

b. Unsur hara Mikro

Unsur hara ini dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sedikit, seperti : Fe, Mn, Zn, B, dan Cu.

Berdasarkan sumber penyerapannya, unsur hara juga dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

a. Diserap dari udara

Unsur hara yang diserap dari udara adalah Karbon, Oksigen, dan Sulfur yang berasal dari CO₂, O₂, dan SO_x.

b. Diserap dari tanah

Unsur hara ini diserap oleh akar tanaman yang diambil dari kompleks serapan tanah atau dari larutan tanah berupa kation atau anion.

Ada juga unsur hara yang tidak mempunyai fungsi pada tanaman, tetapi kadarnya cukup tinggi dalam tanaman yaitu Aluminium (Al), Nikel (Ni), Selenium (Se), dan Fluor (F).

Penggolongan unsur hara tersebut dapat dilihat pada tabel 3 :

Tabel 3. Penggolongan Unsur Hara Tanaman

Golongan	Esensial		Non-Esensial	
	Utama	Kedua	Menaikkan Produksi	Tidak menaikkan produksi
Makro	N, P, K	Ca, Mg, S,	Na	Si, V
Mikro	Fe, Mn, Zn, B, Cu	Mo, Co, Cl	Al, I	Ar, Ba, Be, Bi, Br, Cr, F, Li, Pb, Rb, Pt, Sr, Se

Sumber : Rosmarkam, 2002

2.4.1. Unsur Kalsium (Ca)

Kalsium (Ca) merupakan unsur alkali tanah berupa logam lunak, reaktif, berwarna putih keperakan. Kalsium merupakan unsur yang melimpah dan terdistribusi secara luas dalam kerak bumi. Kalsium dijumpai dalam feldspar atau silikat kompleks, batu kapur atau pualam, gips, aragonit, dan kalsit (Rosmarkam, 2002).

Bagi tanaman, kalsium diperlukan dalam jumlah banyak khususnya untuk tanaman tingkat tinggi yang diserap dalam bentuk ion Ca^{++} . Kalsium terdapat dalam daun dan mengendap sebagai kristal kalsium oksalat. Didalam sel, persentase kalsium terbesar terdapat pada dinding sel (apoplast). Pada tanaman dikotil yang memiliki kapasitas pertukaran kation tinggi terutama pada saat kadar Ca^{++} rendah, maka lebih dari 50% Ca^{++} terdapat dalam bentuk pektat. Semakin tua umur tanaman, kadar kalsium organnya juga akan semakin tinggi (Rosmarkam, 2002).

Kalsium berfungsi sebagai pengatur tekanan osmotik getah sel dan konstituen produk tanaman. Kalsium juga memiliki peranan yang erat pada pertumbuhan dan pembentukan bunga serta dalam pembelahan sel dan permeabilitas sel. Kekurangan kalsium menyebabkan kuncup tumbuh tidak membuka. Selain itu juga menyebabkan timbulnya gejala penyakit pada ujung akar dan tanaman (Rosmarkam, 2002)

2.4.2. Unsur Magnesium (Mg)

Magnesium dihasilkan dari berbagai sumber terutama batuan dolomit dan air laut (Cotton dan Wilkinson). Magnesium di serap oleh tanaman dalam bentuk ion Mg^{++} . Magnesium termasuk unsur mobil yang jumlahnya relatif rendah yaitu sekitar 0,5 % dibanding kalsium (Rosmarkam, 2002).

Beberapa fungsi magnesium bagi tanaman (Poerwodido, 1992), yaitu :

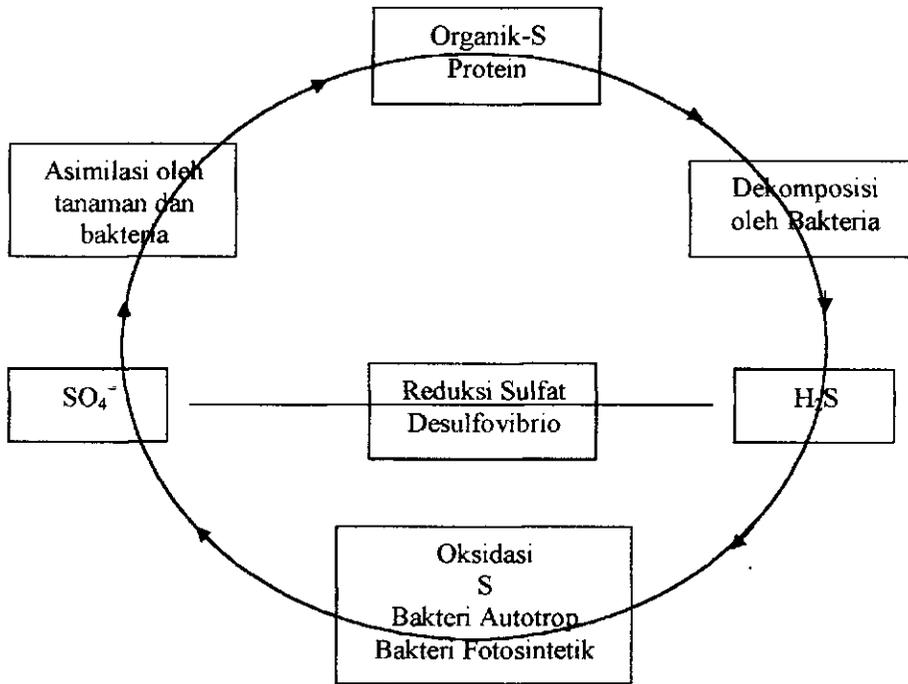
1. Bahan esensial penyusun klorofil yang memberikan warna hijau pada daun.
2. Bahan pembentukan gula dari karbondioksida dan air ketika penyinaran matahari.
3. Mengatur pengambilan unsur hara lainnya seperti nitrogen.
4. Mendorong pembentukan minyak dan lemak.
5. sebagai pembawa fosfor dalam tubuh tanaman.
6. Berperan dalam pemindahan zat pati dalam tanaman.

Kekurangan magnesium akan mempengaruhi terhadap ukuran struktur dan fungsi kloroplas. Termasuk terganggunya transfer elektron dalam fotosintesis.

2.4.3. Unsur Sulfur (S)

Sulfur atau belerang adalah mineral yang dihasilkan oleh aktivitas vulkanik yang memiliki sifat fisik berwarna kuning, kuning kegelapan, dan kehitaman karena pengaruh pengotornya. Sifat sulfur lainnya adalah tidak larut dalam air. Sulfur banyak digunakan dalam industri pupuk, kertas, cat, bahan sintesis dan industri kimia (Rosmarkam, 2002).

Bagi tanaman umumnya menyerap sulfur dalam bentuk $\text{SO}_4^{=}$. Sulfur juga diserap dalam bentuk SO_2 dari udara. Di dalam tanah, sebagian sulfur dalam bentuk senyawa organik yang umumnya berasal dari S-protein dan sebagian lagi dalam bentuk anorganik yang biasanya berasal dari batuan. Perubahan senyawa sulfur di alam dapat digambarkan dalam bentuk siklus sulfur pada gambar 1. Adanya sulfur dalam tanah juga dipengaruhi oleh pH tanah tersebut. Pada pH yang relatif rendah jumlah sulfur berkurang dan juga sebaliknya jumlah sulfur akan meningkat pada pH tanah yang tinggi (Rosmarkam, 2002).



Gambar 1. Siklus Sulfur

Sumber : Sutedjo, 1991

Bagi tanaman, sulfur memiliki peranan yang penting (Poerwowidodo, 1992) antara lain :

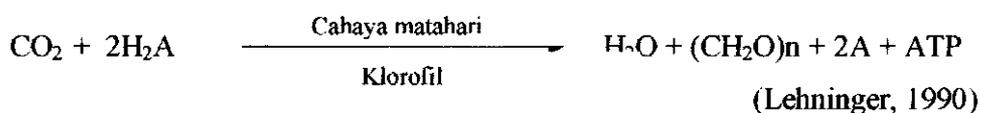
1. Sintesis protein, vitamin tertentu, klorofil dan senyawa organik lain.
2. Berperan dalam proses pembentukan zat gula.
3. Membentuk asam amino yang mengandung sulfur

2.5. Tinjauan umum EM (*Effective Microorganism*)

EM (*Effective Microorganism*) adalah kultur campuran berbagai mikroorganisme yang bermanfaat sebagai inokulan mikroba dan non pathogen baik berupa mikroorganisme aerob maupun anaerob yang berfungsi sebagai alat pengendali biologis dalam mengendalikan bakteri pathogen dengan cara memasukkan mikroorganisme bermanfaat kedalam lingkungan (APNAN, 1995). EM terdiri dari lima kelompok mikroba yaitu :

1. Bakteri fotosintesis, merupakan bakteri perombak bahan-bahan organik atau gas-gas berbahaya seperti hydrogen sulfida (H_2S) menjadi zat-zat yang bermanfaat seperti asam amino, asam nukleat dan gula dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Hasil metabolisme ini dapat langsung diserap oleh tanaman dan juga berfungsi sebagai substrat bagi bakteri atau mikroorganisme lainnya. Reaksi fotosintesis yang terjadi pada bakteri pada dasarnya sama dengan reaksi fotosintesis pada tanaman hijau.

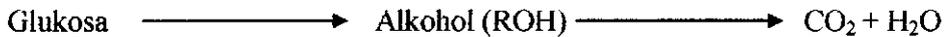
Persamaan untuk reaksi fotosintesis bakteri adalah sebagai berikut :



2. Bakteri asam laktat (*Lactobacillus*), dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme yang merugikan dan meningkatkan kecepatan perombakan bahan-bahan organik, juga mampu menghancurkan bahan-bahan organik seperti lignin, selulosa dan memfermentasi senyawa-senyawa tersebut tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan (APNAN, 1995)
3. Ragi, membentuk zat-zat antibakteri dengan cara memanfaatkan asam-asam amino dan gula yang dihasilkan oleh bakteri fotosintesis. Sekresi ragi adalah substrat yang baik bagi mikroorganisme efektif seperti bakteri asam laktat dan *Actinomyces*.
4. *Actinomyces*, dapat hidup berdampingan dengan bakteri fotosintesis sehingga dapat meningkatkan mutu lingkungan tanah dengan meningkatkan aktivitas antimikroba tanah. Bentuk strukturnya antara bakteri dan jamur, meningkatkan zat-zat antimikroba dari asam amino yang dikeluarkan bakteri fotosintesis dan bahan organik. Zat-zat antimikroba ini dapat menekan pertumbuhan jamur dan bakteri.
5. Jamur fermentasi, dapat menguraikan bahan organik secara cepat untuk menghasilkan alkohol, ester dan zat-zat antimikroba. Zat-zat tersebut dapat mencegah terjadinya



serbuan serangga dan ulat yang merugikan (APNAN, 1995). Peragian adalah katabolisme anaerob karbohidrat untuk memperoleh energi. Reaksi sederhana dari proses fermentasi adalah:



Tekhnologi EM didasarkan pada konsep mikroorganisme efektif yang dapat hidup berdampingan secara damai dan saling menguntungkan dan prinsip kerjanya adalah fermentasi. Sehingga dapat mempercepat dekomposisi limbah, menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen, meningkatkan aktifitas mikroorganisme menguntungkan, meningkatkan ketersediaan nutrisi dan mengurangi kebutuhan pupuk dan peptisida kimia.

EM dapat memacu pertumbuhan tanaman dengan melarutkan unsur hara yang ada didalam tanah sehingga mudah diserap oleh tanaman. Limbah yang telah difermentasi dengan EM akan terdekomposisi menjadi senyawa-senyawa yang bermanfaat bagi tanah. Sehingga bila disiramkan ke tanah dalam jangka waktu tertentu akan dapat meningkatkan kandungan unsur-unsur hara yang terdapa di tanah.

Dari hasil alami Mikroorganisme Fermentasi dan sintetik di dalam tanah terciptalah EM (*Effective Microorganism*). EM merupakan bakteri fermentasi, dari genus *Lactobacillus*, jamur fermentasi, *Actinomyces* bakteri fotosintetik dan ragi. Untuk memfermentasi bahan organik di dalam tanah, menjadi unsur-unsur organik, meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. EM juga dapat meningkatkan laju fermentasi limbah dan sampah organik, dan dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman, serta menekan aktivitas serangga, hama, dan mikroorganisme patogen (Apnan, 1999).

Effective Microorganism (EM) dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen yang selalu menjadi masalah pada budi daya monokultural dan budi daya tanaman sejenis secara terus menerus. EM dapat memfermentasikan sisa pakan dan kulit udang atau ikan di tanah dasar tambak sehingga gas beracun dan panas di tanah dasar tambak menjadi hilang. EM juga memfermentasikan limbah dan kotoran hingga lingkungan menjadi tidak bau, ternak tidak stress, dan nafsu makan ternak tidak berkurang. *Effective Microorganism* dapat digunakan untuk memproses bahan limbah menjadi kompos dengan proses yang lebih cepat dibandingkan dengan pengolahan limbah secara tradisional.

Untuk mengaktifkan EM, bahan yang digunakan berupa EM murni sebanyak 1,0 mL, *molasses* (tetes tebu) sebanyak 1,0 mL, dan air sumur atau air dari sumber lain yang bebas klor sebanyak 100 mL.

Cara membuat dimulai dengan mencampurkan *molasses* dengan air. *Molasses* merupakan bahan yang kental sehingga perlu dicampurkan terlebih dahulu. Selanjutnya, EM murni yang masih dalam keadaan tidur (dormant), dicampurkan dengan larutan *molasses* tadi di dalam ember. Setelah tercampur dengan baik, ember ditutup dengan plastik berwarna hitam dan dibiarkan selama 72 jam.

EM turunan bisa digunakan seperti penggunaan EM murni. Namun EM generasi baru hanya dapat digunakan dalam jangka waktu tiga hari. Lebih dari tiga hari, aktivitas mikroorganisme di dalamnya akan menurun. Jika tidak ada *molasses* dapat diganti dengan gula merah yang telah diencerkan. Gula merah diencerkan dengan air sebanyak 1-2 liter per 1 kg gula merah (Fauzi, 2004).

2.6. Metoda Titrasi Kompleksometri

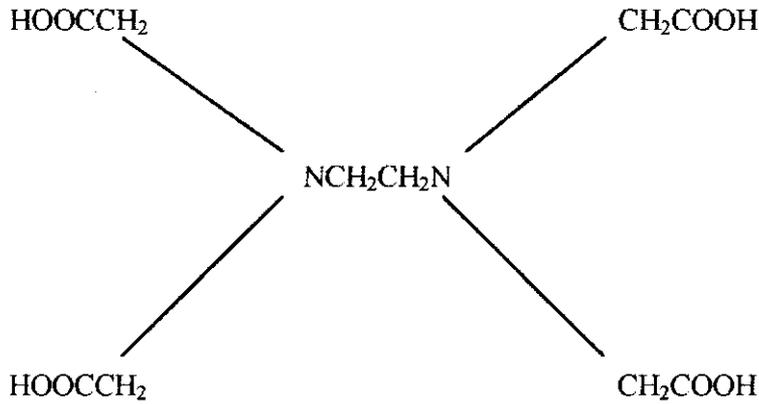
Kompleksometri adalah suatu metoda titrasi pembentukan senyawa kompleks dengan zat pentitrasinya (zat standarnya) adalah *Ethylene Diamine Tetraacetic Acid* (EDTA) menggunakan indikator logam. Prinsip dasar titrasi kompleksometri adalah elektron bebas yang bereaksi dengan kation logam dan perubahan warna disebabkan oleh konsentrasi logam. Prinsip ini dikemukakan oleh Schawartzenbach pada tahun 1938 (Day dan Underwood, 1986).

Senyawa EDTA adalah reagen yang paling banyak dipakai dalam titrasi kompleksometri. EDTA merupakan asam lemah yang sukar larut dalam air tetapi larut dalam NaOH.

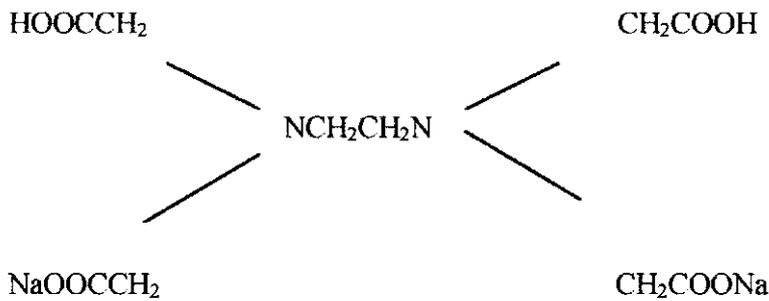
Beberapa keunggulan dari EDTA adalah :

1. Dapat bereaksi hampir dengan setiap ion dari sistem periodik kecuali logam alkali.
2. Logamnya membentuk persenyawaan kompleks khelat yang heksadentat.
3. Memiliki stabilitas kompleks yang besar.
4. Bahan baku untuk menstandarisasi mudah didapat dan relatif murah.

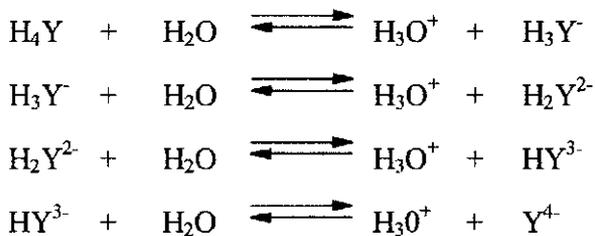
Struktur EDTA adalah :



Titration kompleksometri meliputi reaksi pembentukan ion-ion kompleks atau pembentukan molekul netral yang terdisosiasi dalam larutan. Syarat terbentuknya adalah tingkat kelarutan yang tinggi (Khopkar, 2002). Dalam reaksi kimia, EDTA dinyatakan dengan rumus H_4Y . Dalam titrasi, EDTA berupa garam EDTA (Na_2H_2Y), sehingga struktur EDTA menjadi



Na_2H_2Y mudah larut dalam air, sehingga ion H_4Y akan mengalami disosiasi sebagai berikut:



Dalam titrasi dengan EDTA ini digunakan indikator logam mureksid untuk penentuan Ca dan Erio Black-T (EBT) untuk (Ca+Mg). Indikator mureksid adalah suatu garam ammonium dari asam purpurat yang memiliki warna violet-kemerahan pada pH 9, violet pada pH 9-11 dan violet biru pada pH diatas 11. Indikator EBT merupakan natrium

1-(1-hidroksi-2-naftilazo)-6-nitro-2-naftol-4-sulfonat (II) yang memiliki warna biru pada pH 7-11 (Vogel, 1994).

2.7. Spektrofotometer Sinar Tampak

2.7.1. Prinsip Dasar

Spektrofotometer Sinar Tampak merupakan suatu alat analisis kimia berdasarkan penyerapan energi radiasi oleh suatu larutan berwarna dengan jalan mengukur intensitas sinar yang diserap oleh larutan berwarna tersebut (Day 1986).

Hubungan antara energi yang diserap dalam transisi elektronik adalah (Day 1986):

$$E = hc / \lambda$$

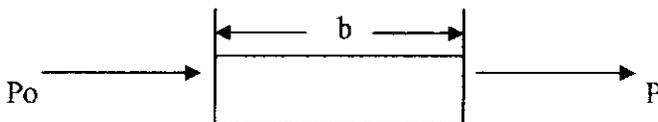
h , adalah tetapan Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J/s).

c , adalah kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s).

λ , adalah panjang gelombang energi yang diserap dalam suatu transisi elektronik di dalam suatu molekul dari tingkat energi rendah ke tingkat energi tinggi (nm).

Senyawa yang diukur akan menyerap sinar pada panjang gelombang tertentu. Banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi larutan yang dilalui

Hal ini merupakan hukum Lambert-Beer yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Pengurangan intensitas sinar oleh larutan pengabsorpsi.

Gambar di atas memperlihatkan intensitas sinar sebelum (P_o) dan sesudah (P) melewati larutan dengan ketebalan b cm dan konsentrasi zat penyerap sinar c . Sebagai akibat interaksi antara cahaya dan partikel-partikel penyerap (pengabsorpsi) yaitu berkurangnya intensitas sinar dari P_o ke P . Transmittan larutan (T) merupakan bagian dari cahaya yang diteruskan melalui larutan sehingga (Day 1986) :

$$T = P / P_o$$

Transmitan sering dinyatakan sebagai persentase (%T), sehingga Absorban (A) suatu larutan dinyatakan dengan persamaan :

$$A = - \log T - \log P_o / P$$

Absorban (A) larutan bertambah dengan pengurangan intensitas sinar. Jika ketebalan benda atau konsentrasi materi yang dilewati cahaya bertambah maka cahaya akan lebih banyak diserap. Jadi absorptivitas a berbanding lurus dengan ketebalan b dan konsentrasi c , sehingga persamaan dapat ditulis (Day 1986) :

$$A = a . b . c$$

2.7.2. Peralatan Spektrofotometer

Secara sederhana diagram dari alat spektrofotometer sinar tampak dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Komponen Spektrofotometer

Bagian – bagian alat spektrofotometer adalah :

1. Sumber radiasi

Sumber radiasi yang baik untuk mengukur serapan adalah yang memancarkan sinar harus menghasilkan spektrum kontiniu dengan intensitas tinggi dan merata pada daerah panjang gelombang optimun. Sumber radiasi untuk daerah sinar tampak yang digunakan adalah lampu tungsten atau wolfram ($\lambda = 380-780$ nm).

2. Monokromator

Radiasi sinar yang digunakan untuk memancarkan sinar tampak kontiniu terdiri dari daerah panjang gelombang yang lebar dan sinar ini bersifat polikromatis. Untuk itu sinar ini harus diubah ke dalam bentuk sinar monokromatis, karena pengukuran berada pada daerah pita gelombang yang sempit. Monokromator yang digunakan adalah grating atau prisma.

3. Sel Absorpsi

Sel Absorpsi yang digunakan pada pengukuran di daerah tampak adalah kuvet kaca (plastik) berbentuk persegi / silinder (Khopkar, 1991). Sel / kuvet yang terbuat dari kuarsa digunakan untuk spektroskopi ultraviolet. Sel ini berguna sebagai tempat sample (Day, 1986)

4. Detektor

Detektor merupakan alat untuk merubah energi sinar yang terserap menjadi sinyal listrik yang dapat di ukur. Detektor yang biasa digunakan dalam daerah ultraviolet dan sinar tampak adalah detektor fotolistrik atau tabung foton ganda.

5. Amplifier

Sinyal listrik dari detektor diperbesar agar dapat dibaca oleh rekorder atau *read-out*.

6. Rekorder

Rekorder adalah alat yang mengubah sinyal listrik dari amplifier menjadi sinyal yang menggerakkan rekorder atau dapat dibaca pada *read-out*, berupa angka digital atau analog.