

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. LOGAM BERAT Pb

Pada dasarnya logam sangat diperlukan dalam proses produksi dari suatu pabrik, baik pupuk cat, aki/baterai, sampai produksi alat-alat listrik. Bahan yang digunakan oleh pabrik itu dapat berbentuk logam murni, bahan anorganik maupun bahan organik. Jumlah logam yang digunakan bervariasi menurut bentuk dan jenis pabriknya (Darmono, 1995).

Timah hitam adalah sejenis logam yang lunak dan berwarna coklat kehitaman, serta mudah dimurnikan dari pertambangan. Dalam pertambangan, logam ini berbentuk sulfida logam (PBs), yang sering disebut galena. Senyawa ini banyak ditemukan dalam pertambangan-pertambangan di seluruh dunia. Bahaya yang ditimbulkan oleh penggunaan timah hitam ini adalah sering menyebabkan keracunan Pb. Hal ini kebanyakan disebabkan oleh kerabunan pencemaran oleh lingkungan atau udara, terutama di kota-kota besar (Darmono, 1995).

Logam berat Pb yang masuk ke dalam lingkungan hidup kebanyakan berasal dari kegiatan manusia. Logam berat di dalam lingkungan tidak dengan sendirinya membahayakan kehidupan makhluk. Logam berat membahayakan apabila masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk dalam jumlah melebihi ambang batas. Ambang batas untuk tiap jenis makhluk berbeda-beda. Pemasukan logam berat ke dalam sistem metabolisme manusia dan hewan dapat secara langsung atau tidak langsung. Pemasukan secara langsung terjadi

bersama dengan air yang diminum, bersama dengan udara yang dihirup, atau lewat singgungan dengan kulit. Pemasukan secara tidak langsung terjadi bersama dengan bahan yang dimakan. Dalam kejadian ini sumber logam berat adalah tanah, air dan atau udara melalui perantara tumbuhan yang menyerap logam berat dari sumber-sumber tersebut dan menimbun dalam jaringannya yang nanti dimakan manusia atau hewan, logam berat masuk ke dalam tubuh manusia atau hewan (Notohadiprawiro, 1995).

Polusi timbal (Pb) dapat terjadi di udara, air maupun tanah. Kandungan timbal di dalam tanah rata-rata adalah 16 ppm, tetapi pada daerah-daerah tertentu mungkin dapat mencapai beberapa ribu ppm. Timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya sebagai berikut:

1. Timbal mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal
2. Timbal merupakan logam lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk
3. Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab
4. Timbal dapat membentuk alloy dengan logam lainnya, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat berbeda dengan timbal yang murni
5. Densitas timbal lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri (Fardiaz, 1992).

Penggunaan timbal terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpanan untuk mobil, dimana digunakan timbal metalik dan komponen-komponennya. Bagian yang aktif dari baterai terdiri dari timbal dioksida (PbO_2) dan logam timbal yang terikat pada grid. Penggunaan lainnya dari timbal adalah pelapis kabel, pipa dan solder, bahan kimia, pewarna dan lain-lainnya. Komponen timbal juga digunakan sebagai pewarna cat karena kelarutannya di dalam air rendah, dapat berfungsi sebagai pelindung, dan terdapat dalam berbagai warna. Timbal juga digunakan sebagai campuran dalam pembuatan pelapis keramik yang disebut *glaze*. *Glaze* untuk membentuk sifat mengikat yang tidak dapat dibentuk dengan oksida lainnya (Fardiaz, 1992).

Konsentrasi timbal di udara di daerah perkotaan mungkin mencapai 5-50 kali daripada di daerah-daerah pedesaan. Timbal yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu berbentuk gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin dari kendaraan bermotor yang terdiri dari tetraetil Pb dan tetrametil Pb. Partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb-oksida, pembakaran arang dan sebagainya. Polusi Pb yang terbesar berasal dari pembakaran bensin dimana dihasilkan berbagai komponen Pb, terutama $PbBrCl$ dan $PbBrCl \cdot 2 PbO$ (Fardiaz, 1992).

B. TOKSISITAS Pb PADA TANAMAN

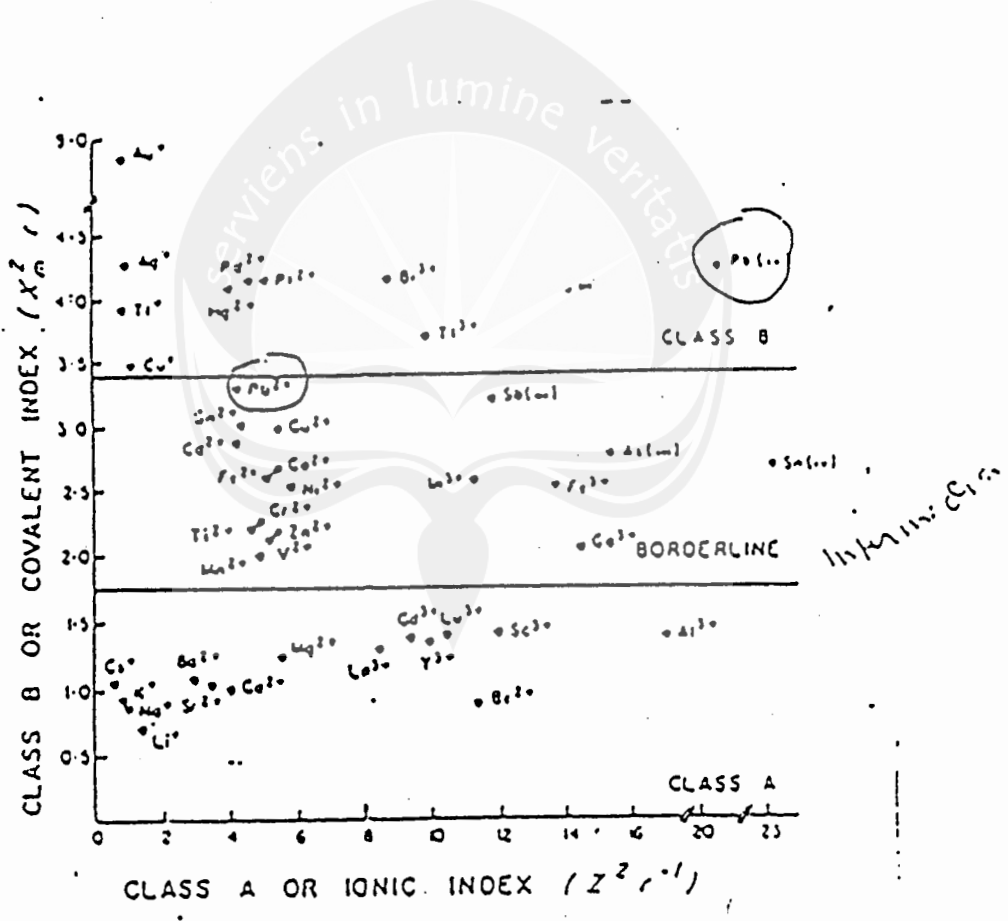
Menurut Connel dan Miller (1984), membagi 3 golongan mengenai mekanisme toksisitas logam yaitu:

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

Mekanisme di atas juga berlaku bagi Pb, karena Pb juga 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 dari protein.

Tumbuhan mempunyai ambang batas tertentu terhadap ion logam. Suatu penelitian dari Jamil dalam Prakash (1993) pada berbagai tumbuhan tingkat tinggi memperlihatkan bahwa kadar Pb kurang dari 50 ppm tidak mengganggu fungsi fisiologis secara normal, sedangkan dengan kadar 100 ppm akan diakumulasi oleh daun sebesar 870 µg. Kadar Pb sebesar 1000 ppm menyebabkan kematian pada tumbuhan tingkat tinggi. Konsentrasi Pb yang melampaui batas maksimal menurut Connel dan Miller (1984) dapat menyebabkan reduksi terhadap organ tumbuhan. Akibatnya ukuran tumbuhan menjadi kerdil, bunga dan buah lebih kecil dari normal bahkan mungkin tidak terbentuk, disamping itu juga menyebabkan klorosis. Efek yang paling fatal adalah menyebabkan kematian. Namun ada juga tanaman yang mempunyai kemampuan untuk mentoleransi logam berat yang diakumulasinya.

Urutan toksisitas metal terdapat persamaan bentuk dari berbagai organisme yang berbeda. Persamaan urutan-urutan toksisitas logam dari berbagai organisme yang berbeda dapat diterangkan sesuai dengan klasifikasi dari ion-ion logam, yaitu kelas A berdasarkan sumber oksigen, kelas B berdasarkan sumber N dan kelas Intermedia atau Borderline (Gambar 1) di bawah ini (Connel dan Miller, 1984). Hal ini berarti bahwa ion-ion kelas B lebih beracun dibandingkan dengan ion-ion kelas A.



Gambar 1. Klasifikasi ion-ion logam (Connel dan Miller, 1984)

Sesuai dengan kenampakan pada Gambar 1, ion Pb (IV) mempunyai kedudukan di dalam kelas B yang berarti lebih toksik dibandingkan dengan ion Pb (II) yang berada di dalam kelas intermedia.

Hubungan toksisitas logam berat dengan kedudukannya di dalam klasifikasi tersebut adalah:

1. Ion paling toksik pada kelas B tampak sebagai spektrum yang luas dengan mekanisme toksisitas sebagai berikut:
 - a. Mereka lebih efektif terikat pada gugus -SH (contoh; sistein) dan gugus -N (contoh; lisin dan histidin imidazole) pada pusat aktif enzim katalis.
 - b. Mereka dapat menggantikan ion-ion intermedia yang bersifat endogen dari enzim logam, yang menyebabkan perubahan bentuk enzim.
 - c. Bersama dengan beberapa ion intermedia, mereka dapat membentuk ion-ion logam organik yang larut dalam lipid, seperti Pb, mampu menembus membran biologi dan diakumulasi dalam sel dan organel.
 - d. Beberapa logam menunjukkan aktivitas oksidasi dan reduksi yang dapat mengubah integritas struktural dan fungsional dari protein.
2. Ion-ion intermedia bekerja untuk mengubah ion intermedia lain yang bersifat endogen atau ion kelas A dari biomolekul (Connel dan Miller, 1984).

Mekanisme pada tanaman untuk melawan toksisitas dari logam berat melalui:

1. Pengeluaran logam berat dari kedudukan metal sensitive
2. Membentuk enzim metal-resisten spesifik
3. Pemindahan jalur metabolisme

Beberapa tanaman yang terkontaminasi Pb sanggup mentoleransi konsentrasi Pb yang berlebihan. Dalam beberapa situasi, tanaman metal tolerance mengandung Pb dua atau tiga kali lipat dari tanaman normal. Mekanisme detoksifikasi meliputi tempat penyimpanan metal pada kedudukan in aktif (sifat sementara) dan pada kedudukan permanen. Tempat penyimpanan sementara biasanya terikat pada protein, polisakarida, dan asam amino. Tempat penyimpanan permanen terdapat di dalam plasmalema dinding sel (Connel dan Miller, 1984).

C. ABSORPSI Pb OLEH TANAMAN

Proses absorpsi Pb di dalam jaringan tumbuhan dimulai dari penyerapan Pb oleh akar, yang akan diendapkan pada permukaan akar. Pb secara perlahan mengumpul di dalam sel di dalam gelembung diktiosoma (Malone *et al.*, 1974). Gelembung-gelembung tersebut bermigrasi ke dinding sel dan Pb akan diakumulasikan di dalam plasmalema daun dan batang. Menurut Ernst dalam Mansfield (1976) lebih dari 90% Pb tersimpan dalam dinding sel dan pucuk. Hanya sejumlah kecil Pb menembus kutula daun dan buah-buahan.

Absorpsi Pb dalam bentuk larutan dengan difusi pasif, melalui gradien yang terjadi pada permukaan tubuh dan bagian vital lainnya (Connel dan Miller, 1984). Rata-rata absorpsi dipengaruhi oleh perubahan faktor fisikokimia seperti temperatur, pH, dan salinitas serta perubahan faktor fisiologi.

Akibat induksi logam berat tanaman akan memberikan respon sensitif dan resisten. Sensitifitas diakibatkan oleh pengaruh stress logam berat yang mengakibatkan tanaman luka atau mati. Resistensi, merupakan respon tanaman terhadap stress logam berat untuk mempertahankan diri dan bereproduksi (Baker, 1987; Levitt, 1980). Lebih lanjut Baker (1987) menyatakan bahwa resistensi tanaman terhadap stress logam berat dapat ditempuh melalui dua cara; a) tanaman melakukan proteksi terhadap pengaruh stress dari luar dan b) toleransi, yang berarti tanaman mempertahankan diri terhadap pengaruh stress dari dalam. Toleransi terjadi karena tanaman memiliki mekanisme fisiologis yang spesifik, yaitu tanaman secara kolektif memungkinkan melakukan fungsi fisiologis normal, walaupun ada elemen yang berpotensi toksik dalam konsentrasi tinggi.

D. MEKANISME TOLERANSI TANAMAN TERHADAP LOGAM BERAT

Mekanisme toleransi tanaman terhadap logam berat meliputi akumulasi logam dalam trichome (organel sel), meningkatkan eksudasi bahan pengkelat logam, pengikatan logam pada dinding sel, pemotongan jalur transport logam dari akar ke tunas, merubah struktur dan permeabilitas membran, merubah proses metabolisme seluler, memproduksi senyawa pemisah logam intraseluler, mengaktifkan pompa ion logam ke dalam vakuola, dan lain-lain (Baker, 1987; Verkleij dan Schat, 1990; Woolhouse, 1983; Blamey *et al.*, 1986; Ross, 1994). Toleransi tanaman terhadap logam

telah dibuktikan terjadi dalam beberapa mekanisme sekaligus secara simultan (Baker, 1987).

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 aktifitas metabolik. Pada tingkat organ, telah banyak diteliti bahwa pengaruh logam dapat ditranslokasikan dalam daun tua yang akan gugur (Verkleij dan Schat, 1990) terdapat korelasi positif antara resistensi logam dan rasio konsentrasi logam pada akar tunas yang dihasilkan dari adanya perubahan kapasitas pengikatan logam dalam dinding sel pada tanaman resisten (Fitter dan Hay, 1987).

Pada tingkat seluler logam berat disimpan di vakuola yang kurang aktif melakukan metabolisme (Rauser dan Ackerley, 1987). Logam-logam berat tersebut terdapat dalam bentuk yang berbeda di vakuola, tergantung kompleksitas potensinya dengan logam organik atau anorganik, dan akhir ketersediaannya (Wang *et al.*, 1992). Protein dalam makromolekul lain dapat diakumulasi dalam vakuola dan kemudian dapat didegradasi. Ion-ion dan metabolit tidak dapat dideposisikan secara sederhana dalam vakuola, namun akhirnya secara terus menerus saling berpengaruh dan saling merubah dengan unsur pokok sitoplasma (Wink, 1993). Oleh karena itu bentuk vakuola menentukan lingkungan internal sitoplasma, sehingga vakuola penting dalam homeostatis (Boller dan Wiemken, 1986).

Lebih lanjut Wang dan Evangelon (1995) menyatakan bahwa fungsi terpenting dari vakuola adalah sebagai penyeimbang bahan untuk menjaga kesehatan tanaman. Selain itu vakuola berperan pula dalam memberi signal, pertahanan dan detoksifikasi logam. Beberapa mekanisme detoksifikasi logam berat didasarkan pada kompleks logam-logam yang berhubungan dengan kompartementasi vakuola. Salah satu mekanisme tersebut adalah adanya peptida pengikat logam yang disebut fitokelatin (Wang dan Evangelon, 1995). Ross (1994) juga menyatakan bahwa tanaman melakukan mekanisme toleransi penting yang bersifat induktif terhadap logam berat dengan menghasilkan atau membentuk senyawa polipeptida pengikat logam seperti fitokelatin.

E. MEKANISME TOLERANSI LOGAM TERINDUKSI

Beberapa penelitian membuktikan bahwa mekanisme akumulasi logam pada tanaman terjadi karena adanya molekul fitokelatin yang merupakan polipeptida kecil pengikat logam, sehingga berkurang sifat toksiknya. Fitokelatin yang mengikat logam akan ditransport ke dalam vakuola tanaman untuk disimpan (Rauser, 1990; Speiser *et al.*, 1992; Abrahamson *et al.*, 1992; Ow, 1993; Wang dan Evangelon, 1995; Moffat, 1995). Artlip dan Funkhouser (1995) menyatakan bahwa pada hewan pemisahan logam berat terutama dilakukan oleh suatu protein yang dinamakan metallothionein. Protein ini kaya akan residu asam amino sistein yang dapat mengkelat ion logam.

Pada tanaman juga terdapat protein sejenis yang berperan dalam pertahanan terhadap toksisitas logam berat, dalam bentuk polipeptida ekuivalen, yaitu fitokelatin. Steffens (1990) lebih lanjut menyatakan bahwa hasil penelitian akhir-akhir ini membuktikan bahwa fitokelatin dan logam pengikat logam terdapat di pusat vakuola.

Beberapa species kemotrof melalui aktivitas perubahan asam dari hasil pembentukan di daerah pertambangan dapat memetabolisme Pb menjadi senyawa organik seperti Pb-Sulfida. Sulfur merupakan salah satu unsur esensial yang dibutuhkan tumbuhan untuk membentuk ikatan sulfhidril (-SH), yang akan digunakan untuk membentuk protein. Suatu keadaan pada saat S terikat oleh Pb, maka aktivitas pembentukan protein akan terhambat. Terhambatnya aktivitas ini akan menyebabkan berbagai gangguan baik secara fisiologis maupun morfologis. Akibatnya akan terjadi pertumbuhan abnormal pada tumbuhan (Connel dan Miller, 1984).

Pengaruh logam berat (Pb) terhadap distribusi Pb dan pertumbuhan tanaman, misalnya pada kangkung darat (*Ipomea reptans*, P) perlu dipelajari sifat-sifat dari kangkung darat.

F. KANGKUNG (*Ipomoea aquatica* Forsk)

Tinjauan sistematik dari tanaman kangkung darat menurut Steenis (1988), adalah sebagai berikut:

Divisio	: Spermatophyta
Sub Divisio	: Angiospermae
Class	: Dicotyledoneae
Sub Class	: Sympetalae
Ordo	: Solanales
Familia	: Convolvulaceae
Genus	: Ipomoea
Species	: <i>Ipomoea aquatica</i> Forsk.

Kangkung adalah sayuran yang dapat berumur panjang, sayuran daun ini juga memiliki kandungan zat besi yang lumayan. Kangkung Darat berbeda dengan kangkung air, kangkung darat justru banyak tumbuh di lahan kering atau tegalan, daun lebih langsing dan ujung daun meruncing. Warnanya hijau pucat keputih-putihan. Warna bunga putih polos (Rukmana, 1994).

Perbanyakan tanaman ini dilakukan dengan stek batang sepanjang 30 cm dengan 6-8 ruas yang ditanamkan pada tanah yang lembek atau berair dan dapat juga dilakukan dengan penanaman dari biji pada tanah (Tindall, 1986).

Kangkung memerlukan cahaya matahari yang cukup serta suhu optimum antara 25-30, oleh karena itu kangkung dapat tumbuh baik di daerah tropik (Cook, 1974). Tanaman kangkung akan tumbuh memanjang (tinggi) namun kurus-kurus pada tempat terlindung (Rukmana, 1994).

Kangkung tergolong sayuran daun yang banyak mengandung vitamin A dan vitamin C serta mineral terutama zat besi, seperti yang tercantum dalam tabel berikut ini:

Tabel 1. Kandungan gizi kangkung per 100 gram bahan (Hukum *et al.*, 1990)

Kandungan Gizi	Jumlah
Kalori	29 Kal
Protein	3,0 gr
Lemak	0,3 gr
Hidrat Arang	5,4 gr
Vitamin A	6.300 SI
Vitamin B	0,07 mgr
Vitamin C	32 mgr
Ca	73 mgr
Pospor	50 mgr
Fe	2,5 mgr
Air	89,8 mgr

Pancho *et al* (1978) menyatakan bahwa tumbuhan ini diduga berasal dari Asia bagian tropik, mungkin India, kemudian berkembang ke seluruh daerah Afrika bagian tropik dan Asia Tenggara termasuk Malaysia, Burma, Indonesia, Cina Selatan dan Asia, kemudian dibawa ke Australia melalui Semenanjung Malaysia. Di Philipina tumbuhan ini sangat luas daerah penyebarannya pada kolam-kolam yang tidak mengalir airnya.

Bagian tanaman kangkung yang paling penting adalah batang muda dan pucuk-pucuknya sebagai bahan sayur-mayur (Rukmana, 1997).

Kegunaan sayuran kangkung selain sebagai sumber vitamin A dan mineral serta unsur gizi lainnya yang berguna bagi kesehatan tubuh, juga dapat berfungsi untuk menenangkan syaraf atau berkhasiat sebagai “obat tidur”. Disamping itu, tanaman kangkung juga mujarab untuk dijadikan bahan obat tradisional (Rukmana, 1994).

Seorang pakar kesehatan di Philipina bernama Herminia de Guzman Ladion, memasukkan kangkung dalam kelompok tanaman obat Penyembuh Ajaib, di antaranya berkhasiat sebagai penyembuh penyakit sembelit. Sembelit merupakan suatu keadaan dimana proses pengeluaran sisa pencernaan berlangsung lambat atau sulit karena mengeras. Resep pengobatan dengan bahan dari tanaman kangkung cukup sederhana, yaitu mengonsumsi dua mangkuk daun kangkung rebus bersama makanan lainnya. Khasiat daun kangkung dapat menyembuhkan sembelit, tanaman kangkung juga dapat dijadikan bagian dari menu bagi orang yang sedang diet. Dalam literatur lain ditemukan bahwa akar kangkung berguna untuk obat penyakit wasir (haemorrhoid) (Rukmana, 1994).

G. PEMUPUKAN

Mengel dan Kirby (1987) menyatakan kandungan unsur nutrien yang paling banyak akan tersedia yang paling banyak pula di dalam tanah. Namun demikian tidak menutup kemungkinan bahwa faktor lingkungan juga mempengaruhi ketersediaan nutrien di dalam tumbuhan.

Ada hubungan antara pertumbuhan tanaman dan kandungan nutrisi di dalam tanah. Keterangan tersebut tidak menutup kemungkinan bahwa semua unsur yang terkandung di dalam tanah dapat diserap oleh tanaman terlepas dari apakah unsur tersebut bersifat racun atau tidak (Evans, 1982).

Suhaendi (1986), menyatakan kesuburan tanah persemaian akan berkurang bila tidak diberi pupuk, sebab hara mineral selalu diambil dari tanah sedangkan bahan-bahan tersebut tidak ditambah lagi dan oleh karena itu pemupukan tanah persemaian merupakan titik tolak pengendalian kualitas persemaian tanaman.

Berdasarkan asal atau terjadinya, pupuk dibedakan menjadi dua golongan yaitu pupuk alam dan pupuk buatan (Bale dan Supriyo, 1984). Lebih lanjut diungkapkan bahwa yang dinamakan pupuk alam adalah pupuk yang dihasilkan oleh alam itu sendiri atau disebut pupuk organik, sedangkan pupuk buatan yaitu pupuk yang dihasilkan oleh pabrik dan bukan berasal dari bahan organik, sehingga sering disebut pupuk anorganik (Bale dan Supriyo, 1984).

Menurut Sastrohutomo (1966), salah satu usaha untuk memperoleh hasil pertumbuhan tanaman secara optimal ialah pemupukan dalam arti penambahan suatu bahan ke dalam tanah dan dapat merubah keadaan fisik, kimia dan hayati tanah sedemikian rupa sehingga sesuai dengan tuntutan tanaman.

Adapun zat-zat yang sangat diperlukan dan seringkali kurang cukup terdapat di dalam tanah terutama:

1. Nitrogen = N
2. Phosphor = P
3. Kalium = K

Zat-zat ini lazimnya ditulis dengan huruf; NPK. Apabila ketiga unsur itu dapat dipenuhi, maka pertumbuhan itu akan menjadi normal dan baik. Sebaliknya apabila terjadi kekurangan atau kelebihan akan menunjukkan gejala-gejala kekurangwajaran. Oleh sebab itu perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Nitrogen = zat lemas = N
 - a. Terdapat di dalam protein dalam tanaman yang berguna untuk pertumbuhan pucuk daun.
 - b. Untuk memajukan, menyuburkan bagian-bagian vegetatif tumbuhnya batang daun. Oleh karena itu pupuk ini diberikan pada masa awal pertumbuhan dan diberikan pada sayuran daun, sebab dengan pupuk N daunnya lekas tumbuh besar, berwarna hijau tua.
2. Phosphor = P
 - a. Terdapat di dalam biji sebagai salah satu unsur di dalam protein.
 - b. Sangat diperlukan untuk pembiakan (generatif) yaitu pembentukan bunga serta bagian-bagiannya, selanjutnya menjadi buah serta bijinya.
 - c. Mendorong dan memajukan pembentukan buah.
 - d. Sebagai perangsang akar, dapat memanjang dan kuat sehingga tahan kekeringan.

3. Kalium = K

- a. Untuk pertumbuhan zat tepung (gula) di dalam tanaman.
- b. Untuk memperkuat tubuh tanaman, sehingga tak mudah rebah.
- c. Daun, bunga dan buah tak mudah lepas dari tangkainya, lebih tahan terhadap penyakit.

Uraian di atas dapat disimpulkan seperti disebutkan Hanafi *et al* (1985) menyatakan bahwa pemupukan di persemaian merupakan salah satu cara yang menguntungkan, karena tanaman yang dihasilkan akan mengalami pertumbuhan yang lebih cepat dan sehat, sehingga anakan dapat dipersiapkan untuk ditanam di lapangan dalam waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan semai yang tidak dipupuk.

