 Å. Logam ini termasuk dalam golongan logam transisi (golongan IB) dan memiliki warna kemerahan, serta mudah diregangkan dan ditempa. Tembaga bersifat toksik bagi makhluk hidup. Isoterm adsorpsi mengacu pada kondisi kesetimbangan di mana konsentrasi adsorbat tidak lagi berubah baik dalam fase teradsorpsi maupun dalam fase gas atau cair. Isoterm adsorpsi umumnya digambarkan melalui kurva yang menunjukkan distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase gas atau cair pada suhu tetap.

Logam Cu adalah jenis logam esensial yang merupakan elemen mikro yang dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah kecil (Handayanto et al., 2017). Namun, jika kadarnya melebihi batas yang diperbolehkan, Cu dapat menyebabkan keracunan. Keracunan logam berat Cu bersifat kronis, dengan gejala yang mungkin baru muncul setelah beberapa tahun. Pada manusia, gejalanya meliputi sakit perut, mual, muntah, diare, dan dalam kasus yang parah dapat mengakibatkan gagal ginjal bahkan kematian.

2.2.2 Sumber Keberadaan Logam Berat Tembaga (Cu)

Logam berat tembaga (Cu) dihasilkan dari berbagai aktivitas industri, seperti pabrik, pertanian, dan rumah tangga (Masruroh & Purnomo, 2023). Salah satu industri yang menghasilkan logam berat tembaga adalah industri monosodium glutamat (MSG). Limbah dari industri MSG mengandung berbagai unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro yang terdapat pada limbah industri MSG meliputi kalsium, nitrogen, magnesium, kalium, dan fosfat, sedangkan unsur hara mikro yang terkandung di dalamnya adalah tembaga (Cu) dan zink (Zn) (Utami, 2016). Yanthy et al. (2013) juga menyebutkan bahwa aktivitas rumah tangga menjadi salah satu penyumbang logam berat tembaga (Cu). Selain itu, kegiatan pertanian seperti penggunaan fungisida, algaesida, dan pupuk yang mengandung Cu juga menjadi sumber logam berat tembaga (Khairuddin et al., 2021). Logam berat tembaga (Cu) termasuk logam esensial pada kadar rendah, namun pada kadar tinggi, Cu dapat menjadi beracun bagi makhluk hidup (Elawati et al., 2019). Logam Cu yang ada di lingkungan perairan dapat terakumulasi dalam organisme yang hidup di perairan tersebut.

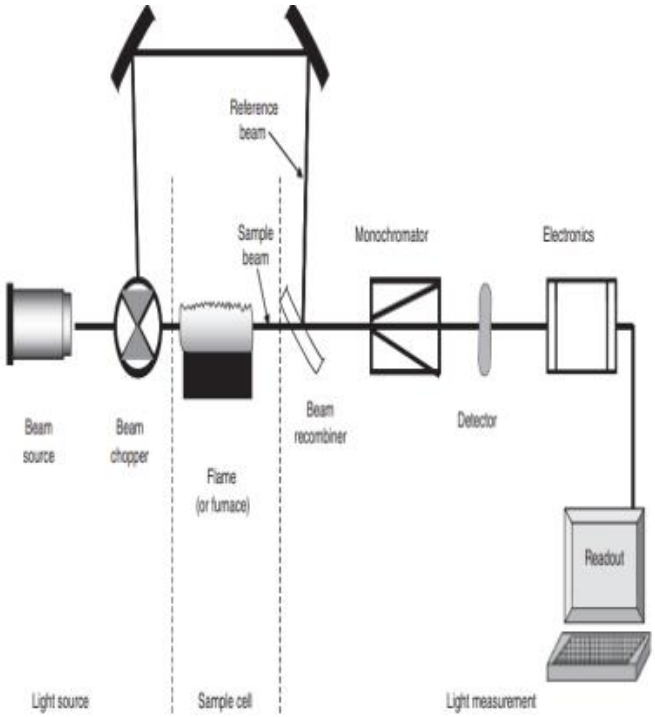
2.5 Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrometer Serapan Atom (SSA) merupakan alat yang digunakan dalam analisis untuk menentukan konsentrasi unsur logam berdasarkan penyerapan radiasi oleh atom bebas. Prinsip kerja spektrofotometri serapan atom adalah mengamati bagaimana atom dari suatu unsur menyerap energi cahaya. Saat cahaya mengenai atom, atom tersebut akan menyerap sebagian energi dan membuatnya berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi (Purnama et al., 2021). Namun, karena kondisi ini tidak stabil, atom akan segera kembali ke keadaan semula (tingkat energi dasar) sambil melepaskan energi yang sebelumnya diserap, biasanya dalam bentuk cahaya atau radiasi. Atom ini kemudian menyerap radiasi dari sumber cahaya yang

dihasilkan oleh lampu katoda berlubang *(Hollow Cathode Lamp)* yang mengandung unsur yang diukur.

SSA terdiri dari tiga komponen utama, yaitu penyemprot, sumber radiasi, dan sistem pengukuran fotometri. SSA memiliki beberapa keunggulan dibandingkan spektrofotometer konvensional, seperti spesifisitas yang tinggi dan batas deteksi rendah, sehingga memungkinkan pengukuran berbagai unsur dalam satu larutan. Pengukuran dilakukan langsung pada sampel, dengan hasil yang dapat dibaca langsung. Metode ini cukup ekonomis dan dapat diaplikasikan untuk berbagai elemen (Sugioto, 2022).

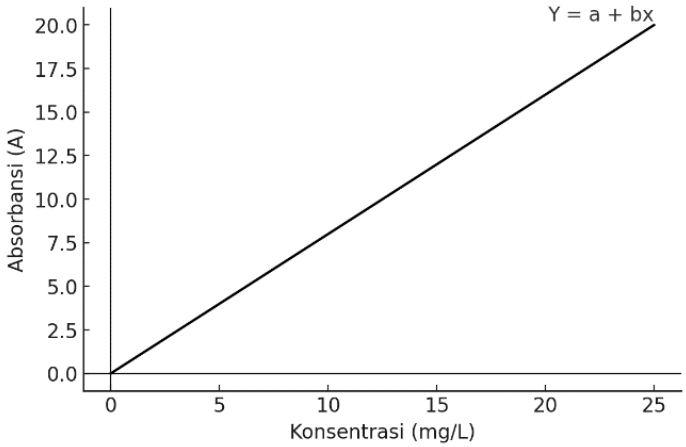
Standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 digunakan sebagai acuan dalam penelitian untuk menentukan kandungan logam berat Cu. Menurut Khopkar (2010) dalam Amrulloh (2017), SSA adalah metode analisis yang sangat sensitif, akurat, cepat, spesifik, dan peka. SSA mampu menganalisis zat pada konsentrasi yang sangat rendah hingga pada tingkat per miliar gram dari sampel.



Gambar 2.9 Struktur Komponen dalam Spektrofotometri Serapan Atom

1. Spektrofotometer serapan atom, umumnya menggunakan desain berkas ganda, terdiri dari beberapa komponen utama sebagai berikut:
2. Sumber radiasi berupa lampu katoda berongga *(Hollow Cathode Lamp)* atau lampu pelepasan tanpa elektroda *(Electrodeless Discharge Lamp)*.
3. Atomizer, yang biasanya menggunakan sistem pembakar nebulizer atau tungku grafit.
4. Monokromator, sering kali berupa monokromator kisi UV-Vis.
5. Detektor, berupa tabung photomultiplier *(Photomultiplier Tube)* atau detektor solid-state *(Solid-State Drive)*.
6. Perangkat pembacaan, tersedia dalam bentuk analog atau digital (Yeung et al., 2017).

Pengujian logam berat menggunakan SSA dilakukan dengan menyiapkan serangkaian larutan standar, mengukur absorbansi standar dan sampel, serta menghitung kadar logam berat dalam sampel tersebut. Hasil pengukuran standar berupa nilai absorbansi dan konsentrasi. Pada kurva kalibrasi, absorbansi diposisikan pada sumbu Y, sedangkan konsentrasi ditempatkan pada sumbu X.



Gambar 2.10 Kurva Kalibrasi

Berdasarkan kurva kalibrasi yang diperoleh, persamaan garis regresi linear dapat ditulis sebagai Y = a + bx, dengan penjelasan berikut:

Y: Absorbansi

a: Intersep

b: Slope

Konsentrasi Cu yang diperoleh dari hasil pengukuran ditentukan menggunakan kurva kalibrasi atau persamaan regresi linear. Selanjutnya, konsentrasi Cu tersebut digunakan untuk menghitung kadar Cu. Perhitungan kadar Cu dalam sampel dilakukan menggunakan rumus berikut:

Cu (mg/L) = C x fp

Keterangan:

C: Konsentrasi hasil pengukuran (mg/L)

Fp: Faktor pengenceran