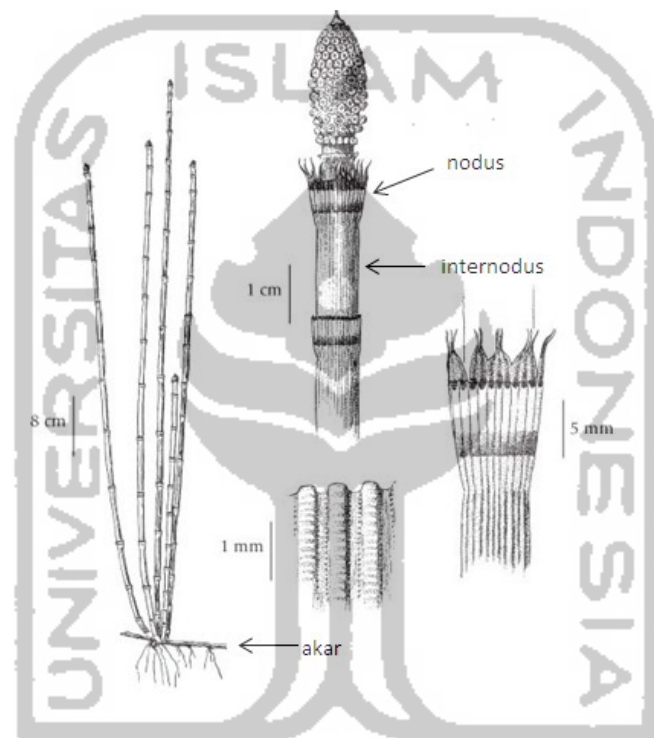


BAB III

DASAR TEORI

3.1 Bambu Air (*Equisetum hyemale*)

3.1.1 Deskripsi Bambu Air (*Equisetum hyemale*)



Gambar 2. Morfologi tanaman bambu air

Kata *Equisetum* berasal dari kata *equus* yang berarti kuda dan *saeta* yang berarti rambut tebal dalam bahasa Latin, sehingga tumbuhan yang termasuk genus ini disebut juga paku ekor kuda. Spesies dari genus ini umumnya tumbuh di lingkungan yang basah seperti kolam dangkal, daerah pinggiran sungai, atau daerah rawa. Paku *Equisetum* atau paku ekor kuda merupakan anggota dari divisi Sphenophyta. *Equisetum* adalah yang paling umum ditemukan di bumi belahan utara (Campbell, 2003).

Menurut Stern (2003) Equisetum biasanya tumbuh dengan tinggi kurang dari 1,3 meter (4 kaki), tetapi beberapa equisetum di daerah tropis dan pantai hutan tropis di California tingginya dapat melebihi 4,6 meter (15 kaki). Pada equisetum terdapat cabang disepanjang batang dan hampir semua proses fotosintesis terjadi di batang. Menurut Holttum (1959) marga Equisetum memuat kira-kira 25 jenis yang sebagiannya hidup di darat dan sebagian hidup di rawa-rawa. Kalangan taksonomi masih memperdebatkan apakah kelompok ekor kuda atau bambu air merupakan divisio tersendiri, sebagai Equisetophyta (atau Sphenophyta), atau suatu kelas dari tumbuhan paku, sebagai Equisetopsida (atau Sphenopsida). Hasil analisis molekular menunjukkan kedekatan hubungan dengan Marattiopsida dan paku sejati (Polypodiopsida) (Wikipedia indonesia).

Smith (1955) menyebutkan bahwa paku ekor kuda atau bambu air mempunyai kedudukan taksonomi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Divisi : Pteridophyta
 Kelas : Equisetopsida
 Ordo : Equisetales
 Famili : Equisetaceae
 Genus : Equisetum
 Spesies : *Equisetum hyemale*

Pada spesies *Equisetum hyemale* hanya terdapat satu tipe batang yaitu batang hijau berongga yang menghasilkan bentukan seperti kerucut pada bagian ujungnya (apeks), sehingga batang ini berperan ganda baik sebagai batang

generatif maupun vegetatif. Memiliki spora yang terkumpul pada bentukan tertentu seperti kerucut yang berada pada bagian apeks dari batang. Kerucut ini berisi poros sentral utama yang terspesialisasi dengan struktur penghasil dan penunjang sporangium, dinamakan sporangiofor, terbentuk di gelungan-gelungan tersebut. Masing-masing sporangiofor terdiri dari lempengan heksagonal, menempel pada kerucut dengan bantuan tangkai pendek (Large, 2006).

Equisetum hyemale hidup di danau dengan akar yang tumbuh pada tanah. Batang tumbuhan ini berwarna hijau, beruas-ruas, berlubang di tengahnya, berperan sebagai organ fotosintetik menggantikan daun. Batangnya dapat bercabang. Cabang duduk mengitari batang utama. Batang ini banyak mengandung silika. Daun pada semua anggota tumbuhan ini tidak berkembang baik, hanya menyerupai sisik yang duduk berkarang menutupi ruas. Spora tersimpan pada struktur berbentuk gada yang disebut *strobilus* (jamak *strobili*) yang terbentuk pada ujung batang (*apical*) (Silalahi, 2009).

Seperti pada tumbuhan paku lainnya, jenis paku ekor kuda atau bambu air juga dikenal karena kegunaannya sebagai obat. Di Indonesia batang bambu air ini digunakan sebagai obat sakit otot atau sakit tulang dengan cara membuatnya sebagai param. Berdasarkan beberapa hasil penelitian dikatakan bahwa tumbuhan ini mengandung asam kersik dan kalium yang tinggi. Oleh karena itu di Eropa tumbuhan ini dipakai pula sebagai obat diuretik (Large, 2006). Disamping sebagai obat, tumbuhan ini mempunyai keistimewaan yang tidak dijumpai pada jenis paku lainnya, yaitu sebagai alat pembersih pisau, garpu dan sendok. Hal ini disebabkan

karena adanya kandungan silikanya yang tinggi pada tanaman tersebut (Fried, 2005).

3.2 Proses Penyerapan Logam oleh Tanaman

Pada dasarnya seluruh substansi dalam larutan pada tanah dan benda-benda air dapat diserap oleh akar-akar tumbuhan seperti spons yang menyerap suatu cairan dan apa saja yang terkandung didalamnya tanpa seleksi. Suatu tanaman mempunyai kemampuan penyerapan yang memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, terutama pada nitrat, ammonium, fosfat dan lain-lain. Terdapat 2 (dua) sifat pengambilan ion oleh tanaman yaitu faktor konsentrasi dan faktor perbedaan kuantitatif. Pada faktor konsentrasi dilihat kemampuan tanaman untuk mengakumulasi ion sampai suatu konsentrasi, sedangkan pada faktor perbedaan kuantitatif dilihat dari perbedaan spesies tanaman dan kebutuhan unsur hara dari tanaman tersebut (Fisher dan Hey, 1992).

Menurut Priyanto dan Prayitno (2004), penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang saling berkaitan, yaitu:

1. Penyerapan oleh akar

Pada umumnya tumbuhan akan menyerap unsur-unsur hara yang larut dalam air maupun tanah melalui akar-akarnya. Terdapat dua cara penyerapan ion ke dalam akar tanaman, pertama aliran massa, ion dalam air bergerak menuju akar ke gradien potensial yang disebabkan oleh transpirasi. Kedua difusi, gradien konsentrasi dihasilkan oleh pengambilan ion pada permukaan akar.

2. Translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain

Setelah logam dibawa ke dalam akar, selanjutnya logam harus diangkut melalui jaringan pengangkut, yaitu *xylem* dan *floem* ke bagian tumbuhan lain. Untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan, logam diikat oleh molekul *chelate*. Berbagai molekul *chelate* yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan.

3. Lokalisasi logam

Untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tumbuhan mempunyai proses detoksifikasi misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar.

3.3 *Electro-Assisted Phytoremediation (EAPR)*

Pengolahan secara biologi seringkali merupakan alternatif berbiaya rendah yang ramah lingkungan. Di antara bermacam pengolahan biologis, salah satu teknologi inovatif adalah fitoremediasi yang melibatkan penggunaan tanaman untuk menghilangkan polutan seperti logam berat, senyawa organik, hidrokarbon, dan pestisida yang terdapat di air permukaan dan bawah tanah serta tanah (P'erez dkk., 2002; Prasad, 2004). Teknik ini mampu memberikan banyak manfaat antara lain biaya yang efektif, estetika, dan relatif bebas perawatan (McKinlay and Kasperek, 1999). Namun demikian, penting untuk menerapkan alur metabolik kontaminan dalam tanaman agar dapat mengetahui toksisitas metabolit yang terbentuk dan dilepaskan ke lingkungan.

Namun fitoremediasi mengalami beberapa kelemahan seperti pada penerapannya hanya terbatas pada kontaminasi yang terjadi pada permukaan saja karena untuk sampai pada kedalaman tertentu ditentukan oleh panjang akar dari

tumbuhan yang dimanfaatkan (Hodko dkk., 2000). Tanaman-tanaman yang biasa digunakan untuk fitoremediasi harus mempunyai kriteria tersendiri diantaranya tanaman yang mempunyai biomassa yang rata-rata sama dan pertumbuhannya cepat, sehingga dalam prosesnya tidak mengganggu proses fitoremediasi (Anthiochia dkk., 2007; Lim dkk., 2004).

Sedangkan *electro-assisted phytoremediation* (EAPR) merupakan metode penggabungan antara elektrokinetik dengan fitoremediasi, metode ini merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan kinerja proses fitoremediasi biasa (Putra dkk., 2013). Dalam sistem EAPR elemen yang paling berpengaruh adalah elektroda yang digunakan, elektroda tersebut berfungsi untuk memobilisasi secara elektrokinetik ion logam yang terdapat dalam air yang kemudian akan membuat ion logam mengalami proses elektro-migrasi menuju akar dimana selanjutnya akan terjadi fitoremediasi. Keunggulan dari metode EAPR adalah memungkinkan untuk menggunakan tanaman yang mempunyai akar yang tidak panjang sehingga akan menutupi kekurangan dari proses fitoremediasi biasa (O'connor dkk., 2002).

3.4 Elektrokoagulasi dan Elektrokoagulasi- EAPR

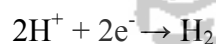
Koagulasi merupakan suatu proses pengolahan air dengan menggunakan sistem pengadukan cepat sehingga dapat mereaksikan bahan kimia (koagulan) secara seragam ke seluruh bagian air di dalam suatu reaktor. Pada koagulasi kimiawi, bahan kimia yang ditambahkan sebagai koagulan yang berbentuk garam (aluminium sulfat) di dalam larutan akan membuat air menjadi asam.

Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang

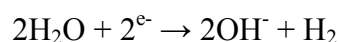
tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi. Sel elektrokimia adalah sel yang menghasilkan transfer bentuk energi listrik menjadi energi kimia atau sebaliknya, melalui saling interaksi antara arus listrik dan reaksi redoks. Kajian- kajian yang mempelajari perubahan kimia oleh sebab adanya transfer elektron disebut elektrokimia (Santoso dkk., 2000). Proses koagulasi dengan menggunakan koagulan yaitu suatu proses destabilisasi dan penggabungan dari partikel-partikel koloid dan halus yang tersuspensi dengan menggunakan bahan koagulan. Koagulan yang banyak digunakan adalah kapur, tawas, dan kaporit. Pertimbangan pemberiannya adalah karena garam-garam Ca, Fe, dll yang bersifat tidak larut dalam air akan mengendap bila bertemu dengan sisa- sisa basa (Kusnaedi, 1995).

Pada katoda ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.



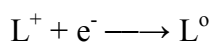
Anoda yang terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi



Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2),



Jika larutan mengandung ion-ion logam lain maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda,



Dari reaksi tersebut, pada anoda akan dihasilkan gas, buih dan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$.

3.5 Jenis Logam Berat

Menurut Putra dan Putra (2007), terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi logam berat ini dapat dibagi menjadi dua macam, yang pertama adalah logam berat esensial, dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, contohnya adalah Cu, Zn, Mn, Co, Fe dan masih banyak lagi. Sedangkan yang kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, dimana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya bahkan dapat bersifat racun, seperti Cr, Pb, Hg, Cd dan lain sebagainya. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya tergantung pada bagian mana logam berat terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan berkerja sebagai penghalang kinerja enzim sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia, biasanya jalur masuknya melalui kulit, pernafasan dan pencernaan.

Istilah logam secara fisik mengandung arti unsur yang merupakan konduktor listrik yang baik dan mempunyai konduktifitas panas, mempunyai

rapatan, mudah ditempa, kekerasan dan keelektropositifan yang tinggi (Darmono, 1995). Beberapa logam berat yang sering dilakukan penelitian diantaranya: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, dan Zn. Hal ini dikarenakan logam-logam tersebut paling banyak di lingkungan dan bersifat toksik.

3.5.1 Timbal (Pb)

Timbal merupakan logam yang beracun dan dapat terakumulasi dalam jaringan sehingga dapat menimbulkan gangguan kesehatan yang serius seperti gangguan saraf otak pada anak-anak, gangguan yang akut dan dapat menyebabkan kematian (Boecky, 1986). Penghirupan asap atau debu yang mengandung timbal dapat mengalami keracunan dan indikasinya antara lain: sakit kepala, pusing, insomnia, dan apabila sudah akut dapat menimbulkan kematian. Kisaran logam berat timbal (Pb) sebagai pencemar dalam tanah adalah 2.200 ppm dan kisaran logam berat timbal (Pb) dalam tanaman adalah 0,1-10 ppm.

Pencemaran Pb merupakan masalah utama pada tanah, air maupun udara hal ini dikarenakan sifat Pb yang toksik dan mempunyai kerapatan yang besar sehingga dapat dengan mudah masuk ke setiap lingkungan. Sedangkan pada tanaman, Pb sebagian besar diakumulasi oleh organ tanaman yaitu daun, batang dan akar. Menurut Charlena (2004) perpindahan Pb dari tanah ke tanaman tergantung komposisi dan pH tanah serta kapasitas tukar kation (KTK). Konsentrasi timbal yang tertinggi (100-1000 mg/kg) akan mengakibatkan pengaruh toksik pada proses fotosintesis dan pertumbuhan. Timbal hanya mempengaruhi tanaman bila dalam konsentrasi tinggi. Tanaman dapat menyerap logam Pb pada saat kondisi kesuburan tanah, kandungan bahan organik, serta

KTK tanah rendah. Pada keadaan ini logam Pb akan terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang bergerak bebas pada kelarutan tanah. Jika logam lain tidak mampu menghambat keberadaannya maka akan terjadi serapan Pb oleh akar tanaman.

3.5.2 Krom (Cr)

Kromium pertama kali ditemukan pada tahun 1798 oleh seorang ahli kimia Perancis yang bernama Vauquelin pada batuan timbal yang berwarna merah di Siberia Rusia. Kromium adalah unsur transisi yang terletak pada golongan VI B pada tabel periodik dengan konfigurasi elektron $4s^1 3d^5$.

Senyawa kromium yang stabil adalah senyawa-senyawa dari valensi III dan VI. Senyawa Cr(VI) adalah senyawa yang paling toksik, yang pada umumnya membentuk senyawa dengan oksigen sebagai kromat (CrO_4^{2-}) dan dikromat ($Cr_2O_7^{2-}$). Kromium (III) kurang toksik dan pada umumnya berikatan dengan bahan organik dalam tanah dan lingkungan perairan. Kromium berbeda dengan logam-logam toksik lainnya seperti kadmium, raksa, timbal, dan aluminium, dimana logam Cr sangat kurang mendapat perhatian dari ahli tumbuhan. Kompleks kimia kromium merupakan halangan dalam mempelajari mekanisme toksisitas kromium pada tumbuh-tumbuhan. Pengaruh kontaminasi kromium dalam fisiologi tumbuh-tumbuhan bergantung pada spesies logamnya yang berperan terhadap mobilisasi Cr, termasuk penyerapan dan keracunan pada sistem tumbuhan (Panda and Choudhury, 2005).

Keberadaan kromium pada perairan dijumpai dalam dua bentuk yaitu ion kromium valensi III (Cr^{3+}) dan ion kromium valensi VI (Cr^{6+}). Kromium valensi

VI lebih toksik dari pada kromium valensi III karena ion ini sukar terurai, tidak mengendap dan stabil, sedangkan kromium valensi III mempunyai sifat mirip dengan besi (III), sukar terlarut pada pH di atas 5 dan mudah dioksidasi. Keberadaan kromium di perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik (Susanti dan Henny, 2008).

3.6 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada.

Menurut Fardiaz (1992) untuk menyatakan kualitas air dibutuhkan beberapa parameter yang terkait. Salah satu diantaranya adalah *Chemical Oxygen Demand (COD)* atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) yang didefinisikan sebagai jumlah oksigen (mgO_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air atau banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O

dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air (Alaerts, 1984).

Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah, kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Cheremisionoff and Elizabeth, 1981).

Analisis BOD dan COD dari suatu air limbah dan menghasilkan nilai-nilai yang berbeda karena kedua uji mengukur bahan yang berbeda. Nilai COD selalu lebih tinggi dari nilai BOD (Effendi, 2003).

Perbedaan di antara kedua nilai disebabkan banyak faktor antara lain :

- a. Bahan kimia yang tahan terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak tahan terhadap oksidasi kimia seperti *lignin*.
- b. Bahan kimia yang dapat dioksidasi secara kimia dan peka terhadap oksidasi biokimia tetapi tidak dalam uji BOD5 seperti selulosa, lemak berantai panjang atau sel- sel mikroba.
- c. Adanya bahan toksik dalam limbah yang akan mengganggu uji BOD tetapi tidak uji COD.

Menurut Benefield (1982), perbedaan COD dan BOD dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Angka BOD adalah jumlah komponen organik *biodegradable* dalam air buangan, sedangkan tes COD menentukan total organik yang dapat teroksidasi, tetapi tidak dapat membedakan komponen *biodegradable* atau *non biodegradable*.
- b. Beberapa substansi anorganik seperti sulfat dan tiosulfat, nitrit dan besi yang tidak akan terukur dalam tes BOD akan teroksidasi oleh kalium dikromat, membuat nilai COD-anorganik yang menyebabkan kesalahan dalam penetapan komposisi organik dalam laboratorium.
- c. Hasil COD tidak tergantung pada aklimasi bakteri sedangkan pada tes BOD sangat dipengaruhi aklimasi *seeding* bakteri.

Untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dapat dilakukan suatu uji yang lebih cepat dibandingkan dengan uji BOD, yaitu berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan yang disebut uji COD. Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan seperti kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) atau kalium permanganat ($KMnO_4$) sebagai sumber oksigen atau *Oxidizing Agent* yang digunakan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air (Droste, 1997).

3.7 Spektroskopi Serapan Atom (SSA) – Nyala

Spektroskopi serapan atom (SSA) merupakan metode analisis yang tepat untuk analisis analit terutama logam-logam dengan konsentrasi rendah, SSA adalah spektroskopi yang berprinsip pada serapan cahaya oleh atom. Atom-atom

menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unturnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Transisi elektronik suatu unsur bersifat spesifik. Dengan absorpsi energi, terdapat lebih banyak energi yang akan dinaikkan dari keadaan dasar ke keadaan eksitasi dengan tingkat eksitasi yang bermacam-macam. Spektroskopi serapan atom (SSA) berkerja berdasarkan pada penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung didalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan oleh lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) yang mengandung energi radiasi yang sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron atom (Khopkar, 1990).

Beberapa logam yang terkandung dalam sampel dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan SSA tetapi ada beberapa gangguan kimia yang menyebabkan sampel harus diperlakukan khusus terlebih dahulu. Gangguan kimia ini disebabkan oleh kurangnya penyerapan loncatan atom dalam kombinasi molekul dalam *flame*. Hal ini terjadi karena *flame* tidak cukup panas untuk memecah molekul atau pada saat pemecahan atom, dioksidasi segera menjadi senyawa yang tidak terpecah segera pada temperatur *flame*. Beberapa gangguan dapat dikurangi atau dihilangkan dengan penambahan elemen atau senyawa khusus pada larutan sampel. Gangguan kimia tersebut antara lain:

1. Pembentukan senyawa stabil

Pembentukan senyawa stabil menyebabkan disosiasi analit tidak bercampur. Gangguan kimia ini dapat diatasi dengan menaikkan suhu

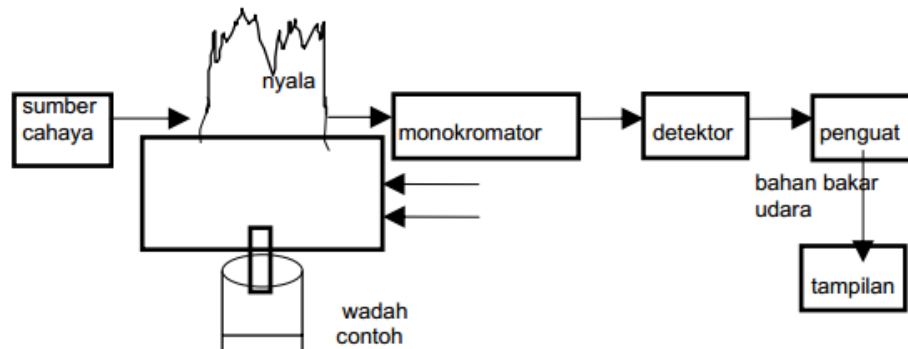
nyala, menggunakan zat pembebas (*releasing agent*) dan ekstraksi analit atau unsur pengganggu.

2. Ionisasi

Ionisasi dapat dicegah dengan menambahkan ion yang lebih mudah terionisasi untuk menahan ionisasi analit. Unsur-unsur yang dapat ditentukan dengan SSA lebih dari 60 unsur logam atau *metalloid* dengan konsentrasi 10 ppm. Setiap unsur logam yang dideteksi menggunakan SSA mempunyai kondisi optimum yang berbeda-beda (Khopkar, 1990).

3.7.1 Instrumentasi spektroskopi serapan atom (SSA)

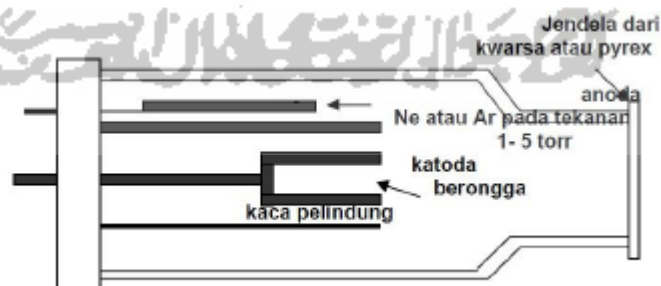
Penggunaan metode spektroskopi serapan atom (SSA) dalam menentukan kadar unsur logam dalam suatu sampel secara kuantitatif lebih banyak digunakan karena metode ini sangat sensitif dan selektif kemudian juga tidak menggunakan sampel dengan jumlah yang banyak. Secara umum, komponen-komponen SSA sama dengan spektrometer UV-Vis, keduanya mempunyai komponen yang terdiri dari sumber cahaya, nyala, tempat sampel, monokromator dan detektor. Analisis sampel dilakukan melalui pengukuran absorbansi sebagai fungsi konsentrasi standar dan menggunakan hukum Beer untuk menentukan konsentrasi sampel yang tidak diketahui. Walaupun komponen-komponennya sama, namun sumber cahaya dan tempat sampel yang digunakan pada SSA memiliki karakteristik yang sangat berbeda dari yang digunakan pada spektrometri atom seperti UV-Vis. Menurut Day dan Underwood (1989), skema umum instrumentasi spektroskopi serapan atom sebagai berikut:



Gambar 3. Skema alat spektrofotometer AAS nyala

1. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan dalam spektroskopi serapan atom adalah lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini terdiri dari katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa. Katoda terbuat dari logam yang akan dianalisis. Silinder gelas yang berisi suatu gas lembam pada tekanan rendah. Ketika diberikan potensial listrik maka muatan positif ion gas akan menumbuk katoda sehingga terjadi pemancaran spektrum garis logam yang bersangkutan (Day dan Underwood, 1989).



Gambar 4. Lampu Katoda Berongga (*hollow cathode lamp*)

2. Nyala

Nyala digunakan untuk mengubah sampel yang berupa padatan atau cairan menjadi bentuk uap atomnya, dan juga berfungsi untuk atomisasi. Untuk spektroskopi nyala suatu persyaratan yang penting adalah bahwa nyala yang dipakai hendaknya menghasilkan temperatur lebih dari 20000K. Konsentrasi atom-atom dalam bentuk gas dalam nyala, baik dalam keadaan dasar maupun keadaan tereksitasi, dipengaruhi oleh komposisi nyala. Komposisi nyala asetilen-udara sangat baik digunakan untuk lebih dari 30 (tiga puluh) unsur sedangkan komposisi nyala propana-udara disukai untuk logam yang mudah diubah menjadi uap atomik. Untuk logam seperti aluminium (Al) dan titanium (Ti) yang membentuk oksida refraktori temperatur tinggi dari nyala asetilen-NO sangat perlu dan sensitivitas dijumpai bila nyala kaya akan asetilen (Bassett dkk., 1994).

3. Nebulizer (Pengabut)

Fungsi dari nebulizer sendiri adalah untuk mengubah larutan sampel menjadi atom-atom dalam bentuk gas dan menghasilkan kabut atau aerosol larutan sampel. Larutan yang akan dikabutkan ditarik ke dalam pipa kapiler oleh aksi semprotan udara yang ditiupkan melalui ujung kapiler, diperlukan aliran gas bertekanan tinggi untuk menghasilkan aerosol yang halus (Bassett dkk., 1994).

4. Monokromator

Fungsi monokromator adalah untuk mengisolir sebuah resonansi dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan oleh *hollow cathode lamp*

(HCL). Peralatan yang digunakan terdiri dari cermin, lensa, filter, prisma dan/ atau *grating*. Untuk beberapa unsur, isolasi ini dapat dilakukan dengan mudah namun beberapa unsur yang lainnya susah untuk diisolasi, misalnya unsur tembaga (Cu) yang mempunyai spektra yang berjarak 2,7 nm sedangkan unsur nikel (Ni) mempunyai spektrum yang berdempetan yang hanya berselisih 0,1-0,3 nm. Kemampuan untuk memisahkan spektrum sinar merupakan faktor paling penting dari suatu monokromator (Khopkar, 1990).

5. Detektor dan penguat

Energi yang diteruskan dari sel atom harus diubah ke dalam bentuk sinyal listrik untuk kemudian diperkuat dan diukur oleh suatu sistem untuk memproses data. Proses pengubahan ini dalam alat spektroskopi serapan atom dilakukan oleh detektor. Detektor yang biasa digunakan adalah tabung pengganda foton (*Photo Multiplier Tube*), terdiri dari katoda yang dilapisi senyawa yang bersifat peka cahaya dan suatu anoda yang mampu mengumpulkan elektron. Sedangkan penguat berfungsi untuk mengendalikan pemenggalan berkas dan untuk menghilangkan efek-efek kebisingan radiatif dari nyala atau tanur (Bassett dkk., 1994).

6. Peralatan Pencatat atau Tampilan

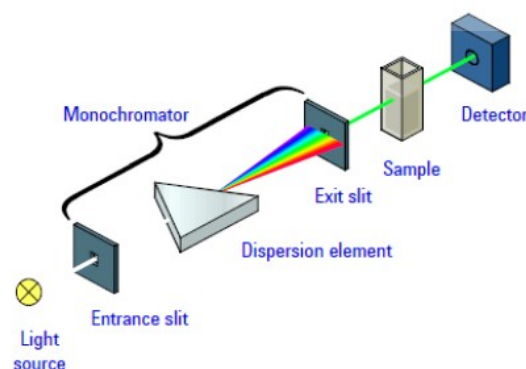
Peralatan ini berfungsi untuk mengubah dan mencatat sinyal-sinyal listrik yang berasal dari detektor ke suatu bentuk yang mudah dibaca oleh operator, misalnya dalam bentuk jarum galvanometer atau angka-angka digital sesuai dengan hasil analisis. Sinyal-sinyal listrik dari

detektor secara elektronik dapat diintegrasikan dalam jangka waktu tertentu dan hasilnya dirata-ratakan, kemudian dapat pula diadakan perbaikan kurva-kurva kalibrasi sehingga diperoleh kurva linier monokromator (Khopkar, 1990).

3.8 Spektrofotometri UV-Vis *Double Beam*

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380) dan sinar tampak (380-780) dengan memakai instrumen spektrofotometer (Mulja dan Suharman, 1995).

Spektrofotometer terdiri atas spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. Spektrofotometer tersusun atas sumber spektrum yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau blanko dan suatu alat untuk mengukur perbedaan absorpsi antara sampel dan blanko ataupun pembanding (Khopkar, 1990). Gambar 5 menunjukkan skema instrumentasi spektrofotometri UV-Vis.



Gambar 5. Skema alat spektrofotometer UV tampak

Komponen-komponen pokok dari spektrofotometer meliputi:

1. Sumber tenaga radiasi yang stabil, sumber yang biasa digunakan adalah lampu wolfram.
2. Monokromator untuk memperoleh sumber sinar yang monokromatis.
3. Sel absorpsi, pada pengukuran di daerah visibel menggunakan kuvet kaca atau kuvet kaca corex, tetapi untuk pengukuran pada UV menggunakan sel kuarsa karena gelas tidak tembus cahaya pada daerah ini.
4. Detektor radiasi yang dihubungkan dengan sistem meter atau pencatat. Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang (Khopkar, 1990).

Serapan cahaya oleh molekul dalam daerah spektrum ultraviolet dan visibel tergantung pada struktur elektronik dari molekul. Serapan ultraviolet dan visibel dari senyawa-senyawa organik berkaitan erat transisi-transisi diantara tingkatan-tingkatan tenaga elektronik. Disebabkan karena hal ini, maka serapan radiasi ultraviolet atau terlihat sering dikenal sebagai spektroskopi elektronik. Spektrum ultraviolet adalah gambar antara panjang gelombang atau frekuensi serapan lawan intensitas serapan (transmitansi atau absorbansi). Sering juga data ditunjukkan sebagai gambar grafik atau tabel yang menyatakan panjang gelombang lawan serapan molar atau log dari serapan molar, E_{max} atau $\log E_{max}$ (Sastrohamidjojo, 2001).

Sumber tenaga radiasi terdiri dari benda yang tereksitasi menuju ke tingkat yang lebih tinggi oleh sumber listrik bertegangan tinggi atau oleh pemanasan listrik. Monokromator adalah suatu piranti optis untuk memencilkan radiasi dari

sumber berkesinambungan. Digunakan untuk memperoleh sumber sinar monokromatis. Alat dapat berupa prisma atau grating (Khopkar, 1990). Pengukuran pada daerah UV harus menggunakan sel kuarsa karena gelas tidak tembus cahaya pada daerah ini. Sel yang biasa digunakan berbentuk persegi maupun berbentuk silinder dengan ketebalan 10 mm. Sel tersebut adalah sel pengabsorpsi, merupakan sel untuk meletakkan cairan ke dalam berkas cahaya spektrofotometer. Sel haruslah meneruskan energi cahaya dalam daerah spektral yang diminati. Sebelum sel dipakai dibersihkan dengan air atau dapat dicuci dengan larutan detergen atau asam nitrat panas apabila dikehendaki (Sastrohamidjojo, 2001).

