

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Sekam Padi

Sekam padi merupakan bagian pelindung terluar yang merupakan hasil samping dari proses penggilingan padi. Dari proses penggilingan dihasilkan sebanyak 20-22% sekam padi. (Andreas dkk, 2016). Ketika sekam padi dibakar maka akan menghasilkan abu sekam padi.



Sumber: Litbang Pertanian, 2017

Gambar 1. Abu Sekam Padi

Abu hasil pembakaran sekam padi yang pada hakikatnya hanyalah limbah, merupakan sumber silika yang cukup tinggi. Tingginya kandungan silika pada abu sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia. Komposisi abu sekam padi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Abu Sekam Padi

Komponen	% Berat
SiO ₂	86,90 - 97,30
K ₂ O	0,58 - 2,50
N ₂ O	0,00 - 1,75
CaO	0,20 - 1,50
MgO	0,12 - 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 - 0,54
P ₂ O ₅	0,20 - 2,84
SO ₃	0,10 - 1,13
Cl	0,00 - 0,42

Sumber: Coniwanti, Srikandhy, dan Apriliyanni, 2017

Dari tabel 1 dapat dilihat hasil analisis komposisi kimia abu sekam padi menunjukkan kandungan silika (SiO_2) 86,90-97,30%. Tingginya kadar silika dalam abu sekam padi memberikan kemungkinan untuk memanfaatkan abu sekam padi sebagai bahan dasar untuk sintesis nanosilika.

2.2. Silika (SiO_2)

2.2.1 Definisi Silika

Silika adalah senyawa hasil polimerisasi asam silikat yang tersusun dari rantai satuan SiO_4 tetrahedral dengan formula umum SiO_2 . Silika merupakan komposisi paling besar dari sekam padi yaitu sekitar 90% dari total komposisi penyusun sekam padi lainnya (Sulastri dan Kristianingrum, 2010).

Silika yang dihasilkan dari abu sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika, yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya (Agung dkk, 2013).

2.2.2 Sifat Fisik dan Kimia Silika

1. Sifat Fisika Silika

Silika dalam bentuk amorf memiliki densitas sebesar $2,65 \text{ gr/cm}^3$ dengan modulus elastisitas sebesar $10 \times 10^6 \text{ psi}$. Kandungan unsur silikon (Si) dan oksigen (O) pada silika jenis ini adalah 46,7% dan 53,3%. Silika dari sekam padi memiliki luas permukaan yang sangat kecil, yaitu mencapai $66 \text{ m}^2/\text{g}$ apabila tanpa melakukan perlakuan khusus terhadap silika yang diperoleh. Hal ini disebabkan jumlah pori-pori dari sekam padi sedikit sehingga permukaan silika menyempit. Selain itu hal ini disebabkan ukuran diameter silika yang sangat kecil bahkan tidak dapat ditentukan. Silika tidak larut dalam air dingin, air panas maupun alkohol tetapi dapat larut dalam HF (Priyanto, 2015).

Secara umum sifat fisika silika adalah sebagai berikut:

Nama IUPAC	: Silikon dioksida
Nama lain	: Kuarsa, Silika, Silikat oksida, Silikon (IV) oksida
Rumus molekul	: SiO ₂
Massa molar	: 60,08 g/mol
Penampilan	: Kristal Transparan
Kepadatan	: 2,648 g/cm ³
Titik lebur	: 1600-1725°C
Titik didih	: 2230°C

(Priyanto, 2015).

2. Sifat Kimia Silika

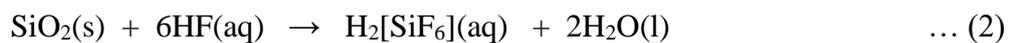
Senyawa silika mempunyai berbagai sifat kimia antara lain sebagai berikut:

a. Reaksi dengan Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali asam hidrof luorida seperti reaksi berikut:



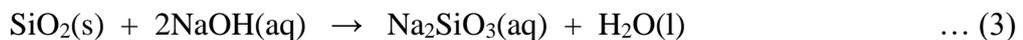
Dalam asam hidrof luorida berlebih reaksinya menjadi:



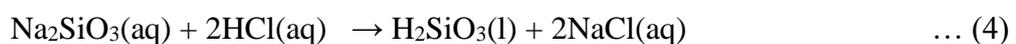
(Priyanto, 2015)

b. Reaksi dengan Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksida alkali.



Secara komersial, silika dibuat dengan mencampurkan larutan natrium silikat dengan suatu asam mineral. Reaksi ini menghasilkan suatu dispersi peka yang akhirnya memisahkan partikel dari silika terhidrat, yang dikenal dengan silika hidrosol atau asam silikat yang kemudian dikeringkan pada suhu 110°C agar terbentuk silika gel. Reaksi yang terjadi:





Tabel 2. Karakteristik Fisika, Mekanika, Termal, dan Sifat Elektrik Silika Amorf dan Silika Kristal

No.	Parameter	Satuan	Silika Amorf	Silika Kristal
1.	Densitas	g/cm ³	2,65	2,2
2.	Konduktivitas Termal	W/mK	1,3	1,4
3.	Koefisien ekspansi termal	K ⁻¹	12,3.10 ⁻⁶	0,4.10 ⁻⁶
4.	Kekuatan tarik	Mpa	55	110
5.	Kekuatan desak	Mpa	2070	690-1380
6.	Rasio poisson's		0,17	0,165
7.	Kekuatan retak	Mpa	-	0,79
8.	Modulus elastisitas	Mpa	70	73
9.	Daya tahan kejut termal		Baik sekali	Baik sekali
10.	Permitivitas (ϵ)		3,8-5,4	3,8
11.	Faktor kehilangan		0,0015	-
12.	Kekuatan bidang dielektrik	kV/mm	15,0-25,0	15,0-40,0
13.	Resistivitas	Ωm	10 ¹² -10 ¹⁶	>10 ¹⁸

Sumber: Pahlepi, 2013

2.3 Teknologi Nano

Nano merupakan satuan panjang sebesar sepemiliar meter ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nano berasal dari kata Yunani yang berarti kerdil, kemudian diturunkan menjadi kata nanometer. Jadi, teknologi nano adalah teknologi pada skala nanometer.

Secara umum, sintesis partikel nano terbagi dalam dua pendekatan. Pendekatan pertama adalah memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer. Pendekatan ini disebut pendekatan *top-down*. Pendekatan kedua adalah memulai dari atom-atom atau molekul-molekul yang membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki. Pendekatan ini disebut *bottom-up*. Kedua pendekatan tersebut berperan sangat penting dalam teknologi nano.

Keunggulan pendekatan *top-down* adalah kemampuannya untuk menghasilkan sifat atau kesatuan pada suatu lokasi yang tepat, namun pendekatan ini memiliki kelemahan yaitu menyebabkan terjadinya tekanan internal di samping kerusakan permukaan dan kontaminasi. Sebaliknya, pendekatan *bottom-up* mempunyai kesempatan yang lebih baik untuk memperoleh struktur nano

dengan cacat lebih sedikit dan komposisi kimia yang lebih homogen. (Ariningsih, 2016).

2.4 Nanosilika

2.4.1 Definisi Nanosilika

Nanopartikel silika merupakan silika yang dibuat dalam skala nano (10^{-9} m) yang saat ini penggunaannya pada bidang industri semakin meningkat. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Silika banyak dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil dan dapat dimanfaatkan juga sebagai sumber energi (Andreas dkk, 2016).



Gambar 2. Nanosilika

2.4.2 Metode Sintesis Nanosilika

Sintesis silika memiliki beberapa macam metode untuk sampai pada skala nanometer antara lain metode sol gel, dan metode kopresipitasi. (Susilo dkk, 2016).

1. Metode sol gel

Metode sol gel adalah proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana pada proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel) (Fernandez, 2011). Metode sol gel memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan metode sol gel dibandingkan dengan metode konvensional antara lain:

- a. Kehomogenan yang lebih baik
- b. Kemurnian yang tinggi
- c. Suhu relatif rendah

- d. Tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa

Kekurangan metode sol gel, antara lain:

- a. Penyusutan yang besar selama proses pengeringan
- b. Sisa hidroksil dan karbon
- c. Menggunakan pelarut organik yang berbahaya bagi kesehatan

Dalam proses sol-gel, ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam menghasilkan produk yang diinginkan, yaitu:

- a. Senyawa

Senyawa yang digunakan sebagai bahan awal pada reaksi hidrolisis dan kondensasi disebut prekursor. Persyaratan umum dari prekursor yang digunakan adalah harus dapat larut dalam media reaksi dan harus cukup reaktif dalam pembentukan gel. Perbedaan senyawa alkoksida yang digunakan sebagai prekursor dalam proses sol-gel akan memberikan perbedaan yang jelas pada densitas, ukuran pori dan luas permukaan gel.

- b. Katalis

Penggunaan katalis menyebabkan reaksi hidrolisis menjadi lebih cepat dan sempurna. Katalis yang umum digunakan dalam reaksi pembentukan gel adalah asam-asam anorganik, seperti: HCl, HNO₃ dan H₂SO₄. Di samping itu, asam-asam organik juga dapat digunakan sebagai katalis, seperti: asam asetat atau pembentukan gel dan sifat fisik gel. Namun demikian, katalis tidak diperlukan dalam reaksi kondensasi.

- c. Pelarut

Pada tahap awal pelarut digunakan untuk menghomogenkan campuran bahan dasar dan air karena sifat kepolarannya berbeda. Pelarut berfungsi untuk menghalangi pemisahan fasa cair-cair pada waktu reaksi hidrolisis dan mengontrol konsentrasi logam. Pelarut yang umum digunakan dalam reaksi pembentukan gel adalah alkohol. Hal ini disebabkan karena alkohol mempunyai tekanan uap yang lebih tinggi pada temperatur kamar.

- d. Temperatur

Temperatur dalam proses sol-gel akan mempengaruhi kecepatan pembentukan gel. Proses sol-gel yang telah dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi dari

temperatur kamar menyebabkan laju hidrolisis akan menjadi cepat dan juga menyebabkan gel cepat terbentuk.

2. Metode kopresipitasi

Metode kopresipitasi adalah salah satu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya, produk dari metode ini memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan metode sol gel. Beberapa zat yang paling umum digunakan sebagai zat pengendap dalam kopresipitasi antara lain hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat (Fernandez, 2011).

Dalam penelitian (Hayati dan Astuti, 2015) ukuran nanopartikel silika yang sudah pernah diteliti menghasilkan ukuran 25-80 nm dengan menggunakan metode kopresipitasi sedangkan dengan menggunakan metode sol gel pada penelitian (Ardiansyah dan Wahyuni, 2015) menghasilkan ukuran 13,36-50 nm. Nanopartikel silika memiliki beberapa sifat di antaranya luas permukaan besar, ketahanan panas yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi dan elastisitasnya rendah. Nanopartikel silika dapat digunakan sebagai prekursor katalis, adsorben dan filter komposit (Susilo dkk, 2016).

2.5 Adsorpsi

2.5.1 Definisi Adsorpsi

Adsorpsi didefinisikan sebagai proses terserapnya molekul adsorbat pada permukaan padat atau zat cair. Dalam adsorpsi, molekul-molekul yang teradsorpsi tersebut akan menahan molekul-molekul lain sehingga akhirnya akan menumpuk membentuk suatu lapisan multimolekul.

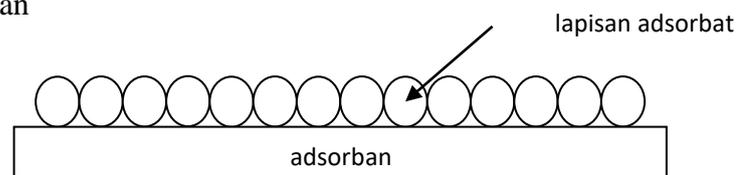
Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia maka pada permukaan adsorben akan terbentuk suatu lapisan atau layer, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh batuan adsorben sehingga efektifitasnya berkurang. Hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi per satuan luas atau per satuan berat adsorban, dengan konsentrasi zat terlarut pada

temperatur tertentu disebut isoterm adsorpsi. Umumnya terdapat 2 jenis isoterm adsorpsi, yaitu:

a. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori *isotherm* adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan



Sumber: Handayani dan sulistiyono, 2009

Gambar 3. Pendekatan Isoterm Adsorpsi Langmuir

Dimana persamaan Langmuir ditulis sebagai berikut:

$$X_m / m = a \cdot C / (1 + b \cdot c) \quad \dots(6)$$

$$m \cdot c / X_m = 1/a + (b/a) \cdot C \quad \dots(7)$$

Dengan membuat kurva $m \cdot c / X_m$ terhadap C akan diperoleh persamaan linear dengan intersep $1/a$ dan kemiringan (b/a) , sehingga nilai a dan b dapat dihitung, dari besar kecilnya nilai a dan b menunjukkan daya adsorpsi.

b. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorban merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung (*charcoal*) dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi.

Pendekatan *isotherm* adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika y adalah berat zat terlarut per gram adsorban dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka

$$y = k c^{1/n} \quad \dots (8)$$

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad \dots (9)$$

Keterangan:

y = X_m / m

X_m = Berat zat yang diadsorpsi

m = berat adsorben

C = konsentrasi zat

dimana k dan n adalah konstanta empiris. Plot $\log y$ terhadap $\log c$ atau $\log P$ menghasilkan kurva linier. Dengan menggunakan kurva tersebut, maka nilai k dan n dapat ditentukan.

2.5.2 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

- a. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Gaya ini disebut gaya Van der Waals sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolekular adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri.
- b. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat daripada adsorpsi fisika (Mirandha, 2016).

2.5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Dalam proses adsorpsi banyak faktor yang dapat mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat diserap. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi sebagai berikut:

a. Agitasi

Agitasi adalah keadaan bergolak atau bisa disebut turbulen. Laju proses adsorpsi dikendalikan oleh difusi lapisan dan difusi pori, tergantung pada keadaan larutan, tenang atau bergolak/turbulen.

b. Karakteristik Adsorben

Karakteristik adsorben yang mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben maka laju adsorpsi akan semakin cepat, sementara semakin luas permukaan adsorben maka jumlah partikel adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

c. Kelarutan Adsorbat

Proses adsorpsi terjadi saat adsorbat terpisah dari larutan dan menempel di permukaan adsorben. Partikel adsorbat yang terlarut memiliki afinitas yang kuat. Tetapi ada pengecualian, beberapa senyawa yang sedikit larut sulit untuk diserap, sedangkan ada beberapa senyawa yang sangat larut namun mudah untuk diserap.

d. Ukuran Pori Adsorben

Ukuran pori merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena senyawa adsorbat harus masuk ke dalam pori adsorben. Proses adsorpsi akan lancar apabila ukuran pori dari adsorben cukup besar untuk dapat memasukan adsorbat ke dalam pori adsorben. Kebanyakan air limbah mengandung berbagai ukuran partikel adsorbat. Keadaan ini dapat merugikan, karena partikel yang lebih besar akan menghalangi partikel kecil untuk dapat masuk ke dalam pori adsorben. Akan tetapi gerakan konstan dari partikel adsorbat dapat mencegah terjadinya penyumbatan. Gerakan partikel kecil yang cepat membuat partikel adsorbat yang lebih kecil akan terdifusi lebih cepat ke dalam pori.

e. pH

pH memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat proses adsorpsi, disebabkan ion hidrogen dapat menyerap dengan kuat, selain itu pH juga dapat mempengaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi

pada suasana pH tinggi. Nilai optimum pH bisa ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium.

f. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi laju adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu pula sebaliknya. Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

g. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda. Kondisi ekuilibrium akan dicapai pada waktu yang tidak lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu (Mirandha, 2016).

2.5.4 Metode Adsorpsi

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu statis (batch) dan dinamis (kolom).

- a. Cara statis (batch) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan atau dekantasi. Komponen yang telah terikat pada adsorben dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu dan volumenya lebih kecil dari volume larutan mula-mula.
- b. Cara dinamis (kolom) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumenya lebih kecil (Apriliani, 2010).

2.6 Adsorben

2.6.1 Definisi Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (Saragih, 2009). Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang

sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Oleh karena pori-pori biasanya sangat kecil maka luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar daripada permukaan luar dan bisa mencapai 2000 m²/g. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya.

2.6.2 Macam-macam Adsorben

Adsorben yang digunakan secara komersial dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok polar dan non polar (Saragih, 2009).

a. Adsorben Polar

Adsorben polar disebut juga hydrophilic. Jenis adsorben yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah silika gel, alumina aktif, dan zeolit.

b. Adsorben non polar

Adsorben non polar disebut juga hydrophobic. Jenis adsorben yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

2.7 Kontaminasi Logam Berat dalam Limbah

Logam berat adalah komponen alamiah lingkungan yang mendapatkan perhatian berlebih akibat bahaya yang mungkin ditimbulkan, berbahaya terutama apabila diserap oleh tanaman, hewan atau manusia dalam jumlah besar. Beberapa logam berat yang beracun meliputi As, Cd, Cu, Pb, Hg, Ni dan Zn (Said, 2010). Namun demikian beberapa logam berat merupakan unsur esensial bagi tanaman atau hewan. Logam berat berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan efek biotoksik pada manusia yang kemudian menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Organisasi kesehatan dunia (*World Health Organization/WHO*) menemukan bahaya kesehatan yang dapat ditimbulkan dari keberadaan logam berat di rantai makanan (Srivastava & Goyal, 2010).

Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi di antara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman.

Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman. Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan.

Menurut Soepardi (1983) pencemaran tanah merupakan keadaan yang terjadi saat bahan kimia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, dan penggunaan pestisida. Selain itu, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah juga memberikan kontribusi besar dalam pencemaran lingkungan. Kisaran logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kisaran Logam Berat sebagai Pencemar dalam Tanah dan Tanaman

Unsur	Kisaran Kadar Logam Berat (ppm)	
	Tanah	Tanaman
As	0,1-40	0,1-5
B	2-100	30-75
F	30-300	2-20
Cd	0,1-7	0,2-0,8
Mn	100-4000	15-200
Ni	10-1000	1
Zn	10-300	15-200
Cu	2-100	4-15
Pb	2-200	0,1-10

Sumber: Juhriah dan Alam, 2016

2.7.1 Logam Berat Tembaga (Cu)

Tembaga yang memiliki nama kimia cuprum dilambangkan dengan Cu dalam sistem periodik. Tembaga umumnya berwarna merah dan berbentuk kristal. Berat jenis tembaga adalah $8,9 \text{ kg/dm}^3$ dengan titik lebur 1083°C . Dalam tabel periodic unsur-unsur kimia, Cu merupakan salah satu logam transisi yang berada pada golongan IB, periode 4 dengan nomor atom 29 dan mempunyai massa atom relatif (Ar) $63,546 \text{ g/mol}$ (Dwijayanti, 2016).

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*nondegradable*) dan mudah diadsorpsi. Sifat logam berat sangat unik karena tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan di antaranya:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air).
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang.
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia.
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Babich dan Stotzky (1978) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, kadar unsur lain (Pratikto, 2014). Logam Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga (Cu) yang masuk dalam ketiga strata lingkungan tersebut dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam tembaga ke dalam strata lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 2008).

Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air yang mengakibatkan defisiensi Cu pada tanaman. Variasi kualitas tanah mempengaruhi pengambilan Cu oleh akar tanaman. Pada tanaman, Cu diakumulasi di akar dan dinding sel serta didistribusikan melalui berbagai cara.

Logam Cu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, maka apabila konsentrasinya cukup besar logam ini akan meracuni manusia. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah-muntah, rasa terbakar di daerah eksofagus

dan lambung, kolik, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati dan koma. Konsentrasi Cu 2,5 – 3,0 ppm dalam badan perairan dapat membunuh ikan, bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Cu dapat mempengaruhi sistem enzim, yaitu dengan menghambat enzim dihydrolipoyl dehydrogenase yang akan menghambat system pyruvate dehydrogenase sehingga mengganggu metabolisme energi dalam sel (Widowati dkk, 2008).

2.7.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah dapat digolongkan dalam sifat fisika, kimia dan biologi. Dengan mengetahui jenis polutan yang terdapat dalam air limbah, dapat ditentukan unit proses yang dibutuhkan sebagai berikut:

a. Karakter Fisika

Karakter fisika air limbah meliputi temperatur, bau, warna, dan padatan. Temperatur menunjukkan derajat atau tingkat panas air limbah yang diterapkan ke dalam skala. Bau merupakan parameter yang subjektif. Pengukuran bau tergantung pada sensitivitas indera penciuman seseorang. Adanya bau yang lain pada air limbah, menunjukkan adanya komponen-komponen lain di dalam air tersebut. Misalnya, bau seperti telur busuk menunjukkan adanya hidrogen sulfida. Pada air limbah, warna biasanya disebabkan oleh adanya materi dissolved, suspended, dan senyawa-senyawa koloidal, yang dapat dilihat dari spektrum warna yang terjadi. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*.

b. Karakter Kimia

Karakter kimia air limbah meliputi senyawa organik dan senyawa anorganik. Senyawa organik adalah karbon yang dikombinasi dengan satu atau lebih elemen-elemen lain (O, N, P, H). Saat ini terdapat lebih dari dua juta senyawa organik yang telah diketahui. Senyawa anorganik terdiri atas semua kombinasi elemen yang bukan tersusun dari karbon organik. Karbon anorganik dalam air limbah pada umumnya terdiri atas sand, grit, dan mineral-mineral, baik

suspended maupun *dissolved*. Misalnya: klorida, ion hidrogen, nitrogen, fosfor, logam berat dan asam.

c. Karakter Biologi

Mikroorganisme ditemukan dalam jenis yang sangat bervariasi hampir dalam semua bentuk air limbah, biasanya dengan konsentrasi 10⁵-10⁸ organisme/ml. Kebanyakan merupakan sel tunggal yang bebas ataupun berkelompok dan mampu melakukan proses kehidupan (tumbuh, metabolisme, dan reproduksi). Secara tradisional, mikroorganisme dibedakan menjadi binatang dan tumbuhan. Namun, keduanya sulit dibedakan. Oleh karena itu, mikroorganisme kemudian dimasukkan ke dalam kategori protista, status yang sama dengan binatang ataupun tumbuhan. Virus diklasifikasikan secara terpisah. Keberadaan bakteri dalam unit pengolahan air limbah merupakan kunci efisiensi proses biologis. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air (Syafitri, 2017).

2.7.3 Pengolahan Limbah

Pengolahan limbah yang mengandung logam berat dapat dilakukan secara kimia, fisika, biologi ataupun gabungan dari ketiganya. Pengolahan secara kimia dilakukan dengan koagulasi, flokulasi dan netralisasi. Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan penambahan koagulan dan flokulan untuk menstabilkan partikel-partikel koloid dan padatan tersuspensi membentuk gumpalan yang dapat mengendap oleh gaya gravitasi. Proses gabungan secara kimia dan fisika seperti pengolahan limbah cair secara kimia (koagulasi) yang diikuti pengendapan lumpur atau dengan cara oksidasi menggunakan ozon.

Pengolahan limbah secara fisika dapat dilakukan dengan cara adsorpsi, filtrasi dan sedimentasi. Adsorpsi dilakukan dengan penambahan adsorban, karbon aktif atau sejenisnya. Filtrasi merupakan proses pemisahan padat-cair melalui suatu alat penyaring (filter). Sedimentasi merupakan proses pemisahan padat-cair dengan cara mengendapkan partikel tersuspensi dengan adanya gaya gravitasi.

Pengolahan limbah cair secara biologi adalah pemanfaatan aktivitas mikroorganisme menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air

limbah. Dari ketiga cara pengolahan di atas masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pengolahan limbah cair secara kimia akan menghasilkan lumpur dalam jumlah yang besar, sehingga menimbulkan masalah baru untuk penanganan lumpurnya. Oksidasi menggunakan ozon selain biaya tinggi juga tidak efektif untuk mereduksi sulfuryang ada di dalam limbah. Penggunaan karbon aktif dalam pengolahan limbah yang mengandung zat warna menghasilkan persen penurunan zat warna tinggi, tetapi harga karbon aktif relatif mahal dan juga akan menambah ongkos peralatan untuk regenerasi karbon aktif tersebut.

2.8 Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometri serapan atom, sering disingkat sebagai AAS atau SSA adalah suatu bentuk spektrofotometri dimana spesies pengabsorbsiannya adalah atom-atom. Prinsip dasar SSA adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. SSA merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur yang didasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap atom. Komponen kunci pada metode ini adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel.



Sumber: Laboratorium Kimia Analitik Instrumen POLSRI, 2019

Gambar 4. Alat AAS

Cara kerja SSA berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung di dalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorpsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya. Jika radiasi elektromagnetik dikenakan kepada suatu atom maka akan terjadi eksitasi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi, setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Setelah mengalami eksitasi maka akan dipancarkan energi, tetapi yang akan dideteksi oleh detektor adalah cahaya yang diserap. Spektroskopi serapan atom terdiri dari sumber cahaya, ruang sampel dan detektor. Dalam metode ini, cahaya dari sumber langsung diteruskan dari sampel ke detektor. Semakin besar jumlah sampel, maka semakin besar pula serapan yang dihasilkan sampel. Sumber cahayanya adalah lampu berupa katoda yang terdiri dari bagian-bagian yang teratur. Setiap unsur membutuhkan lampu katoda yang berbeda. Lampu tersebut ditempatkan di dalam ruang khusus lampu. Ruang sampel adalah pembakar sejak sumber api menyerap radiasi atom. Sinyal dari detektor dipindahkan ke komputer, dan hasilnya dapat dilihat di monitor alat SSA. Untuk sampel yang akan dianalisis di dalam pembakar, dapat dilakukan persiapan larutan sampel di dalam pelarut yang cocok, kebanyakan dalam air. Gas dari panas mengalir ke dalam pembakar sehingga menarik cairan ke dalam tabung dari ruang sampel. Cairan ini diubah dimana ion mengalami atomisasi. Atom menyerap cahaya dari sumber. Analisis kuantitatif ini bisa dicapai dengan kadar serapan larutan dengan konsentrasi yang diketahui. Kurva kalibrasi dan persamaan garis bisa digunakan untuk menentukan konsentrasi berdasarkan serapannya.

2.9 Scanning Electronic Microscopy (SEM)

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *scanning electron microscope* (SEM). *Scanning Electron Microscope* adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang

memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, dilengkapi dengan EDX (*Electron Dispersive X ray Spectroscopy*) dan dapat mendeteksi unsur-unsur dalam material juga permukaan yang diamati harus penghantar elektron. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm.



Sumber: Laboratorium Forensik Polda Sumsel, 2019

Gambar 5. Alat SEM

Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

SEM mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokus jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi. SEM juga menghasilkan bayangan dengan resolusi tinggi, yang berarti mendekati bayangan yang dapat diuji dengan perbesaran tinggi. Kombinasinya adalah perbesaran yang lebih tinggi, dark field, resolusi

yang lebih besar, dan komposisi serta informasi kristallografi. Sem terdiri dari *electron optic columb* dan *electron console*. sampel sem ditempatkan pada specimen chamber di dalam *electron optic colomb* dengan tingkat kevakuman yang tinggi yaitu sekitar 2×10^{-6} Torr. Sinar electron yang dihasilkan dari electron gun akan dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar electron ini akan melewati *optic columb* yang berfungsi untuk memfokuskan sinar electron hingga mengenai sampel tersebut (Prasetyo, 2011).

Pada pengambilan data dengan alat SEM-EDX, sampel bubuk yang telah diletakkan di atas specimen holder dimasukkan ke dalam specimen chamber, kemudian dimasukkan dalam alat SEM-EDX dan alat siap untuk dioperasikan. Dalam pengukuran SEM-EDX untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar electron yang di hasilkan dari area gun dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar electron ini selanjutnya difokuskan menggunakan *electron optic columb* sebelum sinar elektron tersebut membentuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron membentuk sampel, akan terjadi beberapa interaksi – interaksi pada sampel yang disinari. Interaksi – interaksi yang terjadi tersebut selanjutnya akan dideteksi dan diubah ke dalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk grafik oleh analisis EDX.