

## TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gunung Berapi

Gunung berapi atau gunung api secara umum adalah istilah yang dapat didefinisikan sebagai suatu sistem saluran fluida panas (bantuan dalam wujud cair atau lava) yang memanjang dari kedalaman sekitar 10 km dibawah permukaan bumi sampai ke permukaan bumi, termasuk endapan hasil akumulasi material yang dikeluarkan pada saat meletus. Gunung berapi terdapat di seluruh dunia, tetapi lokasi gunung api yang paling dikenali adalah gunung berapi yang berada di sepanjang busur Cincin Api Pasifik (*Pasifik Ring of Fire*). Busur Cincin Api Pasifik merupakan garis bergeseknya antara dua lempengan tektonik (Wikipedia A, 2010)

Gunung berapi terdapat dalam beberapa bentuk sepanjang masa hidupnya. Gunung berapi yang aktif mungkin berubah menjadi separuh aktif, istirahat, sebelum akhirnya menjadi tidak aktif atau mati. Bagaimanapun gunung berapi mampu istirahat dalam waktu 610 tahun sebelum berubah menjadi aktif kembali. Oleh itu, untuk menentukan keadaan sebenarnya dari pada suatu gunung api itu, apakah gunung berapi itu berada dalam keadaan istirahat atau telah mati (Wikipedia B, 2010)

#### 2.1.1 Jenis Gunung Berapi Berdasarkan Bentuknya

##### a. Gunung berapi kerucut atau gunung berapi strato (*Stratovolcano*)

Tersusun dari batuan hasil letusan dengan tipe letusan berubah – ubah sehingga dapat menghasilkan susunan yang berlapis – lapis dari beberapa jenis batuan, sehingga membentuk suatu kerucut besar (raksasa), kadang – kadang bentuknya tidak beraturan, karena letusan terjadi sudah beberapa ratus kali. Gunung Merapi merupakan jenis ini.

##### b. Gunung berapi perisai (*Shieldvolcano*)

Tersusun dari batuan aliran lava yang pada saat diendapkan masih cair, sehingga tidak sempat membentuk suatu kerucut yang tinggi (curam), bentuknya akan berlereng landai, dan susunannya terdiri dari batuan yang bersifat basaltik. Contoh bentuk gunung berapi ini terdapat di kepulauan Hawaii.

#### **c. Cinder Cone**

Merupakan gunung berapi yang abu dan pecahan kecil batuan vulkanik menyebar di sekeliling gunung. Sebagian besar gunung jenis ini membentuk mangkuk di puncaknya. Jarang yang tingginya diatas 500 meter dari tanah di sekitarnya.

#### **d. Kaldera**

Gunung berapi jenis ini terbentuk dari ledakan yang sangat kuat yang melempar ujung atas gunung sehingga membentuk cekungan. Gunung Bromo merupakan jenis ini.

### **2.1.2. Klasifikasi Gunung Berapi di Indonesia**

#### **a. Gunung Berapi Tipe A**

Gunung berapi yang pernah mengalami erupsi magmatik sekurang – kurangnya satu kali sesudah tahun 1600.

#### **b. Gunung Berapi Tipe B**

Gunung berapi yang sesudah tahun 1600 belum lagi mengadakan erupsi magmetik, namun masih memperlihatkan gejala kegiatan seperti kegiatan solfatara.

#### **c. Gunung Berapi Tipe C**

Gunung berapi yang erupsinya tidak diketahui dalam sejarah manusia, namun masih terdapat tanda – tanda kegiatan masa lampau berupa lapangan solfatara/fumarola pada tingkat lemah.

## **2.2 Gunung Berapi Meletus**

Gunung berapi meletus merupakan peristiwa yang terjadi akibat endapan magma di dalam perut bumi yang didorong keluar oleh gas yang bertekanan tinggi. Magma adalah cairan pijar yang terdapat di dalam lapisan bumi dengan suhu yang sangat tinggi, yakni diperkirakan lebih dari 1000 °C. Cairan magma yang keluar dari dalam bumi disebut lava. Suhu lava yang dikeluarkan bisa mencapai 700-1200 °C. Letusan gunung berapi yang membawa batu dan abu dapat menyembur sampai sejauh radius 18 km atau lebih, sedangkan lavanya bisa membanjiri sampai sejauh radius 90 km. Tidak semua gunung merapi sering meletus. Gunung berapi yang sering meletus disebut gunung berapi aktif (Wikipedia C, 2010)

### 2.2.1 Ciri – Ciri Gunung Berapi Meletus

Gunung berapi yang meletus dapat diketahui melalui beberapa tanda, antara lain

- a. Suhu di sekitar gunung naik.
- b. Mata air menjadi kering.
- c. Sering mengeluarkan suara gemuruh, kadang disertai getaran (gempa)
- d. Tumbuhan di sekitar gunung layu
- e. Binatang di sekitar gunung bermigrasi.

Apabila gunung berapi meletus, magma yang terkandung di dalam kamar magma di bawah gunung berapi meletus keluar sebagai lahar atau lava, kehancuran oleh gunung berapi disebabkan melalui berbagai cara seperti berikut : aliran lava, letusan gunung berapi, aliran lumpur, abu, kebakaran hutan, gas beracun, gelombang tsunami, gempa bumi.

**Tabel 2.1 Tingkat Isyarat Gunung Berapi di Indonesia**

Status	Makna	Tindakan
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menandakan gunung berapi yang segera atau sedang meletus atau ada keadaan kritis yang menimbulkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wilayah yang terancam bahaya direkomendasikan untuk dikosongkan</li> </ul>
<b>AWAS</b>	bencana	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinasi</li> </ul>

<b>SIAGA</b>	• Letusan pembukaan dimulai dengan abu dan asap	dilakukan secara harian
	• Letusan berpeluang terjadi dalam waktu 24 jam	• Piket penuh
	• Menandakan gunung berapi yang sedang bergerak ke arah letusan atau menimbulkan bencana	• Sosialisasi di wilayah terancam
	• Peningkatan intensif kegiatan seismik	• Penyiapan sarana darurat
	• Semua data menunjukkan bahwa aktifitas dapat segera berlanjut ke letusan atau menuju pada keadaan yang dapat menimbulkan bencana	• Koordinasi harian
	• Jika tren peningkatan berlanjut, letusan dapat terjadi dalam waktu 2 minggu	• Piket penuh
	• Ada aktivitas apa pun bentuknya	• Penyuluhan/ sosialisasi
	• Terdapat kenaikan aktivitas di atas level normal	• Penilaian bahaya
	• Peningkatan aktivitas seismik dan kejadian vulkanis lainnya	• Pengecekan sarana
	• Sedikit perubahan aktivitas yang diakibatkan oleh aktivitas magma, tektonik dan hidrotermal	• Pelaksanaan piket terbatas
<b>WASPADA</b>	• Tidak ada gejala aktivitas tekanan magma	• Pengamatan rutin
	<b>NORMAL</b>	• Survei dan

- Level aktivitas dasar penyelidikan  
( Wikipedia A, 2010)

### 2.2.2 Bahaya Vulkanik

Gunung berapi dapat menarik dan mempesona, tetapi juga sangat berbahaya. Setiap jenis gunung berapi mampu menciptakan fenomena berbahaya atau mematikan, apakah selama letusan atau suatu periode ketenangan. Memahami apa gunung berapi yang dapat dilakukan adalah langkah pertama dalam mitigasi bahaya gunung berapi, tetapi penting untuk diingat bahwa meskipun para ilmuwan telah mempelajari gunung berapi selama puluhan tahun, mereka tidak selalu tahu segala sesuatu itu adalah mampu. Gunung berapi adalah sistem alam, dan selalu memiliki beberapa unsur tidak dapat diprediksi. *Volcanologist* selalu bekerja untuk memahami bagaimana bahaya vulkanik berperilaku, dan apa yang bisa dilakukan untuk menghindari mereka. Berikut ini adalah beberapa bahaya yang lebih umum, dan beberapa cara terbentuk dan berperilaku. (Harap dicatat bahwa ini dimasukkan sebagai sumber informasi dasar saja, dan tidak boleh diperlakukan sebagai panduan hidup oleh orang – orang yang tinggal di dekat gunung berapi. Selalu dengarkan peringatan dan informasi yang dikeluarkan oleh *volcanologists* lokal). (Ball, Jessica, 2010)

#### 1. Arus Lava

Lava adalah bantuan cair yang mengalir keluar dari gunung berapi atau gunung berapi ventilasi. Tergantung pada komposisi dan temperatur, lava bisa sangat cairan atau sangat lengket (kental). Arus fluida yang lebih panas dan memindahkan tercepat, mereka dapat membentuk sungai atau tersebar di lanskap di lobus. Arus kental yang dingin dan perjalanan jarak pendek, dan kadang – kadang dapat membangun ke kubah lava atau *plugs*; runtuh dari front aliran atau kubah dapat membentuk kepadatan arus piriklastik.

Kebanyakan lava dapat dengan mudah dihindari oleh orang berjalan kaki, karena mereka tidak bergerak jauh lebih cepat daripada kecepatan berjalan, tetapi aliran lava biasanya tidak bisa dihentikan atau dialihkan. Karena lava sangat panas antara 1000 – 1200 0C (1800 – 3600 0F) mereka dapat menyebabkan luka bakar parah

dan sering membakar vegetasi dan struktur. Lava yang mengalir dari lubang juga menciptakan sejumlah besar tekanan, yang dapat menghancurkan atau mengubur apa pun, yang dapat bertahan akan dibakar.



Gambar 2.1 Ini adalah salah satu dari beberapa lava aliran aliran Avenue

Pangeran mengiris melalui hutan antara jalan-jalan lintas surga dan Anggrek. Aliran lava adalah sekitar 3 meter (10 kaki) lebar. (Kalapana/Royal Gardens, Hawaii). (Kalapana / Taman Royal, Hawaii). (Helen, St, 1980)

## 2. *Piroklastika* Kepadatan Arus

Kepadatan arus piroklastik merupakan fenomena letusan *eksplosif*. Mereka adalah campuran bubuk batu, abu, dan gas panas, dan dapat bergerak dengan kecepatan ratusan mil per jam. Arus ini dapat encer, seperti pada piroklastik lonjakan, atau terkonsentrasi, seperti di aliran *piroklastik*. Mereka adalah gravitasi-driven, yang berarti bahwa mereka mengalir ke bawah lereng.

Sebuah lonjakan *piroklastika* adalah densitas turbulen encer, saat ini yang biasanya terbentuk ketika magma eksplosif berinteraksi dengan air. Lonjakan dapat melakukan perjalanan lebih dari hambatan seperti dinding lembah, dan meninggalkan endapan tipis abu dan batu yang dibaurkan dengan topografi. Aliran piroklastik adalah longsoran terkonsentrasi bahan, sering dari runtuhnya kubah lava atau kolom letusan, Aliran *piroklastik* lebih cenderung mengikuti lembah dan depresi lainnya, dan deposito mereka mengisi topografi ini. Kadang – kadang bagaimanapun bagian atas

awan aliran piroklastik (yang sebagian besar abu) akan terlepas dari aliran dan perjalanan sendiri sebagai sebuah gelombang.

Kepadatan arus piroklastik apapun yang mematikan. Mereka dapat menempuh jarak pendek atau ratusan mil dari sumber mereka, dan bergerak dengan kecepatan hingga 1000 kilometer per jam (650 mph). Mereka sangat panas sampai 400 °C (750 °F). Kecepatan dan kekuatan kepadatan *piroklastik* saat ini, dikombinasikan dengan panas, berarti bahwa fenomena gunung berapi biasanya menghancurkan apa pun di jalan mereka, baik dengan membakar atau menghancurkan atau keduanya. Apa pun terjebak di kepadatan piroklastik saat ini akan sangat dibakar dan dilempari oleh puing – puing (termasuk sisa-sisa aliran apa pun bepegian atas). Tidak ada cara untuk menghindari kepadatan arus piroklastik lainnya daripada tidak berada di sana ketika hal itu terjadi.

Salah satu contoh disayangkan dari kerusakan yang disebabkan oleh kepadatan arus piroklastik adalah kota Plymouth ditinggalkandi pulau Karibia Montserrat. Ketika *Soufriere Hills* gunung berapi mulai dari kekerasan meletus pada tahun 1996, kepadatan arus piroklastik dari awan letusan dan kubah lava runtuh berpegian ke lembah – lembah dimana banyak orang memiliki rumah mereka, dan membanjiri kota Plymouth. Bahwa bagian dari pulau sejak saat itu telah dinyatakan sebagai zona tidak masuk dan dievakuasi, meskipun masih mungkin untuk melihat sisa-sisa bangunan yang telah merobohkan dan dikubur, dan objek yang telah meleleh oleh panas arus kepadatan awan panas.



Gambar 2.2 Aliran *piroklastik* meliputi kota tua dari Plymouth di pulau Karibia Montserrat. (Helen, St, 1980)

### 3. *Piroklastika* Jatuh

*Piroklastika* jatuh, juga dikenal sebagai kejatuhan vulkanik, terjadi ketika tephra - rock terfragmentasi ukuran mulai dari mm sampai puluhan cm (fraksi inci sampai kaki) - adalah dikeluarkan dari lubang selama letusan gunung api dan jatuh ke tanah agak jauh dari lubang. Falls biasanya berhubungan dengan kolom erupsi Plinian, awan abu atau bulu vulkanik. *Tephra* dalam deposito jatuh piroklastik mungkin telah diangkut tidak jauh dari lubang (beberapa meter untuk beberapa km), atau, jika disuntikkan ke atmosfer atas, mungkin lingkaran dunia. Setiap jenis deposito jatuh piroklastik akan mantel atau tirai sendiri atas pemandangan, dan akan penurunan ukuran dan ketebalan lebih jauh itu dari sumbernya.

*Tephra* jatuh biasanya tidak secara langsung berbahaya kecuali orang yang cukup dekat dengan letusan untuk disambar oleh fragmen yang lebih besar. Efek dari bisa jatuh, namun. Debu bisa melimpahi vegetasi, menghancurkan bagian yang bergerak di motor dan mesin (terutama dalam pesawat terbang), dan permukaan awal. Scoria dan bom kecil dapat mematahkan benda-benda halus, logam penyok dan menjadi tertanam dalam kayu. Beberapa *piroklastika* jatuh mengandung bahan kimia beracun yang dapat diserap ke dalam tanaman dan persediaan air setempat, yang dapat berbahaya bagi kedua orang dan ternak. Bahaya utama dari piroklastik jatuh adalah berat mereka: tephra dari berbagai ukuran terbuat dari batu bubuk, dan dapat sangat berat, terutama jika itu menjadi basah. Sebagian besar kerusakan yang disebabkan oleh jatuh terjadi ketika abu basah dan *scoria* di atap bangunan menyebabkan mereka runtuh.

Bahan *piroklastik* disuntikkan ke atmosfer mungkin memiliki konsekuensi global maupun lokal. Ketika volume awan letusan cukup besar, dan awan tersebar cukup jauh oleh angin, bahan piroklastik sebenarnya dapat menghalangi sinar matahari dan menyebabkan pendinginan sementara permukaan bumi. Setelah letusan Gunung Tambora tahun 1815, begitu banyak bahan piroklastik mencapai dan tetap di atmosfer bumi yang menjatuhkan suhu global rata-rata sekitar  $0,5\text{ C}^{\circ}$  ( $\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Hal



ini menyebabkan insiden di seluruh dunia cuaca ekstrim, dan menyebabkan 1816 dikenal sebagai 'Tahun Tanpa A Summer'.

#### **4. Lahar**

Lahar adalah jenis tertentu semburan lumpur terdiri dari puing – puing vulkanik. Mereka dapat terbentuk dalam berbagai situasi : ketika lereng runtuh mengumpulkan air kecil dalam perjalanan mereka turun gunung berapi, melalui mencair cepat salju dan es selama letusan, dari hujan deras pada puing – puing vulkanik lepas, ketika gunung berapi meletus melalui danau kawah, atau ketika sebuah danau kawah mengalir karena limpahan atau runtuh dinding. Aliran lahar seperti cairan, tetapi karena mengandung bahan tersuspensi, mereka biasa memiliki konsistensi yang mirip dengan beton basah. Mereka mengalir menurun dan akan mengikuti depresi dan lembah, tetapi mereka dapat menyebar jika mereka mencapai daerah datar.

Lahar dapat melakukan perjalanan dengan kecepatan lebih dari 80 kilometer per jam (50 mph) dan mencapai jarak puluhan kilometer dari sumbernya. Jika mereka yang dihasilkan oleh letusan gunung berapi, mereka mungkin menahan panas yang cukup untuk masih 60 – 70 °C (140-160 °F) ketika mereka datang untuk beristirahat. Lahar yang tidak secepat atau panas sebagai bahaya vulkanik lainnya, namun mereka sangat merusak. Mereka akan meratakan atau mengubur sesuatu di jalan mereka, kadang – kadang dalam puluhan simpanan kaki tebal. Apapun tidak bisa keluar dari jalan lahar entah akan tersapu atau dikubur. Lahar bisa, bagaimanapun, dideteksi terlebih dahulu oleh akustik (suara) monitor, yang memberikan orang waktu untuk mencapai tempat tertinggi, mereka juga kadang – kadang bisa disalurkan jauh dari bangunan dan orang dengan hambatan beton, meskipun tidak mungkin untuk menghentikan mereka sepenuhnya.

#### **5. Gas**

Gas vulkanik mungkin bagian paling mencolok dari letusan gunung berapi, tetapi mereka dapat menjadi menjadi salah satu efek letusan paling mematikan. Sebagian besar gas yang dirilis pada letusan adalah uap air ( H<sub>2</sub>O) dan relatif tidak berbahaya, tetapi gunung berapi juga menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S), Gas Fluor (F<sub>2</sub>), Hidrogen fluorida (HF), dan gas

lainnya. Semua gas ini bisa berbahaya bahkan mematikan dalam kondisi yang tepat. Karbon dioksida tidak beracun, tapi menggantikan oksigen bantalan udara yang normal dan tidak berbau dan tidak bewarna.

Karena lebih berat daripada udara, ia mengumpulkan dalam depresi dan dapat tercekik orang dan hewan yang mengembara ke dalam kantong dimana telah mengungsi udara normal. Hal ini juga dapat menjadi dilarutkan dalam air dan mengumpulkan di dasar danau, dalam beberapa situasi, air didanau yang tiba – tiba bisa ‘meletus’ gelembung besar karbon dioksida, membuunuh vegetasi, ternak dan masyarakat yang tinggal didekatnya. Inilah yang terjadi di danau Nyos terbalik di Kamerun, Afrika pada tahun 1986, dimana letusan CO<sub>2</sub> dari danau tercekik lebih dari 1.700 orang dan 3500 ternak di desa – desa di dekatnya. Sulfur dioksida dan hidrogen sulfida keduanya berbasis gas belerang, dan tidak seperti karbon dioksida, memiliki asam yang berbeda, bau busuk telur. SO<sub>2</sub> dapat dikombinasikan dengan uap air di udara untuk membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), asam korosif ; H<sub>2</sub>S juga sangat asam, dan sangat beracun bahkan dalam jumlah kecil.

Kedua asam mengiritasi jaringan lunak (mata, hidung, tenggorokan, paru – paru dll), dan ketika asam berbentuk gas dalam jumlah yang cukup besar, mereka bercampur dengan uap air untuk membentuk *vog*, atau kabut vulkanik, yang dapat berbahaya untuk bernafas dan menyebabkan kerusakan pada paru – paru dan mata. Jika *aerosol* berbasis sulfur mencapai suasana atas, mereka dapat menghalangi sinar matahari dan mengganggu dengan ozon, yang memiliki baik efek jangka pendek dan jangka panjang pada iklim. Salah satu menjijikkan, walaupun gas kurang dirilis oleh gunung berapi adalah gas fluor (F<sub>2</sub>). Gas ini coklat kekuningan, korosif, dan sangat beracun. Seperti CO<sub>2</sub> itu lebih berat dari udara dan cenderung untuk mengumpulkan di daerah rendah

Pendamping asam, hidrogen fluorida (HF), sangat korosif dan beracun, dan menyebabkan luka bakar internal yang mengerikan dan kalsium serangan di sistem kerangka. Bahkan setelah gas terlihat atau asam telah hilang, fluor dapat diserap ke dalam tanaman, dan mungkin dapat meracuni orang dan hewan untuk waktu yang lama setelah letusan. Setelah letusan 1783 dari Laki di Islandia, fluor keracunan dan kelaparan menyebabkan kematian lebih dari setengah negara ternak dan hampir seperempat penduduknya (Ball, Jessica, 2010)

### 2.3. Debu Vulkanik

Debu Vulkanik terdiri dari dalam partikel-partikel batuan vulkanik terfragmentasi. Debu vulkanik sering panas sangat dekat dengan gunung berapi tetapi dingin ketika jatuh pada jarak tertentu. Hal ini terbentuk selama ledakan gunung berapi, dari longsor panas batuan yang mengalir menuruni sisi gunung berapi, atau dari merah-panas cair lava semprot. Debu bervariasi dalam penampilan tergantung pada jenis gunung berapi dan bentuk letusan

Dengan demikian, dapat berkisar dalam warna grit dari debu terang hingga hitam dan dapat bervariasi dalam ukuran dari yang seperti grit menjadi sehalus bedak. Debu menghalangi sinar matahari, mengurangi visibilitas. Besar debu deposito dapat dimasukkan ke dalam tanah yang ada dan menjadi tanah lapisan atas masa depan suatu daerah. Kesuburan tanah sekitar banyak gunung berapi ini disebabkan deposito abu tua. Ini efek menguntungkan dari vulkanisme melebihi, dari waktu ke waktu, bahaya Letusan juga dapat menghasilkan guntur dan kilat dari gesekan antara denda, partikel udara yang dapat lokal di atas gunung berapi atau menemani bulu abu besar dari letusan jarang, sehingga debu jatuh segar dapat memiliki lapisan asam yang dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru dan mata. Lapisan asam cepat dihapus oleh hujan, yang kemudian dapat mencemari persediaan air setempat. Dalam letusan kebanyakan, debu vulkanik menyebabkan kesehatan yang relatif sedikit masalah, tetapi menimbulkan banyak kecemasan.

Orang bisa menjadi lebih takut bahaya kesehatan debu vulkanik dan gas daripada risiko kematian dari bahaya yang lebih besar, seperti piroklastik. Jatuhan piroklastik adalah bahan material vulkanik jatuhan yang disebarkan ke udara saat terjadi letusan, terdiri dari batuan berukuran besar sampai berukuran halus. Batuan yang berukuran besar (bongkah – kerikil) biasanya jatuh disekitar kawah sampai radius 5 – 7 km dari kawah, dan yang berukuran halus dapat jatuh pada jarak mencapai ratusan km bahkan ribuan km dari kawah karena dapat terpengaruh oleh adanya hembusan angin.

Debu memiliki ciri – ciri seperti bergerigi kecil potongan batuan, mineral dan kaca vulkanik ukuran pasir dan lumpur (kurang dari 2 mm (1/12 inci) di diameter) meletus

oleh gunung berapi disebut debu vulkanik. Setiap partikel abu kecil bisa kurang dari 0,001 milimeter (1/25, 000 inci) di seluruh. Debu vulkanik bukanlah produk pembakaran, seperti bahan berbulu lembut yang diciptakan oleh pembakaran kayu, daun, atau kertas. Debu vulkanik sulit, tidak larut dalam air, sangat kasar dan agak korosif, dan melakukan listrik bila basah. (HTML A, 2010)



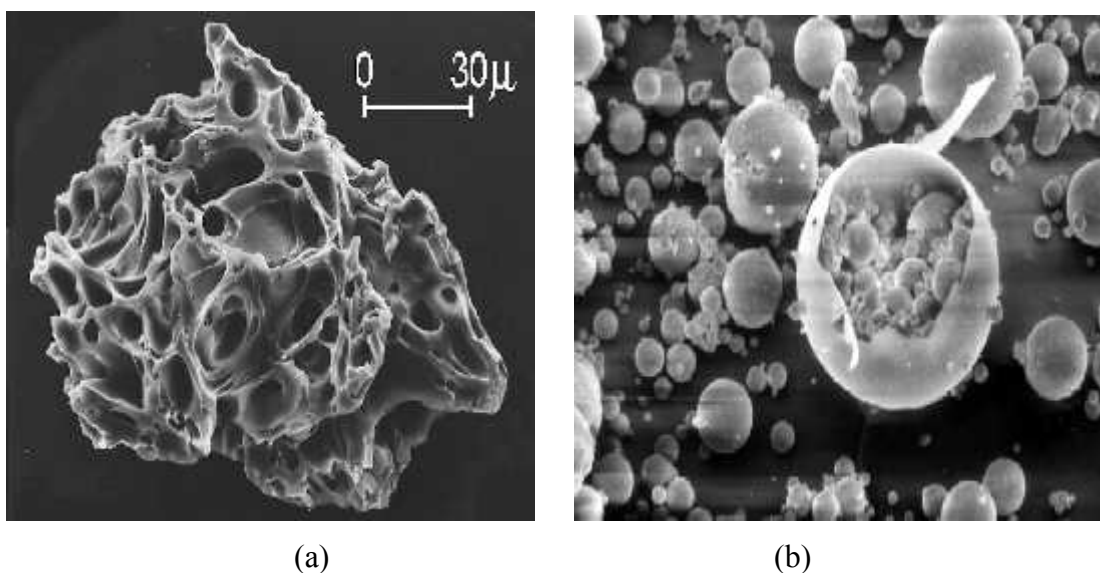
Gambar 2.3 Debu Vulkanik Gunung Sinabung ([HTTP A,2010](#))

Debu vulkanik terbentuk selama letusan gunung berapi ledakan. Letusan peledak terjadi ketika gas-gas dilarutkan dalam batuan cair (magma) memperbesar dan melarikan diri keras ke udara, dan juga ketika air dipanaskan oleh magma dan tiba-tiba berkedip menjadi uap. Kekuatan gas melarikan diri keras menghancurkan batuan padat. Memperluas gas juga cabik magma dan ledakan itu ke udara, dimana ia membeku menjadi fragmen-fragmen batuan vulkanik dan kaca. Setelah di udara, angin bisa meniup partikel kecil debu puluhan hingga ribuan kilometer jauhnya dari gunung berapi. Ukuran rata – rata butir fragmen batuan dan debu vulkanik meletus dari lubang vulkanik meledak sangat bervariasi antara letusan yang berbeda dan selama letusan ledakan tunggal yang berlangsung berjam – jam sampai berhari – hari. Lebih berat, berukuran fragmen batu besar biasanya jatuh kembali ke tanah pada atau dekat dengan gunung berapi dan lebih kecil dan ringan fragmen yang ditiup semakin jauh dari gunung berapi oleh angin. Debu vulkanik, partikel-partikel terkecil (2mm atau lebih kecil), dapat melakukan perjalanan ratusan hingga ribuan kilometer arah

angin dari gunung berapi tergantung pada kecepatan angin, volume debu meletus, dan ketinggian kolom letusan

### 2.3.1. Mikrostruktur Debu Vulkanik

Kandungan material dari debu yang dimuntahkan itu mengandung  $\text{SiO}_2$  atau pasir kuarsa yang biasa digunakan untuk membuat gelas. Bentuk pasir kuarsa itu tidak bulat layaknya debu biasa. Di bawah mikroskop, pasir kuarsa itu tampak berujung runcing. Ini tentunya bisa melukai saluran pernapasan, mata, bahkan kulit. Saat meletus, gunung berapi memang umumnya menyemburkan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), asam fluorida ( $\text{HF}$ ), dan abu vulkanik ke atmosfer. Debu vulkanik mengandung silika, mineral, dan bebatuan. Unsur yang paling umum adalah sulfat, klorida, natrium, kalsium, kalium, magnesium, dan fluoride. Ada juga unsur lain, seperti seng, kadmium, dan timah, tapi dalam konsentrasi yang lebih rendah.



Gambar 2.4 Foto SEM debu vulkanik, (a) Partikel debu vulkanik Gunung St.Helens erupsi tahun 1980 diperbesar 200 kali (Helens St, 1980) (b) Debu biasa yang bulat

## 2.4 Efek Debu Vulkanik

### 2.4.1. Kesehatan

Debu vulkanik yang dikeluarkan oleh Gunung Sinabung mengandung banyak unsur gas kimia, seperti : Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ ), Karbon Monoksida ( $CO$ ), Nitrogen Dioksida ( $NO_2$ ), gas Ammoniak ( $NH_3$ ), dan Sulfur Dioksida ( $SO_2$ ). Unsur – unsur tersebut sangat tidak bersahabat dengan tubuh manusia pada umumnya. Selain itu debu vulkanik juga mengandung unsur gas kimia yang paling berbahaya yaitu  $SiO_2$  yang berupa mikrostruktur yang dapat membahayakan mata dan paru – paru. (Novi Christiastuti,2010)

### 2.4.2. Kesuburan tanah

Debu vulkanik yang terbentuk dari lapukan materi dari letusan gunung berapi yang subur mengandung unsur hara N,P,S, unsur mikro yang tinggi. *Allophan* adalah Aluminosilikat amorf yang dengan bahan organik dapat membentuk ikatan kompleks. Di daerah kering, tanah dari abu vulkanik tersebut memiliki warna tanah yang tidak sehitam dari daerah lain. Sifat-sifat tanah *allophan* adalah:

1. Profil tanahnya dalam.
2. Lapisan atas maupun permukaannya gembur serta berwarna hitam.
3. Lapisan *subsoil* berwarna kecoklatan dan terasa licin bila digosok diantar jari-jari.
4. *Bulk density*nya sangat rendah ( $< 0,85$ ).
5. Daya tahan terhadap air tinggi.
6. Perkembangan struktur tanah baik.
7. Daya lekat maupun plastisitasnya tidak ada bila lembab.
8. Sukar dibasahi kembali bila sudah kering serta dapat mengapung di atas permukaan air (Sudaryo,2009)

### 2.4.3. Tanaman dan Peternakan

Salah satu gas yang disemburkan oleh Gunung Sinabung adalah gas fluor ( $F_2$ ). Gas ini coklat kekuningan, korosif dan sangat beracun. Seperti  $CO_2$ , itu lebih berat dari udara dan cenderung untuk mengumpulkan di daerah rendah. Hidrogen fluorida (Hf), sangat korosif dan beracun, dan menyebabkan luka bakar internal yang mengerikan dan kalsium serangan di sistem kerangka.. Bahkan setelah gas terlihat atau asam telah hilang, fluor dapat diserap ke dalam tanaman, dan mungkin dapat meracuni orang dan hewan untuk waktu yang lama setelah letusan (Ball Jesicca,2010).

#### **2.4.4. Pesawat mengalami kerusakan pada mesin di udara.**

Kerusakan yang terjadi pada mesin pesawat disebabkan karena :

- a.. Kerusakan bagian pesawat partikel aberasif dapat mengikis pinggiran pesawat.Partikel aberasif dapat merusak bilah – bilah kompresor permukaan dan kaca depan.
- b. Data penerbangan hilang.
- c. Sirkulasi udara terganggu.
- d. Mengganggu kinerja mesin  
(Helmut Simamora,2010)

## **2.5 Logam Berat**

### **2.5.1 Pengertian Logam Berat**

Logam berat adalah bahan-bahan alami yang berasal dan termasuk bahan penyusun lapisan tanah bumi. Logam berat tidak dapat diurai atau dimusnahkan. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh mahluk hidup melalui makanan, air minum, dan udara. Logam berat berbahaya karena cenderung terakumulasi di dalam tubuh mahluk hidup. Laju akumulasi logam-logam berat ini di dalam tubuh pada banyak kasus lebih cepat dari kemampuan tubuh untuk membuangnya. Akibatnya keberadaannya di dalam tubuh semakin tinggi, dan dari waktu ke waktu memberikan dampak yang makin merusak.

Beberapa definisi terkait logam berat telah diusulkan oleh para ahli, ada yang mendasarkan pada *densitas*, ada yang mendasarkan pada *nomor atom* atau *berat atom*, dan definisi yang lain lagi menggolongkan logam berat ini berdasarkan sifat *toxic* nya.

Definisi yang umum digunakan saat ini menggolongkan logam berat sebagai golongan logam yang memiliki densitas melebihi 5,000 kg/m<sup>3</sup>. Pada dasarnya makhluk hidup juga memerlukan logam berat dengan jumlah takaran yang bervariasi. Manusia misalnya membutuhkan *iron, cobalt, copper, manganese, molybdenum*, dan *zinc* pada jumlah tertentu. Akan tetapi, pada jumlah berlebih, keberadaan logam berat tersebut mengakibatkan dampak yang merusak pada organ tubuh.

Saat ini para ahli mulai mengklasifikasikan jenis-jenis logam berat terutama yang perlu menjadi fokus perhatian paling tinggi untuk dikendalikan keberadaannya di lingkungan. Logam-logam berat tersebut diantaranya adalah Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, dan Ti. (Yudatomo, 2009 )

### **2.5.2 Bahaya Kontaminasi Logam Berat**

Minamata Syndrome yang menyebabkan kematian tahun 1952 begitu mengejutkan warga Jepang. Keracunan merkuri yang dialami penduduk teluk Minamata terkontaminasi limbah yang mengandung merkuri yang dibuang ke teluk Minamata tahun 1932. 20 tahun kemudian, merkuri yang terakumulasi pada makhluk laut internasional akhirnya menimbulkan keracunan dan kematian bagi yang mengkonsumsi ikan laut. Sejak itulah negeri Matahari Terbit sangat ketat mengawasi pencemaran polutan dan memiliki hukum lingkungan yang paling ketat di dunia industri. Sayangnya, meskipun dunia menyadari adanya bahaya logam berat, nyatanya kontaminasi logam terus meningkat sebagaimana diungkapkan United States Environmental Protection (EPA) “ Logam berat salah satu polutan berbahaya yang jumlahnya semakin bertambah”.

Logam berat sejatinya unsur penting yang dibutuhkan setiap makhluk hidup. Sebagai trace element, logam berat seperti tembaga, selenium dan seng penting untuk menjaga metabolisme tubuh manusia. Namun beberapa diantaranya bersifat racun pada kadar tertentu. EPA mencatat 13 jenis logam berat yang berbahaya bagi lingkungan seperti Arsenik (As), Timbal (Pb), Merkuri (Hg), dan Cadmium (Cd).



Bagaimana logam berat bisa masuk ke tubuh kita ? Logam berat dapat berasal dari air minum yang terkontaminasi seperti timbal, kontaminasi udara di dekat sumber emisi, atau masuknya logam berat melalui rantai makanan. Selain itu, logam berat juga dapat masuk ke sumber – sumber air dari limbah industri. Bahkan mungkin saja dari hujan asam yang merusak lapisan tanah sehingga mengeluarkan logam berat bersama aliran air, danau, sungai dan air tanah.

Logam berat menjadi berbahaya karena cenderung menjadi bioakumulasi. Bioakumulasi berarti peningkatan konsentrasi bahan kimia dengan organisme hidup dari waktu ke waktu, dibandingkan dengan konsentrasi bahan kimia di lingkungan. Akumulasi senyawa pada makhluk hidup ini kapan saja akan diserap dan simpan lebih cepat dari waktu untuk menghancurkan dan mengeluarkannya. Menyadari bahaya logam berat, Indonesia pun menerapkan peraturan yang harus ditaati untuk mencegah terjadinya kontaminasi logam berat. Diantaranya dilakukan oleh BPOM ( Badan Pengawaa Obat dan Makanan). Berkaitan pengawasan obat tradisional, obat tradisional pun harus memenuhi persyaratan batas logam berat. Nissan Reishi adalah satu obat tradisional berbahan baku reishi/lingzhi yang telah bebas logam berat. Selain diproduksi dan memenuhi standar pemerintah Jepang. Nissan Reishi juga terdaftar di BPOM. Tragedi buruk Minamata telah memberi pelajaran yang berharga orang Jepang sehingga mereka benar-benar mengawasi setiap produk yang dikeluarkan tidak terkontaminasi logam berat. (Liu, Hermanto, 2009)

### **2.5.3. Logam Berat dan Efek Bagi Kesehatan**

#### **2.5.3.1. Merkuri / Air Raksa (Hg)**

Merkuri juga dikenal sebagai air raksa, satu-satunya logam berupa cairan pada suhu normal berwarna putih abu-abu. Penggunaan merkuri sangat luas sekali dari alat rumah tangga, obat-obatan, industri hingga bahan peledak. Contohnya, penggunaan merkuri antara lain untuk thermometer, batu baterai, lampu neon, pembasmi serangga (racun tikus) dan beberapa kosmetik pun diduga menggunakan merkuri seperti pewarna bibir. Selain itu, merkuri digunakan sebagai bahan peledak. Dalam merkuri ada dalam jumlah relatif sama.

Meski demikian, kadar merkuri di alam terus mengikat karena berbagai aktivitas manusia melalui pembakaran bahan baka fosil, pekerjaan tambang, peleburan dan pembakaran limbah padat. Beberapa bahkan membuang merkuri secara langsung ke dalam tanah atau air. Contohnya, aplikasi pupuk pertanian dan pembuangan limbah air industri. Merkuri sebenarnya tidak ada dalam bahan makanan. Bagaimana merkuri ada dalam bahan makanan sekarang ini? Ini lantaran merkuri diserap oleh organisme lebih kecil yang dimakan manusia dalam rantai makanan. Sebagai contoh ikan.

Kadar merkuri di ikan umumnya lebih tinggi dari kadar merkuri di dalam air dimana ikan itu hidup. Merkuri pun dapat masuk tubuh manusia melalui sayur-mayur dan hasil pertanian lainnya ketika pupuk/pestisida mengandung merkuri digunakan untuk pertanian. Jadi tak perlu heran bila merkuri terakumulasi dalam sayuran termasuk jamur. Berkaitan dengan kesehatan, merkuri merupakan logam berat berbahaya yang bisa menimbulkan gangguan kesehatan. Gangguan kesehatan tersebut dapat digolongkan sebagai berikut :

- a. Gangguan sistem syaraf
- b. Kerusakan fungsi otak
- c. Kerusakan DNA dan kromosom
- d. Reaksi alergi, menghasilkan ruam kulit, kelelahan dan sakit kepala
- e. Efek negatif reproduksi seperti kerusakan sperma, kecacatan pada bayi dan keguguran

Kerusakan fungsi otak dapat menyebabkan penurunan kemampuan belajar, perubahan personaliti, temor/gemetaran, gangguan penglihatan, ketulian, gangguan kordinasi otot dan kehilangan memori.

### **2.5.3.2 Arsenik (As)**

Arsenik adalah salah satu unsur paling beracun dan dijumpai dalam tanah, udara dan air. Secara alami arsenik dihasilkan dari letusan gunung vulkanik yang dapat melepaskan sekitar 3000 ton setiap tahun. Meskipun semikian aktivitas manusialah yang diduga bertanggung jawab atas pelepasan arsenik lebih dari 80.000 ton tiap

tahunnya karena pembakaran bahan bakar dari fosil dan berbagai kegiatan industri. Kadar arsenik dalam makanan relatif rendah. Tetapi kadar arsenik pada ikan dan seafood mungkin tinggi karena ikan menyerap arsenik dari air dimana ia hidup. Kontaminasi arsenik diduga dapat menyebabkan berbagai pengaruh kesehatan seperti iritasi usus dan lambung, penurunan produktivitas sel darah putih dan darah merah, perubahan kulit dan iritasi paru-paru.

Disebut-sebut arsenik juga memberikan kesempatan kanker berkembang lebih cepat terutama perkembangan kanker kulit, kanker paru-paru, kanker liver, dan kanker limpa. Lebih lanjut dikatakan kontak arsenik dengan kadar tinggi dapat menyebabkan kemandulan dan keguguran pada wanita. Gangguan lainnya adalah gangguan kulit, penurunan daya tahan terhadap infeksi, gangguan jantung dan kerusakan otak pada laki-laki maupun perempuan. Akhirnya, arsenik pun dapat merusak DNA.

### **2.5.3.3. Timbal (Pb)**

Timbal, logam yang telah digunakan secara luas sejak 5000 SM untuk aplikasi seperti produk logam, kabel, dan pipa. Selain itu juga digunakan dalam pestisida dan cat. Sayangnya, timbal adalah satu dari 4 logam yang memiliki efek paling merusak kesehatan manusia. Keberadaannya di lingkungan kita data berasal dari polusi bahan bakar kendaraan bermotor, limbah industri dan penggunaan pestisida dalam pertanian. Tanpa disadari, kontaminasi timbal juga terjadi dalam rumah kita sendiri, dari pipa air yang berkarat. Lebih mengkhawatirkan karena timbal dapat terakumulasi dalam setiap makhluk hidup dan keseluruhan rantai makanan. Manusia dapat terkontaminasi logam berbahaya ini melalui makanan (65%), air (20%), maupun udara (15%). Sementara itu diketahui bahwa timbal tidak memiliki fungsi apapun bagi tubuh manusia.

Jadi penyerapan timbal melalui makanan, air, udara hanyalah menimbulkan kerugian saja. Timbal dapat menyebabkan beberapa efek tak dikehendaki, seperti : gangguan biosintesis hemoglobin dan anemia, kenaikan darah, kerusakan ginjal, keguguran, kerusakan otak, penurunan fertilitas pada laki-laki karena kerusakan sperma, penurunan kemampuan belajar pada anak-anak dan gangguan perilaku anak seperti agresi, impulsif dan hiperaktif. Janin dalam kandungan dapat terkontaminasi

timabl melalui plasenta ibu. Lantaran itu maka sering terjadi kerusakan serius pada sistem syaraf dan otak bayi yang belum lahir.

#### **2.5.3.4. Cadmium (Cd)**

Cadmium ditemukan di kulit bumi ataupun hasil letusan gunung vulkanik. Selain itu cadmium dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, baik disengaja maupun tidak disengaja. Contoh penggunaan bahan bakar, kabakaran hutan, limbah industri maupun penggunaan pupuk pestisida. Yang paling sering dilakukan secara sengaja, namun kurang disadari adalah rokok sebagai sumber kontaminasi cadmium yang paling dekat dekat dengan kita. Merupakan golongan logam berbahaya karena berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti gangguan paru-paru, kanker hingga kematian. Manusia terkontaminasi dengan logam berat ini sebagian besar melalui makanan. Dasar kasus kematian yang ada, karena adanya kontak cadmium dalam waktu lama melalui air dan makanan yang terkontaminasi sehingga cenderung meningkatkan cadmium dalam tubuh.

Bahkan makanan yang mungkin memiliki kadar cadmium tinggi antara lain hati , jamur, kerang-kerangan, coklat dan rumput laut kering. Cadmium mudah diserap oleh zat-zat organik dalam tanah dan menjadi sangat berbahaya jika cadmium dalam tanah tersebut diserap melalui makanan, bagaimana bisa terjadi? Tanah yang mengandung cadmium akan diserap oleh tanaman dan dimakan oleh hewan yang hidupnya tergantung pada tanaman. Cadmium dapat terakumulasi dalam tubuh hewan. Oleh karena itu, bisa saja kadar cadmium yang tinggi dalam ginjalnya karena hal ini. Sementara itu cadmium dalam ekosistem air dapat terakumulasi dalam kupang, tiram, udang, udang laut dan ikan. Kepekaan terhadap cadmium dapat sangat bervariasi antara organisme air. Organisme air asin diketahui lebih resisten terhadap keracunan cadmium daripada organisme air tawar. Di dalam tubuh, cadmium diangkut ke hati oleh darah. Selanjutnya akan membentuk ikatan dengan protein dan diangkut ke ginjal.

Cadmium terakumulasi di ginjal dan mulai mengganggu fungsi ginjal dan kerusakan ginjal. Bagi perokok, nampaknya perlu hati-hati. Diperhatikan 10%

kandungan cadmium dalam rokok dihirup melalui asap rokok, padahal penyerapan cadmium dari paru-paru jauh lebih efektif dari melalui pencernaan / usus. Dan sebanyak 50% cadmium yang dihirup melalui asap rokok bisa diserap. Rata-rata perokok memiliki 4-5 kali kadar cadmium lebih tinggi dalam darah dan 2 – 3 kali lebih tinggi kadar cadmium di ginjal dibandingkan bukan perokok. Efek kesehatan lainnya yang dapat disebabkan oleh cadmium adalah : Diare, sakit perut dan muntah-muntah, kertakan tulang, kegagalan reproduktif bahkan ketidaksuburan / kemandulan, kerusakan sistem syaraf pusat, kerusakan sistem imunitas, gangguan psikologis, kerusakan DNA atau kanker. Jadi selain kontak langsung dengan logam berat , sisa / limbah industri, penggunaan bahan bakar, manusia dapat keracunan logam berat melalui makanan dan air yang dikonsumsi. Hal ini terjadi karena lingkungan seperti udara, air dan tanah terkontaminasi logam berat tersebut. Dampaknya, seluruh makhluk hidup dalam rantai makanan, termasuk tumbuhan, hewan dan manusia ikut terkontaminasi dan menderita berbagai gangguan kesehatan. (Liu, Hermanto, 2009 )

## **2.6 Pengertian Unsur Hara**

Sebelum kita bicara tentang unsur hara, ada baiknya kita mengetahui tentang tanah. Defenisi tanah adalah lapisan permukaan bumi yang secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan udara. Secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi (senyawa organik dan anorganik sederhana dan unsur-unsur esensial seperti : (N, P, K , Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl ) dan secara biologi berfungsi sebagai habitat biota (organisme) yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif (pemacu tumbuh, proteksi) bagi tanaman, yang ketiganya secara integral mampu menunjang produktivitas tanah untuk menghasilkan biomass dan produksi baik tanaman pangan, tanaman obat-obatan, industri perkebunan, maupun kesehatan.

Berdasarkan defenisi di atas dapat disimpulkan bahwa unsur hara adalah senyawa organik dan anorganik yang ada di dalam tanah atau dengan kata lain nutrisi yang terkandung dalam tanah. Unsur hara sangat dibutuhkan untuk tumbuh kembang tanaman. Berdasarkan tingkat kebutuhannya maka dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu Unsur Hara Makro dan Unsur Hara Mikro. Unsur Hara Makro adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah besar, yang termasuk unsur hara makro adalah N, P, K, Ca, S, dan Mg. Unsur Hara Mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah kecil / sedikit, yang termasuk unsur hara mikro adalah Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Na, Cl. Kebutuhan unsur hara ini mutlak bagi setiap tanaman dan tidak bisa digantikan oleh unsur yang lain tentunya dengan kadar yang berbeda sesuai jenis tanaman sebab jika kekurangan unsur hara akan menghambat pertumbuhan itu sendiri (Rioardi, 2009)

### **2.6.1. Unsur Hara Dalam Tanah**

Beberapa unsur hara yang dibutuhkann tanaman Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Belerang (S), Besi (Fe), Mangan (Mn), Boron (B), Mo, Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Klor (Cl). Unsur hara tersebut tergolong unsur hara Essensial. (Rivai,2002)

### **2.6.2 Manfaat Unsur Hara Bagi Tanaman**

#### **2.6.2.1.Nitrogen**

Peranan utama nitrogen (N) bagi tanaman adalah untuk merangsang pertumbuhan secara keseluruhan, khususnya batang, cabang dan daun. Selain itu nitrogen juga berperan penting dalam pembentukan hijau daun yang sangat berguna dalam proses fotosintesis. Fungsi lainnya ialah membentuk protein, lemak dan berbagai persenyawaan organik lainnya, penyusun purin, alkohol, enzim, zat pengatur tumbuh, klorofil, membran sel dan nitrogen merupakan bagian dari sel ( organ ) tanaman itu sendiri

#### **2.6.2.2.Phosphor**

Unsur phosphor (P) bagi tanaman berguna untuk merangsang pertumbuhan akar, khususnya akar benih dan tanaman muda. Selain itu juga berfungsi sebagai bahan mentah untuk pembentukan sejumlah protein tertentu, membantu asimilasi dan pernafasan, mempercepat penguapan, pemasakan biji dan buah, penyusunan nukleoprotein dan phospholipid, energi transfer, dan merangsang pembelahan sel tanaman dan memperbesar jaringan sel

#### **2.6.2.3. Kalium**

Fungsi utama kalium (K) ialah membantu pembentukan protein dan karbohidrat. Kalium juga berperan dalam memperkuat tubuh tanaman agar daun, bunga dan buah tidak mudah gugur. Kalium merupakan sumber kekuatan bagi tanaman dalam menghadapi kekeringan dan penyakit.

#### **2.6.2.4. Kalsium**

Bagi tanaman, kalsium (Ca) bertugas untuk merangsang pembentukan bulu – bulu akar, mengeraskan batang tanaman dan merangsang pembentukan biji. Kalsium yang terdapat pada batang dan daun ini berkhasiat untuk menetralkan senyawa atau suasana yang tidak menguntungkan pada tanah. Fungsi lain kalsium adalah Penyusun dinding sel sebagai calcium pectat / kelenturan dinding sel, nitrogen metabolisme, berfungsi dalam proses fotosintesa, pengangkutan hasil asimilasi, enzim dan mineral termasuk air, dan meningkatkan daya tahan/kekebalan tanaman terhadap penyakit.

#### **2.6.2.5. Belerang**

Belerang (S) berperan dalam pembentukan bintil – bintil akar. Belerang merupakan unsur yang penting dalam beberapa jenis protein seperti penyusun cystine asam amino yang lain, biotin, Thiamin dan Coenzym A . Unsur ini juga membantu pertumbuhan tanaman. Selain itu belerang merupakan bagian penting pada tanaman penghasil minyak sayuran seperti pada cabai, kubis, dan lain – lain.

#### **2.6.2.6. Besi**

Peranan besi (Fe) untuk pernafasan tanaman dan pembentukan hijau daun. Unsur ini penting terutama pada tanah yang mengandung banyak kapur. Besi adalah syntesa protein *chloroplast*, dan merupakan enzim respirasi seperti perikosida, katalase, perredoksin, oksidase cytochrome.

#### **2.6.2.7. Mangan**

Peran mangan (Mn) tidak jauh berbeda dengan unsur besi. Selain itu sebagai komponen untuk memperlancar proses asimilasi, unsur ini juga merupakan komponen penting dalam berbagai enzim, syntesa klorofil, ketersediaan zat besi.

#### **2.6.2.8. Tembaga**

Fungsi tembaga (Cu) untuk mendorong terbentuknya hijau daun dan menjadi bahan utama dalam berbagai enzim (Paratenta, Maria, 2006)

### **2.7 Diagnosis Defenisi Dan Toksitas Hara Mineral**

Apabila tanaman tidak menerima hara yang cukup seperti yang dibutuhkan, maka pertumbuhannya akan lemah dan perkembangannya tampak abnormal. Pertumbuhan yang abnormal juga akan terjadi bila tanaman menyerap hara melebihi kebutuhan bermetabolisme. Diagnosis defenisi dan toksitas hara pada tanaman dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan dengan diagnosis gejala visual dan analisa tanaman (Bahgar, 1990)

Secara umum bila ada unsur hara yang kurang pada tanah, maka tanaman akan memperlihatkan gejala tertentu. Adapun gejala yang terlihat pada tanaman yang kekurangan unsur – unsur tertentu (menurut Lingga, 2004) dapat dilihat pada tabel berikut :



**Tabel 2.2 Gejala Tanaman Kekurangan Unsur Hara**

No	Unsur	Gejala yang terjadi
1	Nitrogen (N)	Tanaman tampak hitam, daun bagian bawah menguning, mengering sampai berwarna coklat muda, batang pendek dan lemah
2	Phosphor (P)	Tanaman berwarna hijau tua dan sering memperlihatkan warna merah atau ungu, daun bagian bawah menguning, mengering sampai berwarna coklat kehijauan atau hitam, pendek dan kecil.
3	Kalium (K)	Pucuk terutama pada urat daun terdapat jaringan mati dan sangat jelas tampak pada pinggiran daun, batang kecil
4	Kalsium (Ca)	Kuncup daun mati atau daun muda dari kuncup melekuk. Jaringan pada pucuk dan pinggiran menyusul mati, kuncup akhir pada batang menjadi mati
5	Mangan (Mn)	Pertumbuhan tanaman menjadi kerdil, terutama pada tanaman sayuran seperti : tomat, seledri dan kentang. Gejala yang sama juga tampak pada jeruk, tembakau, dan kedelai. Terjadi warna kuning dan merah pada daun. Jaringan daun pada beberapa tempat akan mati, tetapi urat daun terhalus tetap berwarna hijau.
6	Besi (Fe)	Menimbulkan warna kekuningan pada daun, terlebih daun muda. Pertumbuhan terhenti akibatnya daun berguguran dan akhirnya tanaman mati mulai dari pucuk. Hal ini biasanya terjadi pada tanah yang banyak mengandung kapur (kalsium)
7	Belerang (S)	Tampak pada seluruh daun muda yang berubah menjadi hijau muda, kadang – kadang tidak merata, sedikit mengilat agak keputihan lalu berubah menjadi hijau. Tanaman akan tumbuh terlambat, kerdil berbatang pendek dan kurus
8	Tembaga (Cu)	Daun muda layu secara tetap tanpa bintik – bintik atau memperlihatkan klorosis secara jelas, ranting atau batang dibawah pucuk dapat tegak

( Lingga, 2004)

## 2.8. Spektrofotometer Serapan Atom

Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk menentukan unsur – unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas.

### 2.8.1. Prinsip Dasar

Spektrofotometer serapan atom (SSA) merupakan teknik analisis kuantitatif dari unsur – unsur yang pemakaiannya sangat luas di berbagai bidang karena prosedurnya selektif, spesifik, biaya analisisnya relatif murah, sensitivitasnya tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standart, waktu analisis sangat cepat dan mudah dilakukan. AAS pada umumnya digunakan untuk analisa unsur, spektrofotometer absorpsi atom juga dikenal sistem single beam dan double beam layaknya Spektrofotometer UV – VIS. Sebelumnya dikenal fotometer nyala yang hanya dapat menganalisis unsur yang dapat memancarkan sinar terutama unsur golongan IA dan IIA. Umumnya lampu yang digunakan adalah lampu katoda cekung yang mana penggunaannya hanya untuk analisis satu unsur saja. (Chairil Anwar. 2003)

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom – atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Metode serapan atom hanya tergantung pada perbandingan dan tidak bergantung pada temperatur. Setiap alat AAS terdiri atas tiga komponen yaitu unit teratomisasi, sumber radiasi, sistem pengukur fotometerik. Teknik AAS menjadi alat yang canggih dalam analisis. Ini disebabkan karena sebelum pengukuran tidak selalu memerlukan pemisahan unsur yang ditentukan karena kemungkinan penentuan satu unsur dengan kehadiran unsur lain dapat dilakukan, asalkan katoda berongga yang diperlukan tersedia. AAS dapat digunakan untuk mengukur logam sebanyak 61 logam.

Sumber cahaya pada AAS adalah sumber cahaya dari lampu katoda yang berasal dari elemen yang sedang diukur kemudian dilewatkan untuk ke dalam nyala api yang berisi sampel yang telah teratomisasi, kemudian radiasi tersebut diteruskan ke detektor melalui monokromator. *Chopper* digunakan untuk untuk membedakan radiasi yang berasal dari sumber radiasi, dan radiasi yang berasal dari nyala api. Detektor akan menolak arah searah arus (DC) dari emisi nyala dan hanya mengukur arus bolak – balik dari sumber radiasi atau sampel. Atom dari suatu unsur pada keadaan dasar akan dikenai radiasi maka atom tersebut akan menyerap energi dan mengakibatkan elektron pada kulit terluar naik ke tingkat energi yang lebih tinggi atau tereksitasi. Jika suatu atom diberi energi, maka energi tersebut akan mempercepat gerakan elektron sehingga elektron tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi dan dapat kembali ke keadaan semula. Atom – atom dari sampel akan

menyerap sebagian sinar yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Penyerapan energi atom terjadi pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom tersebut. (Habibi, Yusuf, 2009)

### 2.8.2. Cara Kerja AAS

- a. Pertama – tama gas dibuka terlebih dahulu, kemudian kompresor, lalu ducting, main unit, dan komputer secara berurutan.
- b. Dibuka program SSA (Spectrum Analvse Specialist), kemudian muncul perintah “apakah ingin mengganti lampu katoda, jika ingin mengganti klok YES dan jika tidak NO.
- c. Dipilih YES untuk masuk ke munu invidual command, dimasukkan nomor lampau katoda yang dipasang ke dalam kotak dialog, kemudian diklik setup, kemudian soket lampu katoda akan berputar menuju posisi paling atas supaya lampu katoda yang baru dapat diganti atau ditambahkan dengan mudah.
- d. Dipilih NO jika ingin mengganti lampu katoda yang baru.
- e. Pada program SAS 3.0, dipilih menu select element and working mode. Dipilih unsur yang akan dianalisis dengan mengklik langsung pada simbol unsur yang diinginkan.
- f. Jika telah selesai klok ok, kemudian muncul tampilan condition settings. Diatur parameter yang dianalisis dengan mensetting fuel flow : 1,2 ; measurement; concetration; number of sample : 2; unit concentttation : ppm ; umber of standart : 3; standart list : 1 ppm, 3 ppm, 9ppm.
- g. Diklik ok and setup, ditunggu hingga selesai warming up.
- h. Diklik icon bergambar burner/ pembakar, setelah pembakar dan lampu menyala alat siap digunakan untuk mengukur logam.
- i. Pada menu measurement pilih measure sample
- j. Dimasukkan blanko, didiamkan hingga garis lurus terbentuk, kemudian dipindahkan ke standar 1 ppm hingga data keluar.
- k. Dimasukkan balnko untuk meluruskan kurva, diukur dengan tahapan yang sama untuk standar 3 ppm dan 9 ppm.
- l. Jika data kurang baik akan ada perintah untuk pengukuran ulang, dilakukan pengukuran blanko, hingga kurva yang dihasilkan turun dan lurus.

- m. Dimasukkan ke sampel 1 hingga kurva naik dan belok baru dilakukan pengukuran.
- n. Dimasukkan blanko kembali dan dilakukan pengukuran sampel ke 2.
- o. Setelah pengukuran selesai, data dapat diperoleh dengan mengklik icon print atau pada baris menu dengan mengklik file lalu print.
- p. Apabila pengukuran telah selesai, aspirasikan air deionisasi untuk membilas burner selama 10 menit, api dan lampu burner dimatikan, program pada komputer dimatikan, lalu main unit AAS, kemudian kompressor, setelah itu ducting dan terakhir gas.

### **2.8.3. Bagian – Bagian pada AAS**

#### **a. Lampu Katoda**

Lampu katoda merupakan sumber cahaya pada AAS. Lampu katoda memiliki masa pakai atau umur pemakaian selama 1000 jam. Lampu katoda pada setiap unsur yang akan diuji berbeda – beda tergantung unsur yang akan diuji, seperti lampu katoda Cu, hanya bisa digunakan untuk pengukuran unsur Cu, Lampu katoda terbagi menjadi dua macam yaitu : Lampu Katoda Monologam : Digunakan untuk mengukur 1 unsur, Lampu Katoda Multilogam : Digunakan untuk pengukuran beberapa logam sekaligus, hanya saja harganya lebih mahal. Soket pada bagian lampu katoda yang hitam, yang lebih menonjol digunakan untuk memudahkan pemasangan lampu katoda pada saat lampu dimasukkan ke dalam soket pada AAS. Bagian yang hitam ini merupakan bagian yang paling menonjol dari keempat besi lainnya.

Lampu katoda berfungsi sebagai sumber cahaya untuk memberikan energi sehingga unsur logam yang akan diuji, akan mudah tereksitasi. Selotip ditambahkan, agar tidak ada ruang kosong untuk keluar masuknya gas dari luar dan keluarnya gas dari dalam, karena bila ada gas yang keluar dari dalam dapat menyebabkan keracunan pada lingkungan sekitar. Cara pemeliharaan lampu katoda ialah bila setelah selesai digunakan, maka lampu dilepas dari soket pada main unit AAS, dan lampu diletakkan pada tempat busanya di dalam kotaknya lagi, dan dus penyimpanan ditutup kembali. Sebaiknya setelah selesai. Sebaiknya setelah selesai penggunaan, lamanya waktu pemakaian dicatat

## b. Tabung gas

Tabung gas pada AAS yang digunakan merupakan tabung gas yang berisi gas etilen. Gas etilen pada AAS memiliki kisaran suhu  $\pm 20000\text{K}$ , dan ada juga tabung gas yang berisi gas  $\text{N}_2\text{O}$  yang lebih panas dari gas asetilen, dengan kisaran suhu  $\pm 30000\text{K}$ . Regulator pada tabunggas asetilen berfungsi untuk pengaturan banyaknya gas yang akan dikeluarkan, dan gas yang berada di dalam tabung. Spedometer pada bagian kanan regulator. Merupakan pengatur tekanan yang berada di dalam tabung. Pengujian untuk mendeteksi bocor atau tidaknya tabung gas tersebut, yaitu dengan mendekatkan telinga ke dekat regulator gas dan diberi sedikit air, untuk pengecekan. Bila terdengar suara atau udara, maka menandakan bahwa tabung gas bocor, dan ada gas yang keluar.

Hal lainnya yang bisa dilakukan yaitu dengan memberikan sedikit air sabun pada bagian atas regulator dan dilihat apakah ada gelembung udara yang terbentuk. Bila ada, maka tabung gas tersebut positif bocor. Sebaiknya pengecekan kebocoran, jangan menggunakan minyak, karena minyak akan dapat menyebabkan saluran gas tersumbat. Gas di dalam tabung dapat keluar karena disebabkan di dalam tabung pada bagian dasar tabung aseton yang dapat membuat gas akan mudah keluar, selain gas juga memiliki tekanan

## C. Ducting

Ducting merupakan bagian cerobong asap untuk menyedot asap atau sisa pembakaran pada AAS, yang langsung dihubungkan pada cerobong asap bagian luar pada atap bangunan, agar asap yang dihasilkan oleh AAS, tidak berbahaya bagi lingkungan sekitar. Asap yang dihasilkan dari pembakaran pada AAS, diolah sedemikian rupa di sekitar. Asap yang dihasilkan dari pembakaran pada AAS, diolah sedemikian rupa di dalam ducting, agar polusi yang dihasilkan tidak berbahaya.

Cara pemeliharaan ducting, yaitu dengan menutup bagian ducting secara horizontal, agar bagian atas dapat tertutup rapat, sehingga tidak akan ada serangga atau binatang lainnya yang dapat masuk ke dalam ducting. Karena bila ada serangga

atau binatang lainnya yang masuk ke dalam ducting, maka dapat menyebabkan ducting tersumbat. Penggunaan ducting yaitu, menekan bagian kecil pada ducting kearah miring, karena bila lurus secara horizontal, menandakan ducting tersebut. Ducting berfungsi untuk menghisap hasil pembakaran yang terjadi pada AAS, dan mengeluarkannya melalui cerobong asap yang terhubung dengan ducting.

#### d. Kompresor

Kompresor merupakan alat yang terpisah dengan main unit, karena alat ini berfungsi untuk mensuplai kebutuhan udara yang akan digunakan oleh AAS, pada waktu pembakaran atom. Kompresor memiliki 3 tombol pengatur tekanan, dimana pada bagian yang kotak hitam merupakan tombol ON-OFF, spedo pada bagian tengah merupakan dasar kecilnya udara yang akan dikeluarkan, atau berfungsi sebagai pengatur tekanan, sedangkan tombol yang kanan merupakan tombol pengaturan untuk mengatur banyak/sedikitnya udara yang akan disemprotkan ke burner. Bagian pada belakang kompresor digunakan sebagai tempat penyimpanan udara setelah selesai penggunaan AAS.

Alat ini berfungsi untuk menyaring udara dari luar, agak bersih posisi ke kanan, merupakan posisi terbuka, dan posisi ke kiri merupakan posisi tertutup. Uap air yang dikeluarkan, akan memercik kencang dan dapat mengakibatkan lantai sekitar menjadi basah, oleh karena itu sebaiknya pada saat menekan ke kanan bagian ini, sebaiknya ditampung dengan lap, agar lantai tidak menjadi basah, dan uap air akan terserap ke lap.

#### e. Burner

Burner merupakan bagian paling terpenting di dalam main unit, karena burner berfungsi sebagai tempat pencampuran gas etilen, dan aquabides, agar tercampur merata, dan dapat terbakar pada pemantik api secara baik dan merata. Lobang yang berada pada burner, merupakan lobang pemantik api, dimana pada lobang inilah awal dari proses pengatomisasian nyala api. Perawatan burner yaitu setelah selesai pengukuran dilakukan, selang aspirator dimasukkan ke dalam botol yang berisi aquabides selama  $\pm$  15 menit, hal ini merupakan proses pencucian pada aspirator dan

burner setelah selesai pemakaian. Selang aspirator digunakan untuk menghisap atau menyedot larutan sampel dan standar yang akan diuji. Selang aspirator berada pada bagian selang yang berwarna oranye di bagian kanan burner. Sedangkan selang yang kiri, merupakan selang untuk mengalirkan gas asetilen.

Logam yang akan diuji merupakan logam yang berupa larutan dan harus dilarutkan terlebih dahulu dengan menggunakan larutan asam nitrat pekat. Logam yang berada di dalam larutan, akan mengalami eksitasi dari energi rendah ke energi tinggi. Nilai eksitasi dari setiap logam memiliki nilai yang berbeda – beda. Warna api yang dihasilkan berbeda – beda tergantung pada tingkat konsentrasi logam yang diukur. Bila warna api merah, maka menandakan bahwa terlalu banyaknya gas. Dan warna api paling biru, merupakan warna api paling biru, merupakan warna api yang paling baik, dan paling panas, dengan konsentrasi

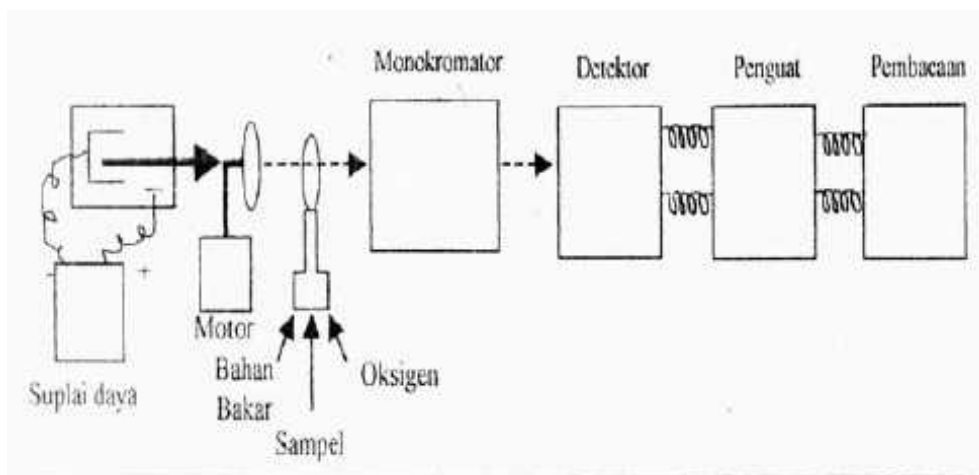
#### f. Buangan pada AAS

Buangan pada AAS disimpan di dalam drigen dan diletakkan terpisah pada AAS. Buangan dihubungkan dengan selang buangan yang dibuat melingkar sedemikian rupa, agar sisa buangan sebelumnya tidak naik lagi ke atas, karena bila hal ini terjadi dapat mematikan proses pengatomisasian nyala api pada saat pengukuran sampel, sehingga kurva yang dihasilkan akan terlihat buruk. Tempat wadah buangan (drigen) ditempatkan pada papan yang juga dilengkapi dengan lampu indicator. Bila lampu indicator menyala, menandakan bahwa alat AAS atau api pada proses pengatomisasian menyala, dan sedang berlangsungnya proses pengatomisasian nyala api. Selain itu, papan tersebut juga berfungsi agar tempat atau wadah buangan tidak tersenggol kaki. Bila buangan sudah penuh, isi di dalam wadah jangan dibuat kosong, tetapi disisakan sedikit, agar tidak kering.

#### **2.8.4. Keuntungan metode AAS**

Keuntungan metode AAS dibandingkan dengan spektrofotometer biasanya yaitu spesifik, batas deteksi yang rendah dari larutan yang sama bisa mengukur unsur – unsur yang berlainan, pengukurannya langsung terhadap contoh, output dapat

langsung dibaca, cukup ekonomis, dapat diaplikasikan pada banyak jenis unsur, batas kadar penentuan luas (dari ppm sampai %). Sedangkan kelemahannya yaitu pengaruh kimia dimana AAS tidak mampu menguraikan zat menjadi atom misalnya pengaruh fosfat terhadap Ca, pengaruh ionisasi yaitu bila atom tereksitasi (tidak hanya disosiasi) sehingga menimbulkan emisi pada panjang gelombang yang sama, serta pengaruh matriks misalnya pelarut.



Gambar 2.5 Skema Alat Spektrofotometer Serapan Atom (Sumar, 1994)

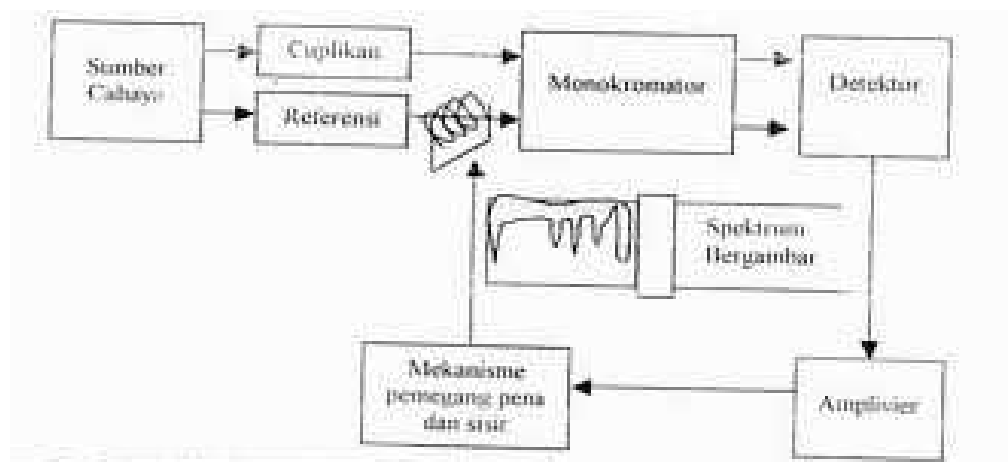
## 2.9 Spektrofotometer

Spektrofotometri molekuler pita absorpsi inframerah dan UV tampak yang di pertimbangkan melibatkan molekul poliatom, tetapi atom individu juga menyerap radiasi yang menimbulkan keadaan energi elektronik tereksitasi. Spectra absorpsi lebih sederhana dibandingkan dengan spectra molekulnya karena keadaan energi elektronik tidak mempunyai sub tingkat vibrasi rotasi. Jadi spectra absorpsi atom terdiri dari garis – garis yang jauh lebih tajam daripada pita – pita yang diamati dalam spektrokopi molekul. AAS didasarkan pada penyerapan energi sinar oleh atom – atom netral dalam keadaan gas. Sinar yang diserap biasanya sinar tampak UV-VIS, hanya saja dibedakan atas cara pengerjaan, cuplikan, peralatan dan bentuk spectrum atom (Aisyah,2008).



Untuk analisis kuantitatif, AAS mengukur kadar total unsur logam dalam suatu cuplikan, tidak tergantung bentuk molekul logam dalam cuplikan. *Spektra absorpsi* lebih sederhana dibandingkan dengan spectra molekul karena keadaan elektronik tidak mempunyai sub tingkat vibrasi-rotasi. *Spektra absorpsi* atom terdiri dari garis – garis yang lebih tajam daripada pita-pita yang diamati dalam spektroskopi molekuler. Absorpsi atom telah dikenal bertahun – tahun yang lalu. Misalnya garis – garis gelap pada frekuensi tertentu dalam spectrum matahari yang tanpa garis itu akan kontinu, pertama kali diperhatikan oleh Wallaston dalam tahun 1802. Selama bertahun – tahun detektor uap raksa mewakili analitis utama dari absorpsi atom.

Tekanan uap raksa logam cukup besar sehingga membahayakan kesehatan dalam ruang yang ventilasinya tidak memadai. Detector-detector itu pada dasarnya adalah spektrofotometer primitive, dimana sumbernya adalah sebuah lampu uap raksa bertekanan rendah. Atom-atom raksa yang dieksitasi dalam discas listrik dari lampu itu, memancarkan radiasi bila mereka kembali ketingkatan elektronik yang lebih rendah. Radiasi itu bukan suatu kontinum melainkan terdiri dari frekuensi-frekuensi diskrit yang menyatakan transisi elektronik dalam atom raksa.



Gambar 2.6. Skema umum spektrofotometer infra merah (Sumar, 1994)

Keterangan :

- A. Sumber cahaya
- B. Gas nyala dan pembakar

- C. Monokromator
- D. Detektor
- E. Amplifier
- F. Sistem pembacaan

Spektroskopi serapan atom (SSA) melibatkan penguapan contoh, sering kali dengan menyemprotkan suatu larutan contoh ke dalam suatu lampu listrik yang menghasilkan spektrum dari unsur yang akan ditetapkan. Atom logam bentuk gas normalnya tetap berada dalam keadaan tak tereksitasi, atau dengan perkataan lain dalam keadaan dasar, mampu menyerap energi cahaya yang panjang gelombang resonansi yang khas untuknya, yang pada umumnya adalah panjang gelombang radiasi yang akan dipancarkan atom-atom itu bila tereksitasi dari keadaan dasar.

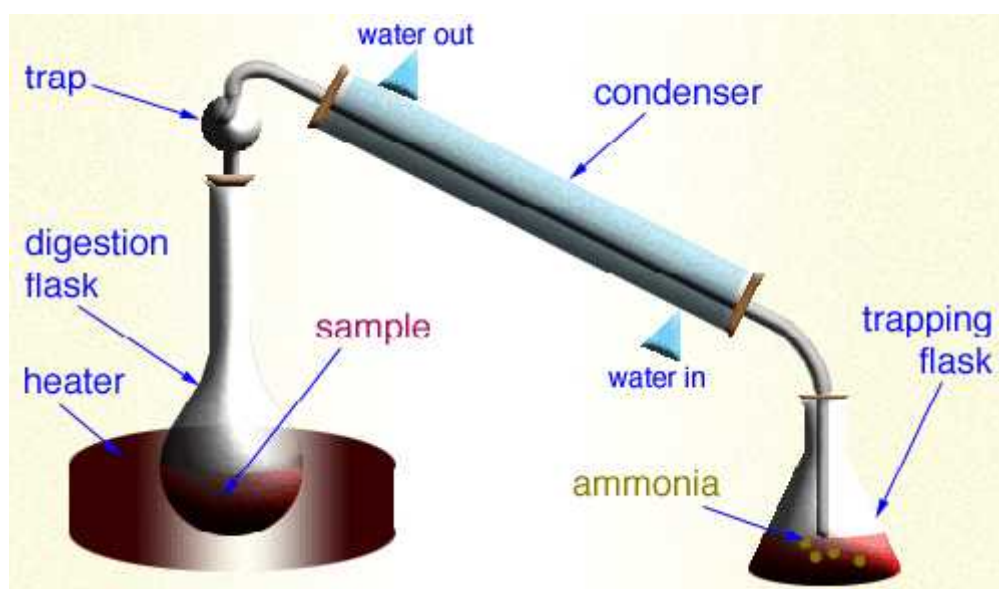
Jadi, jika cahaya dengan panjang gelombang resonansi itu dilewatkan nyala yang mengandung atom-atom yang bersangkutan, maka sebagian cahaya itu akan diserap, dan jauhnya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom keadaan dasar yang berbeda dalam nyala. Inilah asas yang mendasari spektroskopi serapan atom. Mineral-mineral bersifat alam terjadi zat anorganik dengan suatu komposisi kimia secara relatif tetap dan cukup baik dari bersifat fisika. Selama periode-periode panjang berhubungan dengan geologi tidaklah mungkin untuk memperoleh mutlak mineral-mineral murni tanpa pencemaran, yang bahwa paling mineral-mineral berisi unsur-unsur tambahan bahwa mengubah sebagian dari karakteristik mereka. Ada sejumlah unsur-unsur yang sungguh dengan mudah dari karakteristik mereka. Ada sejumlah unsur-unsur yang sungguh dengan mudah yang dapat bertukar tempat dengan mineral yang itu berhasil boleh menyusun dan menilai ke dalam yang lain.

Oleh karena itu, ada banyak pertimbangan untuk meneliti unsur kelumit di mineral-mineral di erent : untuk menentukan kemurnian mineral-mineral, dan untuk menentukan kehadiran dari unsur-unsur penting penting dan yang sangat jarang yang biasa yang disadap dan digunakan untuk memperoleh data yang memberi informasi sangat penting tentang analisis mineral-mineral tersebut yaitu spektroskopi serapan

atom atau *atomic absorption spectroscopy* (AAS) (Solecha, D.I & Bambang Kuswandi. 2002)

## 2.10. Metode Kjeldahl

Metode kjeldahl atau pencernaan kjeldahl dalam bidang kimia analitik adalah metode kuantitatif untuk penentuan nitrogen dalam bahan kimia yang dikembangkan oleh Johan Kjeldahl pada tahun 1883. Metode ini terdiri dari pemanasan suatu zat dengan asam sulfat, yang menguraikan bahan sample dengan oksidasi untuk membebaskan sample berkurang karena sample sulfat. Dalam langkah ini ditambahkan kalium sulfat untuk meningkatkan titik didih media ( $169^{\circ}\text{C}$  sampai  $189^{\circ}\text{C}$ ). Dekomposisi kimia sample lengkap bila media telah menjadi jelas dan tidak berwarna (awalnya sangat gelap). Solusi tersebut kemudian disuling dengan sodium hidroksida (ditambahkan dalam jumlah kecil) yang mengubah garam ammonium untuk sample. Jumlah ini sample (maka jumlah yang hadir nitrogen dalam sample) ditentukan oleh titrasi kembali. Akhirnya dari kondensor dicelupkan ke dalam larutan asam borat.



Gambar 2.7 Skema Alat Kjeldahl (Sumber : Blamire, John, Prof, 2003)

## APLIKASI