

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Pesisir Teluk Lampung

1. Letak geografis

Teluk Lampung merupakan salah satu dari dua teluk di ujung paling selatan pulau Sumatra, Kota Bandar Lampung terletak pada pangkal teluk, dan bagian mulut teluk (arah selatan-tenggara) berhadapan langsung dengan Selat Sunda yang merupakan perairan penghubung antara Laut Jawa di sebelah utara dan Samudera Hindia di selatan. Pesisir Teluk Lampung meliputi daratan dan perairan, dengan posisi geografis terletak antara $104^{\circ}56'$ - $105^{\circ}45'$ BT dan $5^{\circ}25'$ - $5^{\circ}59'$ LS. Luas total wilayah daratan adalah 127.902 ha, dan luas perairan adalah 161.178 ha (Helfinalis, 2000).

Daratan wilayah pesisir Teluk Lampung tergolong sebagai dataran pantai sempit dan perbukitan, dengan batuan dominan meliputi endapan aluvium dan rawa, batu gamping terumbu, dan endapan gunung api muda berumur quarter (Qhv). Wilayah yang berbatasan langsung dengan laut (Teluk Lampung) memiliki kelerengannya datar (0-3%), dengan elevasi 0-10 m dari permukaan laut (dpl); sedangkan wilayah ke arah daratan memiliki kelerengannya beragam mulai dari landai (3-8%)

sampai dengan sangat curam (>40%), dengan elevasi beragam mulai dari 10 sampai dengan >1.000 m dpl. Kelompok relief pada wilayah ke arah laut tergolong dataran (*flat*); dan ke arah daratan beragam yaitu berombak (*undulating*), bergelombang (*rolling*), dan berbukit (*hummocky*, *hillocky*, dan *hilly*) (Wiryawan *et al.*, 1999).

2. Kondisi Wilayah

Wilayah pesisir Teluk Lampung memiliki potensi ekonomi wilayah yang besar, Secara ekologis wilayah ini merupakan kesatuan fungsional yang relatif dapat dibatasi dari wilayah lainnya di Provinsi Lampung. Wilayah pesisir Teluk Lampung, dipisahkan oleh daerah aliran sungai (DAS) tersendiri, dan memiliki perairan teluk yang semi tertutup dengan tubuh air lainnya. Nilai strategis lain dari wilayah pesisir Teluk Lampung adalah lokasi geografisnya sebagai pintu gerbang antar Pulau Sumatra dan Jawa, serta dari sisi pertahanan sebagai calon pusat armada barat TNI-AL. Berdasarkan kondisi wilayah dan nilai strategis kawasan, maka terdapat cukup alasan untuk memberikan status sebagai kawasan strategis provinsi pada wilayah pesisir Teluk Lampung. Dengan status tersebut maka penataan ruang dan pengelolaan wilayah pesisir Teluk Lampung, dapat lebih diprioritaskan. Dengan demikian, wilayah ini akan memiliki peluang untuk lebih maju dan berkelanjutan, serta akan lebih berperan bagi Provinsi Lampung secara keseluruhan (Pariwono, 1999).

3. Kondisi Fisik dan Kimia Perairan Teluk Lampung

a. Arus dan sedimen

Arus di Teluk Lampung terdiri dari arus pasut yang dibangkitkan oleh pasut, dan arus non pasut yang utamanya dibangkitkan oleh angin. Kekuatan arus berkisar antara 0,02-0,87 knot. Pada musim barat antara bulan November hingga Maret, arus mengalir dengan kecepatan 0,52-0,87 knot dan mencapai kecepatan maksimum pada bulan Desember. Arus pada musim barat ini mengalir dengan tetap menuju ke arah tenggara. Sedangkan arus pada musim timur antara bulan April hingga Oktober melemah dengan kisaran kecepatan 0,02-0,70 knot. Pada bulan Juli arus mencapai minimum, berkisar antara 0,02-0,10 knot.

Sebaran sedimen di Teluk Lampung cukup bervariasi mengikuti pola arus yang terjadi. Hasil penelitian Helfinalis (2000) di Teluk Lampung, menunjukkan bahwa pada lokasi-lokasi dasar perairan yang dipengaruhi oleh arus pasut yang cepat akan didominasi pasir; dan sebaliknya yang dipengaruhi oleh pergerakan arus pasut lemah akan didominasi sedimen lumpur. Sedimen pasir yang berasal dari aliran sungai akan diendapkan di sekitar muara sungai.

b. Kualitas Air

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan di uji berdasarkan parameter- parameter tertentu dan metode tertentu. Parameter ini meliputi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis. Kualitas air Teluk Lampung ditunjukkan dengan penggambaran beberapa parameter yang dirujuk dari berbagai sumber, seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas air Teluk Lampung

Parameter	Satuan	Kisaran nilai	Baku Mutu
Suhu	°C	28,0-31,5	Alami
Salinitas	‰	32-35	Alami
Padatan tersuspensi (TSS)	mg/l	35,0-55,4	<20
Oksigen terlarut (DO)	mg/l	6,4-7,5	>5
Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD)	mg/l	22,8-29,2	<20
Kebutuhan Oksigen kimiawi (COD)	mg/l	45,8- 75,7	-

Sumber : Kep-Men-LH No. 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut

Padatan tersuspensi (TSS) merupakan indikasi beban pencemaran berupa padatan tersuspensi yang dapat berasal dari berbagai sumber. Pada perairan Teluk Lampung, padatan tersuspensi dapat berasal dari berbagai sumber seperti limbah permukiman (perkotaan), industri, dan suspensi yang dibawa oleh aliran sungai. Secara umum, TSS perairan Teluk Lampung sudah melampaui ambang batas baku mutu kualitas air laut untuk biota laut, dan dapat dindikasikan sudah tercemar (Helfinalis, 2000).

Oksigen terlarut (DO) merupakan indikasi ketersediaan oksigen di dalam air yang dibutuhkan oleh makhluk hidup. Secara umum perairan Teluk Lampung menunjukkan indikasi DO masih memenuhi prasyarat yang dapat mendukung kehidupan biota laut. Kebutuhan oksigen biologi (BOD) dan kimiawi (COD) merupakan parameter kualitas perairan yang mengindikasikan tingkat pencemaran. BOD dan COD merupakan jumlah oksigen (dalam satuan mg/l) yang diperlukan untuk mendegradasi (oksidasi) polutan di dalam air secara biologi dan kimiawi. Perairan yang memiliki BOD < 20 mg/l, dapat dinyatakan sebagai perairan yang mampu mendukung kehidupan biota laut dengan baik,

sebaliknya bila nilai BOD sudah melebihi nilai ambang tersebut. Secara umum terlihat bahwa perairan Teluk Lampung sudah melampaui ambang batas baku mutu BOD, dan dapat diindikasikan sudah tercemar (Bapelda, 2003) .

B. Pelabuhan Panjang

Kecamatan Panjang merupakan kawasan pesisir Teluk Lampung. Pelabuhan Panjang berada di Jalan Yos Sudarso di daerah Panjang kota Bandar Lampung. Secara administratif batas wilayah kecamatan Panjang adalah (1) Sebelah Utara : kecamatan Tanjung Karang Timur; (2) Sebelah Selatan : Teluk Lampung; (3) Sebelah Timur : kabupaten Lampung Selatan; (4) Sebelah Barat : Teluk Betung Selatan. Pelabuhan Panjang berada dalam lingkungan PT. Pelabuhan Indonesia II (Persero). letak pelabuhan Panjang, disajikan pada Gambar 1 (Anonim, 2013).



Gambar 1. Pelabuhan Panjang

Gambar diatas memperlihatkan aktivitas pelabuhan Panjang. Pelabuhan ini beraktivitas selama 24 jam penuh melayani ekspor impor dan pelabuhan ini juga merupakan gerbang masuknya barang dari pulau Jawa ke pulau Sumatra atau pun sebaliknya (Pelindo, 2001). Selain itu juga pelabuhan ini dekat dengan wilayah perindustrian, seperti industri kayu lapis, batu bara, semen, pertamina dan beberapa industri di sekitar pelabuhan Panjang seperti industri konstruksi (PT Darma Putra Konstruksi, PT Jaya Persada Konstruksi, PT Husada Baja), industri kimia (PT Golden Sari, PT Garuntang), industri pergudangan dan peti kemas (PT Inti Sentosa Alam Bahtera). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) 2012, dari aktivitas kepelabuhan, jumlah kunjungan kapal laut baik dari maupun ke Pelabuhan Panjang mengalami peningkatan, pada tahun 2010 berjumlah 2051 kunjungan kapal, dan pada tahun 2011 meningkat menjadi 2061 kunjungan kapal. Seiring dengan meningkatnya volume kunjungan kapal laut tersebut, volume eksport dari Lampung juga meningkat sebesar 2,05% .

C. Pencemaran

Pencemaran lingkungan hidup menurut Undang-Undang No 23 tahun 1997 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia, sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukkannya. Menurut Odum (1971) pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber

kehidupan, kondisi kehidupan dan proses industri. Sedangkan menurut definisi GESAMP (*Group of Expert on Scientific Aspect on Marine Pollution*) pencemaran laut diartikan sebagai masuknya zat-zat (substansi) atau energi ke dalam lingkungan laut dan estuaria baik langsung maupun tidak langsung akibat adanya kegiatan manusia yang menimbulkan kerusakan pada lingkungan laut, kehidupan di laut, kesehatan manusia, mengganggu aktivitas di laut (usaha penangkapan, budidaya, alur pelayaran) serta secara visual merusak keindahan (estetika). Fardiaz (2006) mengistilahkan pencemaran air dengan istilah yang berbeda, yaitu polusi air. Polusi air yang dimaksud disini adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal.

Darmono (1995) mengklasifikasikan sumber pencemaran logam berat berdasarkan lokasinya yaitu :

1. Pada perairan estuaria, pencemaran memiliki hubungan yang erat dengan penggunaan logam oleh manusia.
2. Pada perairan laut lepas kontaminasi logam berat biasanya terjadi secara langsung dari atmosfer atau karena tumpahan minyak dari kapal-kapal tanker yang melaluinya.
3. Di perairan sekitar pantai kontaminasi logam kebanyakan berasal dari mulut sungai yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri atau pertambangan.

D. Sedimen

Pipkin (1977) menyatakan bahwa sedimen adalah pecahan, mineral, atau material organik yang ditranspartasikan dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia.

Sedangkan Gross (1990) mendefinisikan sedimen laut sebagai akumulasi dari mineral-mineral dan pecahan-pecahan batuan yang bercampur dengan hancuran cangkang dan tulang dari organisme laut serta beberapa partikel lain yang terbentuk lewat proses kimia yang terjadi di laut. Sedimen yang dijumpai di dasar lautan dapat berasal dari beberapa sumber dan dibedakan menjadi empat yaitu (Ward and Stanley, 2004):

1. *Lithogenous sedimen* yaitu sedimen yang berasal dari erosi pantai dan material hasil erosi daerah *up land*. Material ini dapat sampai ke dasar laut melalui proses mekanik, yaitu tertransport oleh arus sungai dan atau arus laut dan akan terendapkan jika energi tertransforkan telah melemah.
2. *Biogeneuos sedimen* yaitu sedimen yang bersumber dari sisa-sisa organisme yang hidup seperti cangkang dan rangka biota laut serta bahan-bahan organik yang mengalami dekomposisi.
3. *Hidreogenous sedimen* yaitu sedimen yang terbentuk karena adanya reaksi kimia di dalam air laut dan membentuk partikel yang tidak larut dalam air laut sehingga akan tenggelam ke dasar laut, sebagai contoh dan sedimen jenis ini adalah magnetit, fosforit dan glaukonit.

4. *Cosmogeous sedimen* yaitu sedimen yang bersal dari berbagai sumber dan masuk ke laut melalui jalur media udara atau angin. Sedimen jenis ini dapat bersumber dari luar angkasa , aktifitas gunung api atau berbagai partikel darat yang terbawa angin. Material yang berasal dari luar angkasa merupakan sisa-sisa meteorik yang meledak di atmosfer dan jatuh ke laut. Sedimen yang berasal dari letusan gunung berapi dapat berukuran halus berupa debu vulkanin, atau berupa fragmen-fragmen aglomerat. Sedangkan sedimen yang berasal dari partikel di darat dan terbawa angin banyak terjadi pada daerah kering dimana proses *aeolian* dominan namun demikian dapat juga terjadi pada daerah sub tropis saat musim kering dan angin bertiup kuat.

Dalam suatu proses sedimentasi, zat-zat yang masuk ke laut berakhir menjadi sedimen. Dalam hal ini zat yang ada terlibat proses biologi dan kimia yang terjadi di sepanjang kedalaman laut. Sebelum mencapai dasar laut dan menjadi sedimen, zat tersebut melayang-layang di dalam laut. Setelah mencapai dasar laut pun sedimen tidak diam tetapi sedimen akan terganggu ketika hewan laut mencari makan. Sebagian sedimen mengalami erosi dan tersuspensi kembali oleh arus bawah sebelum kemudian jatuh kembali dan tertimbun. Terjadi reaksi kimia antara butir-butir mineral dan air laut sepanjang perjalannya ke dasar laut dan reaksi tetap berlangsung, yaitu ketika air laut terperangkap di antara butiran mineral.

Perairan pesisir banyak didominasi oleh substrat lunak seperti lumpur dan butir-butir pasir. Clark (1986) menyatakan bahwa air sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi, ketika partikel mencapai muara dan bercampur

dengan air laut partikel lumpur akan membentuk partikel yang lebih besar dan mengendap di dasar perairan. Menurut Fardiaz (2006) adanya sedimen dalam jumlah tinggi di perairan dapat merugikan karena:

1. Menyebabkan pendangkalan dan penyumbatan sehingga mengurangi volume air yang ditampung.
2. Mengurangi populasi ikan dan hewan air lainnya karena telur dan sumber makanan terendam oleh sedimen.
3. Mengurangi penetrasi cahaya ke dalam perairan sehingga mengurangi kecepatan fotosintesis.

E. Logam Berat

1. Pengertian Logam Berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan densitas lebih besar dari 5g/cm^3 terletak di sudut kanan bawah pada sistem periodik unsur, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 Dari periode 4 sampai 7 (Ernawati, 2010). Karena afinitasnya yang tinggi terhadap S menyebabkan logam ini menyerang ikatan S dalam enzim, sehingga enzim yang bersangkutan menjadi tidak aktif (Manahan, 1994).

Logam berat adalah unsur alami dari kerak bumi. Logam yang stabil dan tidak bisa rusak atau hancur, oleh karena itu mereka cenderung menumpuk dalam tanah dan sedimen. Banyak istilah logam berat telah diajukan, berdasarkan kepadatan, nomor atom, sifat kimia, atau racun. Logam berat yang dipantau meliputi

antimony (Sb), Arsen (As), kadmium (Cd), kobalt(Co), kromium (Cr), tembaga (Cu), nikel (Ni), timbal (Pb), mangan (Mn), merkuri (Hg), molybdenum (Mo), skandium (Sc), selenium (Se), titanium (Ti), tungsten (W), timah (Sn), dan vanadium (V).

2. Karakteristik Logam Berat

Berdasarkan daya hantar panas dan listrik, semua unsur kimia yang terdapat dalam susunan berkala unsur-unsur dapat dibagi atas dua golongan yaitu logam dan non logam. Golongan logam mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi, sedangkan golongan non logam mempunyai daya hantar listrik yang rendah . Berdasarkan densitasnya, golongan logam di bagi atas dua golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Golongan logam ringan (*light metals*) mempunyai densitas < 5 , sedangkan logam berat mempunyai densitas > 5 (Hutagalung, 1991).

Sedangkan (Palar, 1994) memberi karakteristik logam berat sebagai berikut :

- a. Memiliki spesifikasi gravitasi yang sangat besar (> 4).
- b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur lantanida dan aktanida.
- c. Mempunyai respon biokimia yang spesifik pada organisme hidup.

Berbeda dengan logam biasa, logam berat biasanya menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat dapat menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup apabila melampaui ambang batas yang diizinkan. Namun sebagian dari logam berat tersebut memang dibutuhkan didalam tubuh

mahluk hidup dalam jumlah sedikit, yang juga apabila tidak terpenuhi akan berakibat fatal terhadap kelangsungan hidup dari mahluk hidup tersebut.

3. Toksisitas Logam Berat

Sedikitnya terdapat 80 jenis dari 109 unsur kimia di muka bumi ini yang telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibagi dalam dua jenis. Pertama, logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Ni, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua, logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Connel dan Miller 1995).

Berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap hewan air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) yaitu merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co) (Sutamihardja dkk, 1982). Menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$. Sedangkan menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (2004) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Bersifat toksik tinggi (Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn).

2. Bersifat toksik sedang (Cr, Ni, dan Co).
3. Bersifat toksik rendah (Mn dan Fe).
4. Logam Berat Dalam Lingkungan Air

Berdasarkan *National Sediment Quality Survey* USEPA (2004) baku mutu logam berat Cd dan Ni dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu kandungan logam berat dalam sedimen

No	Logam	Baku Mutu (ppm)
1	Ni	80,07
2	Cd	2,49

Pada saat buangan limbah industri masuk ke dalam suatu perairan maka akan terjadi proses pengendapan dalam sedimen. Hal ini menyebabkan konsentrasi bahan pencemar dalam sedimen meningkat.

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat yaitu (Efendi, 2003):

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan).
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut.
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam di dalam air.

4. Mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Secara alamiah, kandungan logam berat dalam air adalah kurang dari 1 g/L.

Menurut Pallar (1994) faktor-faktor yang mempengaruhi kelarutan logam berat dalam suatu badan air antara lain :

- a. pH air

Dalam lingkungan perairan, bentuk logam antara lain berupa ion bebas, pasangan ion organik, dan ion kompleks. Kelarutan logam dalam air dikontrol oleh pH air. Kenaikan pH menurunkan kelarutan logam dalam air, karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida yang membentuk ikatan dengan partikel pada badan air, sehingga akan mengendap membentuk lumpur.

- b. Suhu air

Kenaikan suhu air dan penurunan pH akan mengurangi adsorpsi senyawa logam berat pada partikulat. Suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam berat ke partikulat untuk mengendap di dasar. Sementara saat suhu air naik, senyawa logam berat akan melarut di air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat. Logam yang memiliki kelarutan yang kecil akan ditemukan di permukaan air selanjutnya dengan perpindahan dan waktu tertentu akan mengendap hingga ke dasar, artinya logam tersebut hanya akan berada di dekat permukaan air dalam waktu yang sesaat saja untuk kemudian mengendap lagi.

Hal ini ditentukan antara lain oleh massa jenis air, viskositas (kekentalan) air, temperatur air, arus air serta faktor lainnya.

c. Konsentrasi oksigen dalam badan air

Pada daerah yang kekurangan oksigen, misalnya akibat kontaminasi bahan-bahan organik, daya larut logam berat akan menjadi lebih rendah dan mudah mengendap. Logam berat yang terlarut dalam air akan berpindah ke dalam sedimen jika berikatan dengan materi organik bebas atau materi organik yang melapisi permukaan sedimen, dan penyerapan langsung oleh permukaan partikel sedimen.

Keberadaan logam dalam perairan terutama muara dapat berasal dari sumber alamiah dan aktifitas manusia (Pallar, 1994). Masuknya logam berat kedalam muara secara alamiah dapat digolongkan sebagai berikut :

1. Pasokan dari daerah hulu sungai karena erosi yang disebabkan oleh gerakan gelombang air.
2. Pasokan dari laut dalam yang meliputi logam yang dilepaskan gunung berapi di laut dalam dan dari partikel atau endapan oleh adanya proses kimiawi.
3. Pasokan yang berasal dari lingkungan dekat muara dan meliputi logam yang diangkat ke dalam atmosfer sebagai partikel debu.

Sedangkan keberadaan logam-logam berat dalam muara yang disebabkan oleh aktifitas manusia dapat berasal dari:

1. Buangan rumah tangga.
2. Buangan sisa industri yang tidak terkontrol, dimana logam berat ini mengalir ke sungai dan akhirnya sampai di muara dan mengendap jadi sedimen.

3. Lumpur minyak yang kadang-kadang juga mengandung logam berat dengan konsentrasi yang tinggi yang terbuang sampai ke muara dan mengendap jadi sedimen. Pembakaran hidrokarbon dan batu bara diantaranya ada yang melepaskan senyawa logam berat ke udara kemudian bercampur dengan air hujan dan mengalir melalui sungai yang pada akhirnya sampai di muara.

F. Nikel (Ni)

Nikel ditemukan oleh A. F. Cronstedt pada tahun 1751. Nikel dengan nomor atom 28 dan massa atom 58,69, dalam sistem periodik unsur terletak pada periode 4, golongan VIII B. Nikel adalah logam putih perak yang keras, bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kokoh. Logam ini melebur pada suhu 1455°C, dan bersifat sedikit magnetis (Svehla, 1999). Nikel di alam dalam bentuk ion heksaquo $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O}_6)]^{+2}$ dan garam terlarut dalam air. Aliran alami, sungai, dan danau mengandung total 0,2-10 μgL^{-1} nikel terlarut. Air yang dekat dengan permukaan pada daerah pertambangan dan peleburan mengandung nikel sampai 6,4 mg L^{-1} . Air laut mengandung kira-kira 1,5 μgL^{-1} dimana merupakan sekitar 50% bentuk ion bebasnya (Wright, 2002). Ni memasuki atmosfer dari pembakaran bahan bakar fosil, proses peleburan dan *alloying* (paduan logam), sampah pembakaran, dan asap tembakau. Nikel berada di atmosfer terutama sebagai bentuk larut dalam air, seperti NiSO_4 , NiO , dan kompleks oksida logam yang mengandung logam Ni

1. Manfaat dan Penggunaan Nikel

Nikel digunakan dalam berbagai aplikasi komersial dan industri, seperti : pembuatan baja tahan karat, *alloy* yang bersifat tahan korosi, pelindung baja (*stainless steel*), pelindung tembaga, industri baterai, elektronik, aplikasi industri pesawat terbang, industri tekstil, turbin pembangkit listrik bertenaga gas, pembuat magnet kuat, pembuatan alat-alat laboratorium (nikrom), kawat lampu listrik, katalisator lemak, pupuk pertanian, dan berbagai fungsi lain (Anonim 2, 2013).

2. Toksisitas Nikel

Nikel dalam jumlah kecil dibutuhkan oleh tubuh, tetapi bila terdapat dalam jumlah yang terlalu tinggi dapat berbahaya untuk kesehatan manusia, yaitu : menyebabkan kanker paru-paru, kanker hidung, kanker pangkal tenggorokan, kanker prostat, merusak fungsi ginjal, menyebabkan kehilangan keseimbangan, menyebabkan kegagalan respirasi, kelahiran cacat, menyebabkan penyakit asma dan bronkitis kronis serta merusak hati.

Berdasarkan hasil autopsi terhadap korban yang meninggal akibat paparan $\text{Ni}(\text{CO})_4$, diketahui bahwa kadar Ni tertinggi adalah di paru-paru selanjutnya dalam jumlah rendah terdapat di ginjal, hati, dan otak. Paparan nikel (Ni) bisa terjadi melalui inhalasi, oral, dan kontak kulit . Paparan akut Ni dosis tinggi melalui inhalasi bisa mengakibatkan kerusakan berat pada paru-paru dan ginjal serta gangguan gastrointestinal berupa mual, muntah, dan diare. Paparan kronis Ni secara inhalasi bisa mengakibatkan gangguan pada alat pernafasan, berupa asma, penurunan fungsi paru-paru, serta bronkitis. Paparan Ni lewat kulit secara

kronis bisa menimbulkan gejala, antara lain dermatitis nikel berupa eksema (kulit kemerahan, gatal) pada jari-jari, tangan, pergelangan tangan, serta lengan (Mukono, 2009).

Berdasarkan uji toksisitas akut pada hewan, diketahui bahwa tingkat toksisitas nikel bervariasi dipengaruhi oleh tingkat kelarutan senyawa Ni. Senyawa larut seperti nikel asetat lebih toksik dibandingkan senyawa Ni yang tidak larut, seperti *nickel powder*.

Darmono (1995) melaporkan bahwa dalam konsentrasi tinggi nikel di tanah berpasir merusak tanaman dan di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga. Lebih lanjut dikatakan bahwa nikel juga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, tetapi mereka biasanya mengembangkan perlawanan terhadap nikel setelah beberapa saat. Ketoksikan nikel pada kehidupan akuatik bergantung pada spesies, pH, kesadahan dan faktor lingkungan lain.

G. Kadmium (Cd)

Kadmium biasanya merupakan produk sampingan dari peristiwa peleburan dan refining bijih-bijih Zn (seng). Cd banyak digunakan sebagai stabilizer dalam pembuatan polivinil klorida, zat warna dalam industri baterai, pembuatan sel waston dalam dunia fotografi. Selain itu Cd juga banyak digunakan dalam industri-industri ringan, seperti pada mesin pengolahan roti, mesin pengolahan

ikan, mesin pengolahan air minum dan mesin industri tekstil meskipun dalam konsentrasi rendah (Pallar, 1994).

1. Sumber Pencemaran Logam Cd

Kandungan logam Cd dapat di jumpai di daerah-daerah penimbunan sampah dan aliran air hujan. Menurut *National Research Council* dalam Yuliasari (2003), sampah dari kota mengandung Cd yang cukup besar sehingga penggunaan sampah yang mengandung Cd tinggi untuk pemupukan tanaman, baik tanaman untuk manusia atau hewan memperlihatkan peningkatan kandungan Cd secara substansial ke dalam makanan hewan dan manusia.

Selain dari aktivitas manusia, organisme yang hidup di perairan tersebut juga dapat meningkatkan konsentrasi melalui biomagnifikasi. Biomagnifikasi adalah kemampuan yang dimiliki oleh organisme perairan untuk meningkatkan konsentrasi bahan pencemar baik dalam bentuk logam berat atau persenyawaan kimia beracun lainnya, yang melebihi keseimbangan penyerapan dalam tubuh organisme tersebut (Gobas *et al.*, 1999).

2. Toksisitas Logam Cd

Dampak keracunan Cd dapat menyebabkan tekanan darah tinggi, kerusakan jaringan testikular, kerusakan ginjal dan kerusakan sel darah merah.

Kemungkinan besar pengaruh toksisitas Cd disebabkan oleh interaksi antara Cd dan protein (metalotionin), sehingga menghambat aktivitas kerja enzim dalam tubuh. Peristiwa yang dipublikasikan secara luas akibat pencemaran logam Cd di

Jepang yaitu *itai-itai disease* di sepanjang sungai Jinzo di pulau Honsyu (Darmono, 1995).

3. Sifat Fisik dan Kimia Cd

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang luas di alam; logam ini bernomor atom 48; berat atom 112,40 dengan titik leleh 321°C dan titik didih 765°C. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai *Greenocckite* (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa *Spalerite* (ZnS). Kadmium merupakan logam lunak (*Ductile*) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amoniak. Di perairan Cd akan mengendap karena senyawa sulfitnya sukar larut (Pallar, 2004). Beberapa sifat fisik dari logam Cd dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat Fisik Logam Cd

Nomor atom	48
Titik lebur (⁰ C)	321,07
Kalor peleburan (kJ/mol)	6,21
Kalor penguapan (kJ/mol)	99,87
Kapasitas panas pada 25 ⁰ C (J/mol.K)	26,020
Konduktivitas termal pada 300 K (W/m K)	96,6
Ekspansi termal pada 25 ⁰ C (μm/m K)	30,8
Kekerasan (skala Brinell = Mpa)	203

H. Spektrofotometer Serapan Atom

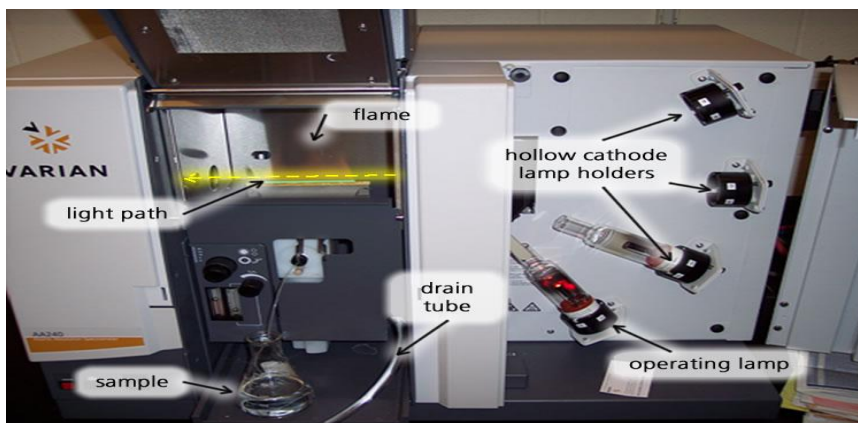
Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Ellwel, 1996).

1. Prinsip dasar

Jika cahaya dengan panjang gelombang resonansi dilewatkan nyala yang mengandung atom-atom yang bersangkutan, maka sebagian cahaya akan diserap, dan jauhnya penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom keadaan dasar yang berada dalam nyala. Cahaya pada panjang gelombang ini mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom yang mana transisi elektronik suatu atom bersifat spesifik. Dengan menyerap suatu energi, maka atom akan memperoleh energi sehingga suatu atom pada keadaan dasar dapat ditingkatkan energinya ke tingkat eksitasi. Hal ini merupakan dasar penentuan kuantitatif logam-logam dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS).

2. Instrumentasi Pada Spektrofotometer Serapan Atom

Instrumentasi spektrofotometer serapan atom disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrofotometer Serapan Atom (Anonim 3, 2010).

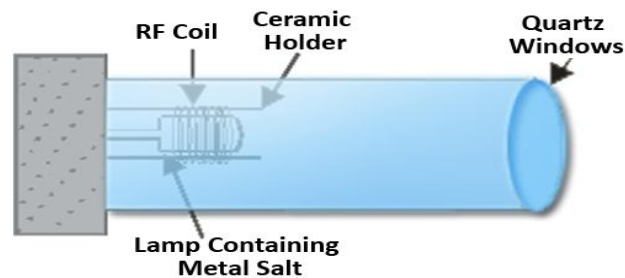
Spektrofotometer Serapan atom memiliki komponen-komponen sebagai berikut :

(Slavin, 1987).

a. Sumber Sinar

Sumber radiasi Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) adalah *Hallow Cathode Lamp* (HCL). Setiap pengukuran dengan SSA harus menggunakan *Hallow Cathode Lamp* khusus misalnya untuk menentukan konsentrasi tembaga dari suatu cuplikan, maka digunakan *Hallow Cathode* khusus untuk tembaga. *Hallow Cathode* akan memancarkan energi radiasi yang sesuai dengan energi yang diperlukan untuk transisi elektron atom. *Hallow Cathode Lamp* terdiri dari katoda cekung silindris yang terbuat dari unsur yang sama dengan unsur yang akan dianalisis dan anoda yang terbuat dari tungsten. Sumber radiasi lain yang sering dipakai adalah "*Electrodless Dischcharge Lamp*", lampu ini mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan *Hallow Cathode Lamp* (lampu katoda cekung),

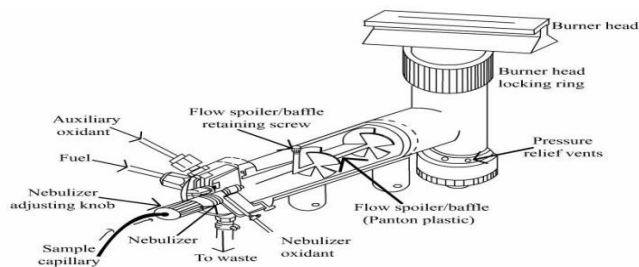
tetapi mempunyai *output* radiasi lebih tinggi dan biasanya digunakan untuk analisis unsur-unsur As dan Se, karena lampu HCL untuk unsur-unsur ini mempunyai signal yang lemah dan tidak stabil yang bentuknya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Electrodeless Discharge Lamp*

b. Sumber atomisasi

Sumber atomisasi dibagi menjadi dua yaitu sistem nyala dan sistem tanpa nyala. Kebanyakan instrumen sumber atomisasinya adalah nyala dan sampel diintroduksi dalam bentuk larutan. Sampel masuk ke nyala dalam bentuk aerosol. Aerosol biasa dihasilkan oleh nebulizer (pengabut) yang dihubungkan ke nyala oleh ruang penyemprot (*chamber spray*). Jenis nyala yang digunakan secara luas dan umum untuk pengukuran analitik adalah udara-asetilen dan nitrous oksida-asetilen. Dengan kedua jenis nyala ini, kondisi analisis yang sesuai untuk kebanyakan analit dapat ditentukan dengan menggunakan metode emisi, absorpsi dan juga fluoresensi. Diagram sumber atomisasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sumber Atomisasi (Slavin, 1978)

Adapun beberapa jenis nyala yang digunakan dalam proses atomisasi yaitu :

- Nyala udara - asetilen

Biasanya menjadi pilihan untuk analisis menggunakan SSA (Spektrofotometer Serapan Atom). Temperatur nyalanya yang lebih rendah mendorong terbentuknya atom netral dan dengan nyala yang kaya bahan bakar pembentukan oksida dari banyak unsur dapat diminimalkan.

- Nitrous oksida-asetilen

Suhu nyala ini sangat tinggi karena nitrous oksida mempunyai daya pereduksi yang kuat sehingga dapat digunakan untuk unsur yang sulit diuraikan oleh nyala lain. Biasanya digunakan untuk penentuan unsur-unsur yang mudah membentuk oksida dan sulit terurai. Hal ini disebabkan karena temperatur nyala yang dihasilkan relatif tinggi. Unsur-unsur tersebut adalah Al, B, Mo, Si, So, Ti dan V.

- Nyala Udara- Hidrogen

Dibanding dengan nyala udara- asetilen nyala ini mempunyai transmittan yang baik pada daerah panjang gelombang pendek yaitu untuk analisis spektrum pada daerah 230 nm. Nyala udara ini efektif untuk analisis unsur Pb, Cd, Sn, dan Zn.

- Nyala Argon- Hidrogen

Nyala ini mempunyai transmitan pada daerah panjang gelombang pendek, nyala ini sesuai untuk analisis unsur As (192,7 nm) dan Se (196 nm). Akan tetapi karena suhu nyala yang sangat rendah memungkinkan adanya interferensi yang besar.

c. Monokromator

Monokromator merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan radiasi yang tidak diperlukan dari spektrum radiasi lain yang dihasilkan oleh *Hallow Cathode Lamp*.

d. Detektor

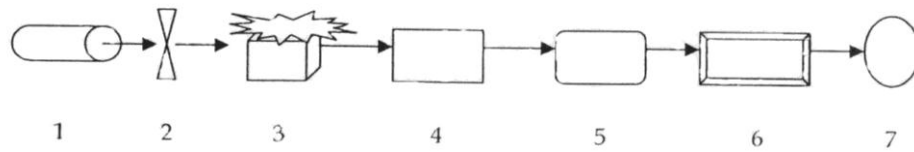
Detektor merupakan alat yang mengubah energi cahaya menjadi energi listrik, yang memberikan suatu isyarat listrik berhubungan dengan daya radiasi yang diserap oleh permukaan yang peka.

e. Sistem pengolah

Sistem pengolah berfungsi untuk mengolah kuat arus dari detektor menjadi besaran daya serap atom transmisi yang selanjutnya diubah menjadi data dalam sistem pembacaan.

f. Sistem pembacaan

Sistem pembacaan merupakan bagian yang menampilkan suatu angka atau gambar yang dapat dibaca oleh mata. Skema instrumentasi spektrofotometer serapan atom mulai dari sumber radiasi hingga recorder yang menampilkan sistem pembacaan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema Instrumentasi Spektrofotometer Serapan Atom

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1. Sumber sinar | 5. detektor |
| 2. Pemilah (<i>Chopper</i>) | 6. <i>Amplifier</i> |
| 3. Nyala | 7. <i>recorder</i> |
| 4. Monokromator | |

3. Analisis Kuantitatif

Pada dasarnya hubungan antara absorpsi atom dengan konsentrasi di dalam metode SSA dapat dinyatakan dengan hukum Lambert-Beer, yaitu secara matematika persamaannya adalah sebagai berikut:

$$I = I_0 e^{-abc}$$

$$\log\left(\frac{I_0}{I}\right) = a \cdot b \cdot c$$

$$A = a \cdot b \cdot c \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

I_0 : Interaksi cahaya yang datang (mula-mula)

I : Interaksi cahaya yang ditransmisikan

a : Absorpsitivitas (g/L)

b : Panjang jalan cahaya atau tebalnya medium penyerap (cm)

c : Konsentrasi atom yang mengabsorpsi

A : Absorbansi

Dari persamaan 1, nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi untuk panjang jalan penyerapan dan panjang gelombang tertentu. Ada dua cara untuk mengetahui konsentrasi cuplikan yang telah diketahui nilai absorbansinya yaitu :

1. Cara deret waktu dengan membandingkan nilai absorbansi terhadap Kurva kalibrasi dari standar-standar yang diketahui.
2. Cara penambahan standar dengan membandingkan konsentrasi dengan perpotongan grafik terhadap sumbu dengan konsentrasi dari data absorbansi.

I. Validasi Metode

Validasi metode analisis adalah suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu, berdasarkan percobaan laboratorium, untuk membuktikan bahwa parameter tersebut memenuhi persyaratan untuk penggunaannya. Parameter validasi metode antara lain :

1. Limit Deteksi

Batas deteksi atau limit deteksi adalah jumlah terkecil analit dalam sampel yang dapat dideteksi yang masih memberikan respon signifikan. Berdasarkan Batas deteksi, maka limit deteksinya dapat ditentukan dengan Persamaan 2.

$$Q = \frac{3 \times SD}{SI} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

LOD : *limit of detection* (limit deteksi)

K : 3

SD : simpangan baku respon analitik dari blangko

SI : *slope* (b pada persamaan garis $y = a + bx$)

2. Presisi (ketelitian)

Presisi merupakan ukuran derajat keterulangan dari metode analisis yang memberikan hasil yang sama pada beberapa perulangan, dinyatakan simpangan baku relatif (RSD) dan simpangan baku (SD). Metode dengan presisi yang baik ditunjukkan dengan simpangan baku relatif (RSD) < 5 %. Simpangan baku (SD) dan simpangan baku relatif (RSD) dapat ditentukan dengan Persamaan 3 dan 4.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(M - \bar{M})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

SD : Standar Deviasi (simpangan baku)

M : Konsentrasi hasil analisis

n : Jumlah pengulangan analisis

\bar{M} : konsentrasi rata-rata hasil analisis

$$RSD = \frac{SD}{\bar{M}} \times 100 \% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

RSD : simpangan baku relative

\bar{M} : konsentrasi hasil analisis

SD : Standar Deviasi

3. Kecermatan (Akurasi)

Akurasi adalah suatu kedekatan kesesuaian antara hasil suatu pengukuran dan nilai benar dari kuantitas yang diukur atau suatu pengukuran posisi yaitu seberapa dekat hasil pengukuran dengan nilai benar yang diperkirakan. Kecermatan

dinyatakan sebagai persen perolehan kembali (*Recovery*) analit yang ditambahkan. Persen perolehan kembali dapat ditentukan dengan Persamaan 5.

(AOAC, 1993) :

$$\text{Persen perolehan kembali} = \frac{(C_F - C_A)}{C^* A} \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

C_F : konsentrasi total sampel yang diperoleh dari pengukuran

C_A : konsentrasi sampel sebenarnya

C^*A : konsentrasi analit yang ditambahkan

4. Linieritas

Linieritas adalah kemampuan metode analisis memberikan respon proporsional terhadap konsentrasi analit dalam sampel. Linieritas suatu metode merupakan ukuran seberapa baik kurva kalibrasi yang menghubungkan antara respon (y) dengan konsentrasi (x).

Linieritas dapat diukur dengan melakukan pengukuran tunggal pada konsentrasi yang berbeda – beda. Data yang diperoleh selanjutnya diproses dengan metode kuadrat terkecil, untuk selanjutnya dapat ditentukan nilai slope, intersep, dan koefisien korelasinya.