

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Peranan Unsur Hara Bagi Tanaman

Tanaman dapat tumbuh dengan baik pada suatu lingkungan tertentu, maka lingkungan harus mampu menyediakan berbagai keperluan untuk pertumbuhan dan melengkapi daur hidupnya (Loveless, 1989). Unsur-unsur makro diperlukan oleh tanaman dalam jumlah besar (sehingga cepat berkurang), di samping itu tanaman juga perlu unsur mikro (unsur yang diperlukan dalam jumlah sedikit), walaupun hanya sedikit namun tetap harus selalu ada, supaya tanaman dapat tumbuh normal (Soeseno, 1988).

Menurut Epstein (1972), di dalam tanah terdapat unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Unsur hara tersebut terdiri dari unsur makro yaitu C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg dan S, sedangkan unsur mikro yaitu unsur-unsur Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, Cl, dan Co, unsur-unsur ini disebut juga unsur hara mikro esensial, apabila unsur ini tidak ada maka akan menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dengan sempurna.

Beberapa logam berat seperti Cu, Zn, Mn, dan Fe dalam konsentrasi normal merupakan komponen penting pada fungsi-fungsi biologi, tetapi akan bersifat racun bila terdapat dalam konsentrasi yang tinggi. Pada umumnya suatu logam berat mempengaruhi kerja enzim (Dwijoseputro, 1983).

B. Logam Berat Tembaga

Tembaga (Cu) merupakan unsur esensial bagi organisme karena merupakan bagian penyusun dari enzim-enzim katalis pada reaksi oksidasi-reduksi dalam jalur metabolisme (Waisel *et al.*, 1991). Unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral (Polar, 1994). Keberadaan tembaga di dalam tanah tidak dapat secara langsung terpakai untuk kebutuhan tanaman, sebab berada dalam kompleks Cu yang terikat dengan humus tanah. Apabila nilai berat molekulnya < 1000 maka kompleks Cu yang tersedia bagi tanaman dan sebaliknya jika nilai berat molekulnya lebih tinggi maka tanaman akan sulit memanfaatkan Cu terlarut (Woolhouse, 1983).

Menurut Hodgson (1966), lebih dari 98% senyawa Cu dalam tanah terikat dengan bahan-bahan organik. Ikatan ini lebih kuat jika dibandingkan dengan kation-kation mikronutrien lain seperti Zn^{2+} dan Mn^{2+} . Kompleks organik Cu ini berperan penting dalam mobilitas dan keberadaan Cu dalam tanah.

Tanah yang mengandung tembaga biasanya berasal dari mineral-mineral utama dan umumnya berada dalam bentuk $CuFeS_2$. Konsentrasi tembaga dapat berkisar antara 0,1-1000 mg/g berat tanah walaupun dapat mengandung kurang dari 1 mg/g seperti yang terdapat dalam larutan mineral tanah. Daya larut tembaga akan menurun oleh pH yang tinggi dan adanya karbonat dan sulfid (Waisel *et al.*, 1991).

Pada larutan, Cu berada dalam bentuk kation Cu^{2+} tetapi dapat juga sebagai persenyawaan dengan bahan organik yang kompleks. Ion Cu dan $Cu(OH)$

sangat erat terikat pada bagian perakaran tanaman di dalam tanah, dengan adanya ion H^+ ikatan itu akan dapat lepas sehingga bisa digunakan oleh akar tanaman, tetapi keadaan ini harus benar-benar dalam lingkungan yang bersifat asam sebab pada kondisi ini, sulfida akan mengoksidasi Cu. Kation Cu^+ atau Cu^{2+} sangat toksik yang sering dijumpai pada limbah tambang dan peleburan tembaga serta pada kilang-kilang minyak, Cu juga dapat ditemukan dalam biji-bijian hasil pertanian di negara Afrika Tengah yang kandungan Cu-nya dapat mencapai 10% dari berat kering tanaman tersebut (Waisel *et al.*, 1991).

Tanaman sebenarnya membutuhkan tembaga hanya dalam prosentase kecil. Pada beberapa tumbuhan kandungan Cu berkisar antara 2-20 ppm dalam berat keringnya yaitu kira-kira sepersepuluh dari kandungan Mn. Tembaga (Cu) berperan sebagai kofaktor dalam proses metabolisme tetapi juga dapat menghambat fungsi metabolisme apabila terdapat dalam konsentrasi yang melewati ambang batas (Bawen, 1969).

Menurut Tiffen (1972), tembaga tidak mutlak bersifat mobil walaupun dapat mengalami translokasi dari daun tua ke daun-daun yang lebih muda dan juga pada tanaman gandum yang diberi Cu dapat berpindah dari daun ke biji, tetapi bila tanaman mengalami defisiensi mobilitas Cu akan rendah.

C. Defisiensi dan Toksisitas Tembaga

C.1. Defisiensi Tembaga

Tanaman akan mengalami defisiensi jika kandungan Cu kurang dari 3-5 mg/g berat kering tanaman. Batasan ini dapat lebih luas lagi tergantung jenis

tanaman, organ tanaman dan penyediaan nitrogen (Reuter dan Robson, 1981). Gejala-gejala defisiensi antara lain pertumbuhan tanaman kerdil, daun-daun muda pucat yang dikenal dengan istilah "*white tip*", pada tanaman sereal, nekrosis pada meristem apikal. Apabila daun muda layu karena gejala defisiensi akan menyebabkan turunnya laju transport air. Akibat kekurangan air dalam jaringan juga akan menyebabkan struktur dinding sel tanaman akan melemah, keadaan ini akan merusak transport kalsium atau kebocoran ion kalsium (Marschner, 1986).

Brown (1985) mengemukakan bahwa defisiensi Cu akan menyebabkan ujung-ujung daun menipis dan mengulung. Pada tanaman buah-buahan defisiensi Cu mempengaruhi pertunasan dan menyebabkan kematian ranting-ranting tanaman, sedangkan pada tanaman sereal akan mempengaruhi fase generatif yaitu terganggunya pembentukan bunga dan buah. Keadaan ini menunjukkan bahwa mobilitas Cu kecil jika tanaman mengalami defisiensi.

C.2. Toksisitas Tanaman

Menurut Marschner (1986), beberapa tanaman pertanian yang mengandung Cu 20-30 mg/g berat kering akan mengalami gejala toksik, tetapi antar spesies tanaman akan berbeda sifat toleransinya terhadap Cu. Perbedaan sifat ini berhubungan secara langsung dengan jumlah kandungan Cu yang ada dalam tanaman.

Efek yang ditimbulkan akibat daya toksik Cu ini adalah kemampuannya menggantikan peranan ion Fe dalam proses fisiologi (menyerupai defisiensi Fe) akibatnya terjadi klorosis yaitu daun tanaman akan berwarna kuning. Klorosis akibat kandungan Cu yang tinggi akan mempengaruhi kerja enzim lipid

peroksidase dan terjadi kerusakan membran tilakoid. Efek lain akibat toksisitas Cu adalah terjadinya penghambatan pertumbuhan akar (Marschner, 1986).

Woolhouse (1975), membandingkan pengaruh yang ditimbulkan oleh peningkatan konsentrasi Cu dalam kultur tanaman terhadap plasmalemma antara tanaman non toleran dan tanaman toleran terhadap Cu dari spesies *Agrostis tenuis*. Kerusakan plasmalemma akibat kebocoran ion K^+ akan lebih tinggi pada tanaman non toleran Cu.

Menurut Connel dan Miller (1984), membagi 3 golongan mengenai mekanisme toksisitas logam yaitu:

1. Menghambat fungsi esensial biologi pada kelompok biomolekul seperti enzim dan protein.
2. Memindahkan ion logam esensial dalam biomolekul
3. Merubah konformasi (bentuk) aktif dari biomolekul.

Mekanisme di atas juga berlaku bagi Cu karena Cu merupakan logam. Ambang batas yang terlampaui akan menyebabkan meningkatnya aktivitas enzim dan protein dalam pembentukan khelat, yang akibatnya bersifat toksik pada tumbuhan.

Menurut Connel dan Miller (1984), ion logam berat umumnya dapat terikat pada gugus -SH dan gugus -N pada pusat aktif enzim sehingga mengubah bentuk dari enzim itu sendiri, disamping itu juga mengubah integritas struktural dan fungsional protein.

D. Mekanisme Toleransi Terhadap Tembaga (Cu)

Efek toksik dapat disebabkan oleh mekanisme fisiologi yang bervariasi tergantung pada reaksi yang terjadi di dalam akar, kecepatan mekanisme, translokasi sepanjang jaringan akar dan sifat logam berat (Waisel *et al.*, 1991).

Methallophyta adalah suatu spesies tanaman yang sangat toleran terhadap logam berat, tanaman ini tumbuh di areal pertambangan. Pada beberapa spesies sifat toleran ini terbatas hanya pada logam berat tertentu, beberapa spesies lain akan bersifat kotoleran terhadap beberapa logam berat yang ada di lingkungan. Pada spesies yang toleran kandungan Cu dalam daun berkisar antara 10 mg/g berat kering tanaman (Marschner, 1986).

Pengaruh biologi yang diakibatkan oleh logam berat, khususnya mekanisme toksisitas awal akan berbeda sesuai sifat kimianya antara lain valensi, jari-jari ion, potensial redoks dan kemampuan untuk membentuk kompleks organik. Ion-ion logam berat ini menyebabkan perubahan proses biokimia dan fisiologi yaitu kerusakan membran sel dan perubahan aktivitas enzim (Kenne dan Gonsales, 1987).

Bercelo (1989), mengemukakan efek lebih lanjut yang ditimbulkan oleh logam berat yaitu gangguan keseimbangan hormon, defisiensi nutrisi esensial, penghambatan proses fotosintesis, perubahan alokasi karbon dan perubahan yang berhubungan dengan keberadaan air tanaman. Keadaan ini akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan akar yang akhirnya mengganggu pertumbuhan tanaman. Perubahan yang berhubungan dengan keberadaan air tanaman karena logam berat biasanya mempengaruhi fungsi-fungsi membran sel dan keseimbangan ion. Isolasi yang dilakukan pada jaringan hidup berhasil

menemukan protein dengan berat molekul rendah yang banyak mengandung sulfur dan kation logam berat seperti Cu, Zn dan Cd, protein ini disebut *methallotionin* yang terdiri dari sistein. Logam berat ini membentuk ikatan kompleks dengan asam amino yaitu pada gugus – SH yang fungsinya untuk menjaga aktivitas enzim.

Methallotionin adalah suatu peptida yang pembentukannya tidak langsung dikode oleh struktur gen-gen tetapi dihasilkan dalam jalur biosintesis. Sel-sel yang mempunyai resistensi terhadap konsentrasi logam berat yang tinggi seperti Cu dan Cd akan menghasilkan suatu peptida dengan struktur yang sangat khas yaitu q (poly (Glutamil sisteinyl) – glisin), strukturnya hampir sama dengan *methallotionin*. Beberapa tanaman ada yang memproduksi dan ada juga yang sama sekali tidak memproduksi kedua ke dua jenis senyawa itu (Marschner, 1986).

Teori tentang mekanisme toleransi tanaman terhadap logam berat diringkas dalam bentuk teori kompartementasi yaitu berdasarkan kemampuan tanaman untuk menyimpan pengaruh logam ke dalam organ-organ atau kompartemen sub seluler yang bukan merupakan tempat aktivitas metabolik. Pada tingkat organ, telah banyak diteliti bahwa pengaruh logam dapat ditranslokasikan dalam daun tua yang akan gugur (Wang dan Evangelon, 1995).

Mekanisme toleransi tanaman terhadap logam berat meliputi akumulasi logam dalam trikhoma, meningkatkan eksudasi bahan pengikat logam, pengikatan logam pada dinding sel, pemotongan jalur transport logam dari akar ke tunas, merubah proses metabolisme seluler, merubah struktur dan permeabilitas

membran, memproduksi senyawa pemisah logam intraseluler dan mengaktifkan pompa ion logam ke dalam vakuola (Woolhouse, 1983).

Mekanisme detoksifikasi logam berat akan melibatkan suatu jenis protein spesifik, pada tomat dan kedelai ditemukan juga sejenis protein di dalam akar yang lingkungannya mengandung Cd, Zn dan Cu. Protein ini lebih mirip *phytochellatin* dari pada *methalotionin*. Sebenarnya efek toksik terbesar logam berat disebabkan oleh peristiwa pertukaran tempat Ca dalam bagian esensial pada membran sel akar (Rouser, 1986).

E. Morfologi dan Klasifikasi Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill).

Kedelai merupakan tanaman semak dengan daun tunggal berbentuk sederhana, letak daun berseberangan. Mempunyai akar tunggang, setelah empat hari biji di tanam, akar rambut akan tumbuh pada akar utama yang disebabkan oleh bakteri *Rhizobium* yang masuk melalui sel peridormal, kemudian masuk pada sel-sel korteks dan menstimulir sel korteks untuk membelah dengan cepat sehingga membentuk bintil akar. Bunga adalah bunga banci, zigomorf, kelopak berbilang 5, pada pangkal berlekatan, mahkota dengan susunan khas, satu paling besar disebut bendera (*vexillum*), 2 di samping sama besar disebut sayap (*alae*), 2 lagi sempit berlekatan disebut lunas (*carina*). Buah berupa polong yang bila masak menjadi kering dan pecah, tetapi ada juga yang tidak pecah, melainkan terputus dalam bagian yang berisi satu biji tanpa atau sedikit endosperm cadangan makanan untuk lembaga terutama tersimpan dalam daun lembaga (Suprpto. 1985).

Kedelai sangat peka terhadap perubahan faktor lingkungan, pertumbuhan dapat lebih baik pada struktur tanah yang gembur, bebas rumput dan cara bercocok tanam yang baik. Respon kedelai terhadap perubahan faktor lingkungan akan lebih menguntungkan dengan memilih varietas yang sesuai, waktu tanam, pemupukan dan populasi tanaman yang tepat (Suprpto, 1985).

Biji kedelai dapat berkecambah dengan sempurna bila oksigen dan kelembaban cukup. Imbibisi atau meresapnya air ke dalam biji merupakan syarat utama demi berlangsungnya proses perkecambahan. Air dapat di ambil dari biji sendiri dan tanah. Kedelai dapat mempergunakan N bebas dari udara dengan melalui fiksasi oleh Rhizobium yang hidup pada bintil-bintil akar (Suprpto, 1985).

Menurut Suprpto (1985), kedudukan taksonomi tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) adalah sebagai berikut:

- Divisio : Spermatophyta
- Sub-divisio : Angiospermae
- Klass : Dicotyledoneae
- Sub-klass : Dialypetalae
- Ordo : Polypetales
- Familia : Leguminosae
- Sub- familia : Papilionoideae
- Genus : *Glycine*
- Spesies : *Glycine max* (L.) Merrill.
- Varietas : *Glycine max* (L.) Merrill var. *Argo mulyo*

Tanaman kedelai merupakan tanaman penghasil komoditi yang bernilai ekonomis, merupakan bahan pangan dengan nilai gizi yang tinggi karena di dalam bijinya terkandung 38 – 46 persen protein, lemak dan vitamin-vitamin dalam bijinya. Polong yang muda dan daun muda banyak digunakan sebagai sayuran.

F. Pertumbuhan

Pertumbuhan adalah penambahan ukuran (volume, berat, panjang, lebar dan diameter) dan penambahan jumlah sel (isi sel) yang bersifat irreversibel (tidak dapat balik) sehingga nantinya menjadi sel dewasa atau siap melakukan pembelahan (Nasir, 1995).

Menurut Noggle dan Fritz (1979), kecepatan pertumbuhan dapat diukur dengan beberapa cara antara lain dengan mengukur tinggi tanaman, luas daun, lebar daun, berat basah dan berat kering dari masing-masing organ seperti akar, batang dan daun, tetapi pada umumnya pertumbuhan tanaman cukur diukur tinggi dan berat keringnya saja.

Pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan oleh penambahan ukuran dan berat kering mencerminkan protoplasma yang mungkin terjadi baik ukuran sel maupun jumlah sel bertambah. Pertambahan protoplasma berlangsung melalui suatu rentetan peristiwa perubahan air dan garam-garam organik menjadi bahan-bahan organik. Berkenaan dengan sel-sel tanaman, peristiwa ini mencakup pembentukan karbohidrat (proses fotosintesis), penyerapan dan gerakan air serta zat hara (proses absorpsi dan translokasi), penyusunan dan perombakan (proses metabolisme) protein kompleks dan lemak-lemak dari karbon dan persenyawaan anorganik.

Tenaga kimia yang diperlukan diperoleh dari pernapasan dan respirasi (Odum, 1981).

Sistem akar suatu jenis tanaman mempunyai bentuk yang khas, meskipun kondisi lingkungan seperti sifat tanah dan banyaknya air yang tersedia sangat berpengaruh terhadap bentuk sistem akar maupun seberapa jauh akar itu berkembang. Akar yang berkembang langsung dari sumbu embrio disebut akar primer dan akar yang tumbuh dari akar-akar primer disebut akar lateral. Sistem akar bervariasi dalam strukturnya sesuai dengan perkembangan relatif akar-akar primer dan akar-akar lateral, tetapi pada dasarnya hanya ada dua tipe utama sistem akar yaitu; sistem akar tunggang dan sistem akar serabut. Dalam sistem akar tunggang, baik akar primer maupun akar lateral yang menggantikan akar primer pada tahap awal perkembangan kecambah, tumbuh lebih cepat dan menjadi lebih besar serta kuat daripada akar-akar lainnya sehingga terbentuk satu atau lebih akar utama. Pada sistem akar serabut, akar primer diganti dengan sejumlah akar yang semuanya tumbuh sampai kira-kira panjang dan diameternya sama. Sistem akar demikian biasanya mudah dicabut karena akar tumbuh tidak terlalu dalam (Loveless, 1991).

Rambut-rambut akar tumbuhan berfungsi untuk menegakan tanaman, penyerapan air dan unsur hara (mineral-mineral). Pada tumbuhan tingkat tinggi organ yang pertama sekali mengalami hubungan langsung dengan logam berat adalah akar, sebab akar berada dalam larutan mineral tanah. Apabila konsentrasi logam berat dalam lingkungan akar tanaman terlalu tinggi maka akar dan organ tanaman lain akan mengalami keracunan, tetapi pada konsentrasi yang sangat

rendah akan mengalami gejala defisiensi (Waisel *et al.*, 1991). Logam berat sangat mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman yang menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan mitosis akar, penurunan panjang akar dan turunnya elastisitas dinding sel.

Menurut Loveless (1991), tanaman hidroponik cenderung mempunyai sistem pertunasan yang kuat, akar lebih sedikit dan tanpa rambut-rambut akar. Pertambahan konsentrasi logam berat seperti Cu, Pb dan Co ke dalam media hidroponik akan menyebabkan penurunan densitas rambut-rambut akar tanaman dan diikuti penurunan pertumbuhan tanaman karena kapasitas rambut akar untuk mengabsorpsi air dan mineral akan menurun. Pada beberapa tanaman pertanian yang disuplai tembaga, perakaran tanaman akan semakin tebal sehingga kecepatan absorpsinya menurun.

Woolhouse (1975) menyatakan bahwa proses mitosis yang terjadi pada akar tanaman akan menghasilkan sel-sel anakan baru yang akan bertambah panjang dan volumenya meningkat. Mitosis terjadi pada zona apikal akar, sedangkan perpanjangan sel terjadi pada bagian sub-apikal.

G. Klorosis

Brown (1975), menyatakan bahwa kandungan tembaga dalam kloroplast relatif sangat tinggi, kurang lebih 70 % total tembaga dalam daun terikat pada organela tersebut, sehingga apabila konsentrasi Cu sangat tinggi tanaman akan mengalami gejala toksik. Gejala ini mengakibatkan daun-daun menjadi kuning karena terjadi reduksi klorofil. Pada beberapa kasus, klorosis akibat daya toksik

tembaga ini akan menghambat fungsi dan traslokasi Fe, tetapi klorosis tidak selalu identik dengan penurunan Fe sebab konsentrasi Fe dalam kloroplas daun yang mengalami klorosis jumlahnya dapat mencapai 25% dari konsentrasi daun hijau yang normal. Penyebab penurunan kandungan Fe kloroplas belum jelas, mungkin transport Fe ke dalam plastida terhambat atau terjadi penggabungan tembaga dengan Fe ke dalam ikatan enzim Fe dan protein transport elektron.

