

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Tentang *Rhizophora mucronata*

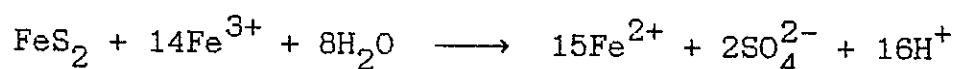
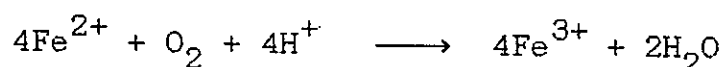
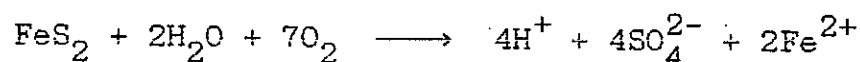
Rhizophora mucronata adalah jenis mangrove yang berada pada zona kedua yang hidup di garis pantai setelah jenis *Avecenia* dan *Sonneraria*. Ujung jalinan akar tunjang muncul ke atas permukaan lumpur. Akar-akar tetap terendam selama pasang naik, tetapi tahan terhadap garam berkadar tinggi⁽³⁾. Pohonnya dapat mencapai ketinggian 35-50 m dengan diameter lebih kurang 50 cm. Tajuknya berbentuk kerucut dengan tangkai-tangkai berdiri tegak, warna tajuk selalu hijau⁽⁴⁾.

Rhizophora mucronata memiliki daun berjenis Elliptus lebar sampai memanjang dengan pangkal berbentuk baji, ujung tulang daun runcing. Tangkai daun, sisi bawah tulang daun dan ujung keping biji berwarna hijau. Buahnya panjang, berwarna coklat⁽⁴⁾.

Berdasar morfologinya, *Rhizophora mucronata* mempunyai beberapa fungsi, di antaranya sebagai pencegah terjadinya pengasaman tanah. Di dasar lumpur pantai sering terjadi penimbunan pyrite. Kehadiran *Rhizophora mucronata* dapat mencegah pembongkaran sedimen yang kaya akan kandungan pyrite yang tertimbun di dasar lumpur, sehingga tak memungkinkan terjadinya oksidasi oleh udara yang dapat

bereaksi menjadi asam sulfat. Dengan demikian proses pengasaman lahan dapat dicegah.⁽⁵⁾

Reaksi pembongkaran pyrite:



2.1.1 Taksonomi *Rhizophora mucronata*

Taksonomi *Rhizophora mucronata* dapat dituliskan sebagai berikut:⁽⁶⁾

Divisi : *Spermatophyta*

SubDivisi : *Angiospermae*

Kelas : *Myrtales*

Famili : *Rhizophoraceae*

Genus : *Rhizophora*

Species : *Rhizophora mucronata lamk*

2.1.2. Kandungan logam-logam dalam *Rhizophora mucronata*.

Seperti halnya pada tumbuhan lain, di dalam *Rhizophora mucronata* pun terdapat beberapa unsur hara yang mempunyai fungsi penting bagi metabolisme, yaitu magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), Cuprum (Cu^{2+}), seng (Zn^{2+}), boron, sulfur, besi (Fe^{2+}) dan fosfor⁽⁷⁾.

Cecep Kasmara⁽⁶⁾, meneliti kandungan logam berat Mn, Zn dan Cu pada *Rhizophora mucronata*, di depan pabrik kilang minyak Pertamina Cilacap. Konsentrasi logam berat yang diserap oleh *Rhizophora mucronata* ternyata cukup tinggi, yaitu⁽⁶⁾:

1. Untuk logam Mn, 187,4 ppm pada daun; 36,3 ppm pada akar.
2. Untuk logam Zn, 11,2 ppm pada akar; 7,6 ppm pada daun; dan 3,7 ppm pada batang.
3. Untuk logam Cu, 24,2 ppm pada akar; 3,9 ppm pada daun; dan 5 ppm pada batang.

Christy Thomas⁽⁶⁾ dan Ong Jin Eong⁽⁶⁾, juga menemukan sejumlah ion Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada persemaian *Rhizophora mucronata* di dalam lumpur⁽⁶⁾.

2.2 Peranan Logam Pb Pada Kehidupan Manusia

Timbal tersebar lebih luas dibandingkan kebanyakan logam toksik lainnya. Kadarnya dalam lingkungan meningkat karena penambangan, peleburan, pembersihan dan berbagai penggunaan dalam industri. Biasanya kadar timbal dalam tanah berkisar antara 5 sampai 25 mg dalam setiap 1 kg tanah, dalam air tanah dari 1 sampai 60 $\mu\text{g/L}$ dan agak lebih rendah dalam air permukaan di alam. Kadar di udara di bawah 1 $\mu\text{g/m}^3$, tetapi dapat jauh lebih tinggi di tempat kerja tertentu dan di daerah yang lalu-lintasnya padat.

Penggunaan utama dalam industri, misalnya sebagai zat tambahan dan pigmen timbal dalam cat, merupakan penyebab utama peningkatan kadar timbal di lingkungan, kini secara berangsur-angsur telah dibatasi⁽⁴⁾. Tetapi penggunaan dalam aki mobil dan kabel masih tetap berlangsung.

2.2.1 Toksisitas logam Pb.

Dalam bentuk larutan sekitar 1-10% timbal teradsorpsi melalui dinding saluran pencernaan. Penyebaran berlangsung dengan cepat dan meluas, terbawa oleh darah dan terdistribusikan ke seluruh jaringan⁽¹⁰⁾. Timbal kemudian diekskresikan melalui urine dan feses, tetapi jika kecepatan masuknya ke dalam tubuh melebihi kecepatan maksimal ekskresi maka timbal tersebut bertumpuk dalam tulang. Timbal mungkin berpengaruh pada semua organ yaitu dengan mengganggu enzim oksidase⁽¹⁰⁾. Akibatnya menghambat sistem metabolisme sel. Salah satu di antaranya adalah menghambat sintesis Hb dalam sumsum tulang.

Gejala yang khas dari keracunan timbal tersebut dibedakan menjadi tiga, yaitu⁽¹⁰⁾:

1. Gastroenteritis.

Gastroenteritis disebabkan oleh reaksi terhadap rangsangan garam Pb pada saluran pencernaan sehingga menyebabkan pembengkakan dan gerak kontraksi usus terhenti. Kadang-kadang juga menyebabkan diare.

2. Anemia.

Lebih dari 95% timbal yang terbawa dalam darah berikatan dengan eritrosit, sehingga menyebabkan mudah pecahnya sel darah merah dan berpengaruh terhadap sintesis Hb. Hal tersebut menyebabkan anemia.

3. Ensefalopati.

Timbal menyebabkan kerusakan sel endotel dan kapiler darah di otak. Pada umumnya barrier darah otak sangat mudah dilalui oleh air, CO₂ dan O₂, tetapi sedikit permeabel terhadap elektrolit seperti Na, Cl, K serta tidak dapat dilalui oleh sulfur dan logam berat. Tetapi pada saat sel endotelial rusak, protein yang berukuran besar dapat lewat dan masuk ke dalam otak. Meningkatnya tekanan osmosis cairan ekstraselular yang memenuhi otak mengakibatkan oedema otak. Kapiler darah otak tersebut sangat peka terhadap keracunan timbal, terutama pada hewan muda ketika otak berkembang dengan cepat⁽¹⁰⁾.

2.3. Kemampuan *Rhizophora mucronata* Mengabsorbsi Ion Logam

Kemampuan *Rhizophora mucronata* untuk dapat beradaptasi dan hidup di lingkungannya, yaitu tanah atau lumpur yang mengandung garam tinggi, ditunjang oleh adanya pengaturan kadar garam dalam jaringannya melalui kelenjar garam dan sistem ultrafiltrasi akar sebagai bagian yang merupakan mekanisme kontrol. Hal demikian menyebabkan

Rhizophora mucronata mampu mengakumulasikan garam dengan kadar lebih tinggi dibanding tanaman lainnya. Terbukti, konsentrasi garam pada kelenjar daun *Rhizophora mucronata* berkisar antara 10-50 kali lebih tinggi dibanding pada tumbuhan biasa⁽¹¹⁾.

Ada beberapa bukti yang memberikan kesan bahwa kemampuan menggumpalkan ion sebanding dengan kemampuan menyimpan/menahan ion di dalam vakuola yang berbatasan dengan membran, seperti yang terjadi pada mitokondria yang biasanya berisi larutan ion dengan bermacam-macam konsentrasi. Setiap ion dapat terus masuk ke dalam vakuola atau bagian sel⁽¹¹⁾.

2.3.1 Mekanisme penyerapan ion logam

Tanaman dapat menyerap unsur hara dari dalam tanah, yang umumnya berupa ion, melalui akar. Unsur-unsur hara tersebut tersedia di sekitar akar tanaman menurut cara-cara berikut⁽¹²⁾:

1. Aliran massa.

Aliran massa adalah gerakan ion dalam tanah menuju permukaan akar tanaman bersama gerakan massa air. Gerakan massa air dalam tanah menuju ke permukaan akar tanaman berlangsung terus-menerus karena air terus-menerus diserap akar.

2. Difusi.

Pada waktu akar tanaman menyerap ion dari tanah, ion-ion lain yang terlarut dalam air bergerak menuju

akar tanaman tanpa aliran air, tetapi bergerak sebagai akibat hukum difusi. Difusi merupakan gerakan suatu zat dari bagian yang berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah⁽¹²⁾.

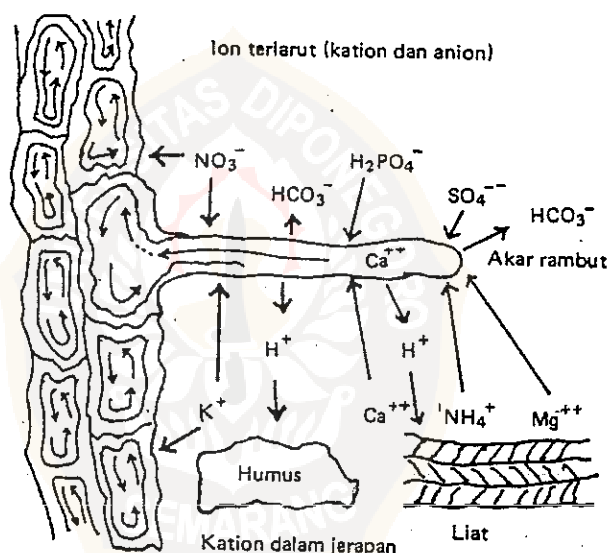
3. Intersepsi akar.

Akar-akar tanaman yang terus-menerus tumbuh akan memanjang menuju tempat-tempat yang lebih jauh di dalam tanah sehingga dapat menemukan ion-ion dalam tanah. Memanjangnya akar-akar tanaman berarti memperpendek jarak yang harus ditempuh ion-ion untuk mendekati akar tanaman melalui aliran massa ataupun difusi. Selanjutnya, ion-ion yang tersedia di sekitar akar tanaman diserap ke dalam akar tanaman. Penyerapan ion-ion ke dalam akar tanaman berlangsung melalui proses yang khas. Proses tersebut melibatkan dua hal sebagai berikut:

- a. Memerlukan energi metabolisme.
- b. Penyerapan dilakukan secara selektif.

Energi metabolisme didapat melalui pernapasan akar tanaman, sehingga penyerapan ion berkurang bila pernapasan berkurang. Bagian akar tanaman yang paling aktif berada di dekat ujung akar yang baru terbentuk atau rambut-rambut akar. Kegiatan respirasi di bagian akar tersebut paling besar. Sel-sel yang menyusun akar tanaman di bagian luar terdiri dari dinding sel yang tidak aktif yang bersinggungan langsung dengan tanah,

sedang bagian dalam terdiri dari protoplasma yang aktif, yang dikelilingi oleh membran. Seleksi terhadap unsur-unsur yang diserap tanaman dilakukan oleh membran tersebut melalui proses transportasi aktif. Proses tersebut akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Adapun proses penyerapan ion-ion melalui akar-akar rambut disajikan melalui gambar sebagai berikut⁽¹²⁾:



Gambar:(1) Proses penyerapan ion-ion oleh akar-akar rambut.

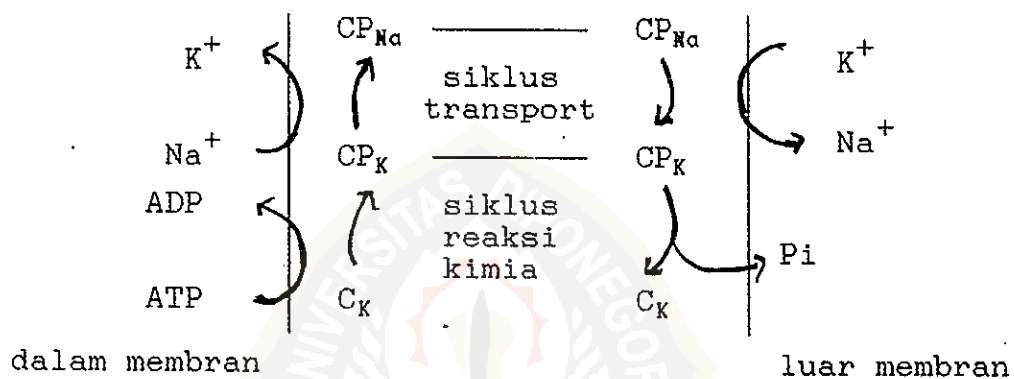
2.3.2 Mekanisme transportasi aktif.

Ion-ion logam masuk ke dalam sel melalui sistem transportasi aktif, dengan ciri-ciri sebagai berikut⁽¹³⁾:

1. Ion bergerak ke arah konsentrasi yang lebih tinggi, berlawanan dengan arah difusi lazimnya.

2. Memerlukan zat pembawa, yakni enzim, untuk mengangkut ion supaya masuk dalam sel.
3. Memerlukan energi untuk proses pengangkutan.

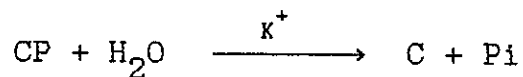
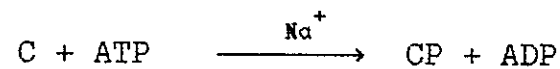
Contoh pengangkutan ion-ion logam melalui membran sel adalah transportasi aktif ion-ion Na^+ , K^+ melalui enzim Na, K-ATPase .



Gambar:(2) Skema transportasi ion oleh enzim Na, K-ATPase secara sederhana. Dengan P_i adalah phophat anorganik; CP_{K} adalah Kompleks enzim, phosphat dan Kalium; CP_{Na} adalah Kompleks enzim, phosphat dan natrium; C_{K} adalah kompleks enzim dan kalium; ATP adalah adenosin triphosphat dan ADP adalah adenosin diphosphat.

Dekomposisi senyawa kompleks enzim dengan phosphat (CP) dibantu oleh ion K^+ di luar sel tetapi P_i secara praktis dilepaskan dari dalam sel. Enzim Na, K-ATPase hanya mengkatalisis ATP pada saat hadirnya ion Na^+ dan K^+ , serta mengakibatkan terjadinya transportasi serentak dalam pemasukan ion K^+ ke dalam sel dan pengeluaran ion Na^+ dari sel. Transportasi enzim (Na, K-ATPase) adalah phosporilasi

pada permukaan dalam membran oleh ATP, proses tersebut berlangsung pada saat munculnya ion Na^+ , sehingga kompleks CP terbentuk. Komplek CP tersebut dihidrolisa oleh ion K^+ . Ada dua proses yang ditempuh yaitu seperti pada reaksi berikut:



Afinitas (daya tarik menarik) pada C dan CP berasal dari perbedaan kemampuan enzim C dan kompleks CP dalam menyeleksi ion K^+ dan ion Na^+ .

2.4 Kinetika Absorpsi Logam

Penyerapan logam dalam tumbuhan sebanding dengan pertumbuhan sel pada tumbuhan tersebut. Pertambahan sel dirumuskan dengan ungkapan⁽¹³⁾:

$$\int \frac{dN}{dt} = \beta N$$

$$N_t = N_0 e^{\beta t} \quad \dots(1)$$

Dengan N = Jumlah Sel-sel di dalam Tanaman.

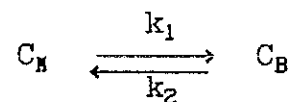
β = Tetapan Laju Pertumbuhan Tanaman.

t = Waktu pertumbuhan.

N_0 = Jumlah sel waktu nol.

N_t = Jumlah sel waktu t .

Sementara itu proses bioakumulasi merupakan suatu keseimbangan antara pengambilan dan pelepasan, yang dapat digambarkan melalui reaksi/persamaan sebagai berikut:⁽¹⁹⁾



$$\frac{dC_B}{dt} = k_1 C_M - k_2 C_B \quad \dots (2)$$

dengan C_M = konsentrasi ion di dalam lingkungan, C_B = konsentrasi ion di dalam sel, k_1, k_2 = tetapan laju.

Jika persamaan diintegrasikan, hasilnya menjadi

$$C_B = \frac{k_1}{k_2} C_M (1 - e^{-k_2 t}) \quad \dots (3)$$

dengan $\frac{k_1}{k_2} = k_B$ = faktor Bioakumulasi

Besaran C_B memperlihatkan pertambahan konsentrasi timbal yang sebanding dengan bertambahnya waktu, tetapi dengan laju absorpsi yang menurun. Jadi t terus bertambah sampai $e^{-k_2 t}$ berharga nol dan kurva C_B paralel dengan sumbu waktu, sehingga

$$C_B = \frac{k_1}{k_2} C_M \quad \dots (4)$$

dan

$$\frac{C_B}{C_M} = \frac{k_1}{k_2} = k_B \quad \dots (5)$$

Biokonsentrasi merupakan konsentrasi pada kesetimbangan antara pengambilan dan pelepasan timbal dalam

tanaman. Proses-proses tersebut berlangsung mengikuti kinetika orde pertama⁽¹⁴⁾. Pelepasan merupakan proses fisik yang disebabkan oleh pergerakan balik molekul-molekul sebagai akibat dari kepekatan senyawa dalam makhluk hidup. Pada saat setimbang :

$$\frac{dC_B}{dt} = 0 = k_1 C_M - k_2 C_B$$

$$k_1 C_M = k_2 C_B \quad \dots (6)$$

Selama tumbuhan masih hidup, keadaan tersebut sulit dicapai. Namun jika tumbuhan diambil sehingga kontak dengan pencemar pada akhir pengambilan berhenti dan $k_1 C_M = 0$. Pelepasan pun mengikuti pola :

$$\int \frac{dC_B}{dt} = -k_2 C_B$$

$$C_B = C_{B0} e^{-k_2 t} \quad \dots (7)$$

dengan C_{B0} adalah kepekatan di dalam sel pada awal proses pelepasan.

2.5 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Bioakumulasi.

2.5.1 Jenis tanaman.

Bibit yang diambil meskipun berasal dari tumbuhan yang sama, pertumbuhannya belum tentu sama. Perbedaan tersebut mengakibatkan kemampuan absorpsi yang dimiliki

tumbuhan juga berbeda, sementara penyerapan logam oleh tumbuhan sebanding dengan pertambahan sel di dalam tumbuhan tersebut. Pertambahan sel dirumuskan seperti pada persamaan (1).

2.5.2 pH lumpur.

Besarnya pH lumpur yang tidak konstan mempengaruhi laju absorpsi timbal oleh tumbuhan. Hal ini disebabkan karena enzim yang berperan pada proses akumulasi dan absorpsi logam di dalam tumbuhan hanya dapat bekerja optimum pada pH yang spesifik⁽⁴⁵⁾.

2.5.3 Suhu.

Ketergantungan bioakumulasi terhadap temperatur menunjukkan dampak yang pasti terhadap konsentrasi logam yang diamati, khususnya pada daerah tumbuhan yang sering mengalami perubahan temperatur. Sejumlah penelitian⁽⁴⁴⁾ menunjukkan, bahwa secara umum konsentrasi logam terakumulasi meningkat sesuai peningkatan suhu. Sebagai contoh, Jackin dkk.⁽⁴⁴⁾ menemukan bahwa meningkatnya temperatur air (yang mengalir) dari 10°C ke 20°C mengakibatkan penambahan konsentrasi kadmium pada bivalva laut.

2.5.4 Kadar garam.

Penelitian mengenai pengaruh kadar garam pada bioakumulasi logam⁽⁴⁴⁾ menunjukkan, bahwa konsentrasi logam biotik meningkat dengan menurunnya kadar garam.

Penurunan kadar garam dari 30 ke 20 ppm misalnya, akan

menghasilkan kenaikan bioakumulasi kadmium bivalva laut sebesar 400%. Hubungan terbalik antara konsentrasi logam yang terbioakumulasi dan kadar garam juga sesuai dengan penelitian-penelitian yang menunjukkan bahwa perbedaan kadar garam dapat menyebabkan kecepatan penyerapan logam⁽¹⁴⁾. Perubahan fisiologis di dalam tanaman *Rhizophora mucronata* itu sendirilah yang menjadi penyebab gejala tersebut.

2.5.5 Bahan organik.

Ligan organik dapat membentuk kompleks dengan logam-logam. Senyawa kompleks tersebut meningkatkan kelarutan logam dan juga mempengaruhi kemampuan penyerapan tumbuhan terhadap bahan partikulat. Karena itu bahan organik berperan penting bagi pengangkutan dan penyediaan logam pada sistem perairan. Laegreid dkk.⁽¹⁴⁾ menemukan bahwa bahan organik dengan bobot molekul rendah dapat meningkatkan penyerapan logam oleh ganggang.

2.5.6 Logam-logam lainnya.

Pada umumnya logam jarang sekali dijumpai dalam keadaan inert. Logam lebih banyak dijumpai terikat bersama logam lain. Pada tumbuhan, keberadaan logam akan mengurangi bioakumulasi logam lainnya. Hal ini disebabkan oleh terdapatnya ikatan yang dapat dipergunakan oleh logam-logam tertentu, yang konsentrasinya relatif sama dengan logam lain yang juga mampu menggunakan ikatan tadi⁽¹⁴⁾.