

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sampah belakangan ini menjadi suatu masalah yang tidak dapat diabaikan lagi. Tumpukan sampah yang "menggunung" di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sukawinatan Palembang mulai rata karena Dinas Kebersihan setempat telah menata secara baik. Lapisan sampah dipisahkan dengan tanah yang berfungsi mempercepat proses sampah menjadi humus. TPA di daerah Sukawinatan Palembang memiliki luas 25 hektar namun hampir 18 Ha yang telah ditata. Menurut Amri Yunus (2013), Kepala Bidang Penanggulangan Kebersihan Dinas Kebersihan Kota (DKK) Palembang, setiap hari sampah yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) mencapai 500 ton. Jumlah sampah yang masuk mudah dihitung dengan menghitung truk yang masuk ke TPA, dimana satu truk sampah memuat sekitar 2 hingga 3 ton (Dinas Kebersihan Kota Palembang, 2012).

Timbulan sampah yang berasal dari limbah domestik dapat mengganggu/mencemari karena adanya lindi (air sampah), bau dan estetika. Timbulan sampah juga menutupi permukaan tanah sehingga tanah tidak bisa dimanfaatkan. Timbulan sampah bisa menghasilkan gas nitrogen dan asam sulfida, adanya zat *mercury*, *chrom* dan arsen pada timbulan sampah bisa timbulkan pencemaran tanah/gangguan terhadap bio tanah, tumbuhan, merusak struktur permukaan dan tekstur tanah. Limbah lainnya adalah oksida logam, baik yang terlarut maupun tidak menjadi racun di permukaan tanah (Samorn, 2002).

2.1 Lindi

2.1.1 Pengertian Lindi

Lindi yaitu cairan yang dikeluarkan dari sampah akibat proses degradasi biologis. Lindi juga dapat pula didefinisikan sebagai air atau cairan lainnya yang telah tercemar sebagai akibat kontak dengan sampah (Rustiawan *et al.*, 1993).

Lindi didefinisikan sebagai suatu cairan yang dihasilkan dari pemaparan air hujan pada timbulan sampah. Dalam kehidupan sehari-hari lindi ini dapat

dianalogikan seperti seduhan air teh. Lindi membawa materi tersuspensi dan terlarut yang merupakan produk degradasi sampah. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut. Air lindi pada umumnya mengandung senyawa-senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, sulfat, tanat dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, kalsium, magnesium, khlor, sulfat, fosfat, fenol, nitrogen dan senyawa logam berat) yang tinggi. Konsentrasi dari komponen-komponen tersebut dalam air lindi bisa mencapai 1000 sampai 5000 kali lebih tinggi dari pada konsentrasi dalam air tanah (Maramis, 2008).

Cairan pekat dari TPA yang berbahaya terhadap lingkungan dikenal dengan istilah lindi atau air lindi. Cairan ini berasal dari proses perkolasi/percampuran (umumnya dari air hujan yang masuk ke dalam tumpukan sampah), sehingga bahan-bahan terlarut dari sampah akan terekstraksi atau berbaur. Cairan ini harus diolah dari suatu unit pengolahan aerobik atau anaerobik sebelum dibuang ke lingkungan. Tingginya kadar COD dan ammonia pada lindi sampah (bisa mencapai ribuan mg/L), sehingga pengolahan lindi sampah tidak boleh dilakukan sembarangan (Machdar, 2008).

Menurut Aziz (2010), lindi adalah larutan yang terjadi akibat bercampurnya air limpasan hujan (baik melalui proses infiltrasi maupun proses perkolasi) dengan sampah yang telah membusuk dan mengandung zat tersuspensi yang sangat halus serta mikroba patogen. Lindi dapat menyebabkan kontaminasi yang potensial baik bagi air permukaan maupun air tanah. Hal ini diakibatkan karena kandungan BOD yang tinggi yaitu sekitar 3.500 mg/L.

Jadi dapat disimpulkan bahwa lindi adalah cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas zat-zat terlarut. Cairan tersebut mengandung bahan organik yang tinggi sebagai hasil dekomposisi sampah dan juga berasal dari proses infiltrasi dari air limpasan.

2.1.2 Proses Pembentukan Lindi Sampah

TPA sampah merupakan suatu tempat pembuangan sampah bagi penduduk di kota maupun di pinggiran kota. Setiap hari berbagai jenis sampah penduduk diangkut dari bak-bak sampah yang terdapat di kota dan pinggiran kota, kemudian ditumpuk di TPA. Beberapa bahan organik yang ada di TPA sampah bersifat mudah urai (*biodegradable*) umumnya tidak stabil dan cepat menjadi busuk karena mengalami proses degradasi menghasilkan zat-zat hara, zat-zat kimia toksik, dan bahan-bahan organik sederhana. Sampah pada timbulannya akan mengalami proses dekomposisi yang ditandai dengan perubahan fisis, biologis, dan kimiawi. Selanjutnya akan menimbulkan bau yang sangat menyengat dan mengganggu (Samorn, 2002).

Lindi terbentuk di setiap lokasi pembuangan sampah. Pembentukan lindi merupakan hasil dari infiltrasi dan perlokasi (perembesan air dalam tanah) dari air hujan, air tanah, air limbah atau air banjir yang menuju dan melalui lokasi pembuangan sampah. Lindi memiliki karakteristik tertentu, hal ini disebabkan limbah yang dibuang pada lokasi pembuangan sampah berasal dari berbagai sumber yang berbeda dengan tipe limbah yang berbeda pula. Menurut Aziz (2010), dekomposisi yang terjadi pada TPA sampah dipengaruhi oleh pemadatan, kelembaban, kehadiran materi penghambat, laju pengaliran air, temperatur, tersedianya O₂, populasi mikrobiologis yang dipengaruhi keadaan tanah penutup, dan tipe air sintesa yang terjadi, sifat-sifat heterogenisasi sampah, sifat-sifat fisik, kimiawi, dan biologis.

Iklm merupakan faktor penting yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas lindi. Hujan menjadi *fase transport* untuk pencucian dan migrasi kontaminan dari tumpukan sampah, juga mempengaruhi biologis. Demikian halnya dengan umur tumpukan sampah, juga mempengaruhi kualitas lindi dan gas yang terbentuk. Perubahan kualitas lindi dan gas menjadi parameter utama untuk mengetahui tingkat stabilisasi tumpukan sampah. Kulikowska dan Kilimiuk (2008), melaporkan bahwa polutan utama dalam lindi adalah bahan organik dan amonia, dimana jika usia TPA meningkat maka konsentrasi organik (COD) dalam lindi menurun dari 1800 mg/L pada tahun kedua dan pada tahun keenam menurun

menjadi 610 mg/L. Sementara itu, produksi air lindi akan berlangsung semenjak suatu tempat pembuangan akhir digunakan sampai sekitar 5 sampai 6 tahun setelah tempat pembuangan akhir sampah dinyatakan ditutup.

Tabel 1. Komposisi Lindi dari Tempat Pembuangan Akhir Secara Umum

Parameter	Kisaran
pH	6,2 – 7,4
COD	66 – 11.600 mg/L
BOD	< 2 – 8000 mg/L
Sulfat	56 – 456 mg/L
Cadmium (Cd)	< 0,005 – 0,01 mg/L
Plumbum (Pb)	< 0,05 – 0,22 mg/L
Chromium (Cr)	< 0,05 – 0,14 mg/L

Sumber : *Laboratorium Lingkungan Hidup, 2010.*

2.1.3 Parameter Fisika dan Kimia Lindi

2.1.3.1 Parameter Fisika

a. Suhu

Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Peningkatan suhu dapat mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga dapat menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, seperti O₂, CO₂, dan N₂ (Effendi, 2003).

b. TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan Total Tersuspensi (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1µm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 µm. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2003).

2.1.3.2 Parameter Kimia

a. pH

Nilai pH menunjukkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hidrogen dalam air. Kemampuan air untuk mengikat atau melepaskan sejumlah ion hidrogen akan

menunjukkan apakah perairan tersebut bersifat asam atau basa. Nilai pH air lindi pada tempat pembuangan sampah perkotaan berkisar antara 1,5 – 9,5 (Barus, 2002).

b. DO (*Dissolved oxygen*)

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) merupakan konsentrasi gas oksigen yang terlarut dalam air. Faktor yang mempengaruhi jumlah oksigen terlarut di dalam air adalah jumlah kehadiran bahan organik, suhu, aktivitas bakteri, kelarutan, fotosintesis dan kontak dengan udara (Effendi, 2003).

c. BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*)

Biochemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terdapat dalam air pada keadaan aerobik yang diinkubasi pada suhu 20°C selama 5 hari, sehingga sering disebut BOD₅. Nilai BOD₅ ini juga digunakan untuk menduga jumlah bahan organik di dalam air limbah yang dapat dioksidasi dan akan diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses biologi (Fathiras, 2011).

d. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD menyatakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik yang terdapat di perairan, menjadi CO₂ dan H₂O. Pada prosedur penentuan COD, oksigen yang dikonsumsi setara dengan jumlah dikromat yang diperlukan dalam mengoksidasi air sampel (Boyd, 1982). Bila BOD memberikan gambaran jumlah bahan organik yang dapat terurai secara biologis (bahan organik mudah terurai, *biodegradable organic matter*), maka COD memberikan gambaran jumlah total bahan organik yang mudah terurai maupun yang sulit (Hariyadi, 2001).

e. Amonia total

Amonia pada perairan dihasilkan oleh proses dekomposisi, reduksi nitrat oleh bakteri, kegiatan pemupukan dan ekskresi organisme yang ada di dalamnya. Amonia (NH₃) yang disebut juga nitrogen amonia dihasilkan dari pembusukan

zat-zat organik oleh bakteri. Setiap amonia yang dibebaskan ke suatu lingkungan akan membentuk reaksi keseimbangan dengan ion amonium (NH_4^+). Amonium ini yang kemudian mengalami proses nitrifikasi membentuk nitrit dan nitrat. Amonia dalam keadaan tidak terdisosiasi akan lebih berbahaya untuk ikan dari pada dalam bentuk amonium. Nilai amonia memiliki hubungan dengan nilai pH perairan, yaitu makin tinggi pH air maka makin besar kandungan amonia dalam bentuk tidak terdisosiasi. Kadar amonia yang tinggi dapat merupakan indikasi adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian (Effendi, 2003).

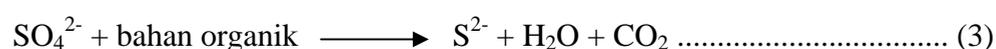
f. Nitrat

Nitrat adalah bentuk nitrogen utama dalam perairan dan merupakan nutrisi utama bagi tumbuhan dan algae. Nitrat sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil, dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003). Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung dalam kondisi aerob.



g. Sulfat

Sulfat adalah bentuk sulfur utama dalam perairan dan tanah. Di perairan yang diperuntukkan bagi air minum sebaiknya tidak mengandung senyawa natrium sulfat (Na_2SO_4) dan magnesium sulfat (MgSO_4) (Hariyadi *et al.*, 1992). Di perairan, sulfur berikatan dengan ion hidrogen dan oksigen. Reduksi (pengurangan oksigen dan penambahan hidrogen) anion sulfat menjadi hidrogen sulfida pada kondisi anaerob dalam proses dekomposisi bahan organik menimbulkan bau yang kurang sedap dan meningkatkan korosivitas logam (Effendi, 2003).





h. Besi

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat (Priambodho, 2005):

1. terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri),
2. tersuspensi sebagai butiran koloidal (diameter $<1\mu\text{m}$) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan sebagainya,
3. bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik.

i. Timbal (Pb)

Timbal mempunyai berat atom 207,19; berat jenis 11,4; bersifat lunak serta berwarna silver biru abu-abu dengan kilau logam. Nomor atom 82 dan mempunyai titik leleh 327,4 C dan titik didih 1.725 C. Timbal termasuk logam berat karena mempunyai berat jenis dari lima kali berat jenis air (Sudarwin, 2008). Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Timbal banyak dimanfaatkan oleh kehidupan manusia sebagai bahan pembuat baterai, amunisi, produk logam (logam lembaran, solder, dan pipa), perlengkapan medis, cat, keramik, peralatan kegiatan ilmiah/praktek (papan sirkuit/PCB untuk komputer), untuk campuran minyak meningkatkan nilai oktan. Konsentrasi timbal di lingkungan tergantung pada tingkat aktivitas manusia, misalnya di daerah industri, jalan raya, dan tempat pembuangan sampah.

2.1.4 Karakteristik Lindi

Variasi di dalam komposisi lindi sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi dan umur sampah, lokasi, dan pengoperasian serta kondisi *landfill*, iklim, dan kondisi hidrogeologi, kelembaban, temperatur, pH, dan tingkat stabilisasi. Lindi sampah mempunyai karakteristik mengandung bahan organik terlarut (CH_4 , asam lemak volatil), *macrocomponents* anorganik (seperti Ca^{2+} ,

Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-}), logam berat seperti Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, dan lain-lain (San, 2001).

Lindi dari tempat pembuangan akhir telah mengakibatkan polusi yang serius. Senyawa organik termasuk hidrokarbon aromatik, fenol pada air tanah, dengan konsentrasi amonium, logam berat, dan kontaminan organik yang sangat tinggi (Dong, 2008). Secara umum parameter utama yang digunakan untuk menggambarkan konsentrasi kontaminan dalam lindi adalah COD, amonia, nitrogen (NH_4-N), *Suspended Solid* (SS), *Dissolved Solids* (DS), logam berat, dan garam (Kirkeby, 2007).

Penambahan yang signifikan dari tumpukan sampah tersebut, air lindi yang dihasilkan juga akan meningkat, walaupun produksi air lindi tersebut juga tergantung pada banyaknya curah hujan pada suatu musim. Pada Tabel 2 dapat dilihat baku mutu limbah cair berdasarkan keputusan Peraturan Gubernur Sumatera Selatan nomor 8 tahun 2012.

Tabel 2. Baku Mutu Limbah Cair Golongan II

Parameter	Baku Mutu Limbah Cair	Metode Uji
pH	6-9	SNI 06-6989.11-2004
Suhu	40	-
TSS	400	SNI 06-6989.3-2004
COD	200	SNI 06-6989.2-2004
BOD ₅	150	SNI 06-2503-1991
NH_3-N	5	SECARA SALISILAT
Nitrit	3	SNI 06-6989.9-2004
Nitrat	30	SPEKTROFOTOMETRI
Sulfida	0,1	SPEKTROFOTOMETRI
Cyanida	0,5	SPEKTROFOTOMETRI
Krom total	0,5	SPEKTROFOTOMETRI
Klorida	-	SPEKTROFOTOMETRI
Besi	10	SPEKTROFOTOMETRI
Phenol	0,5	SPEKTROFOTOMETRI
Mangan	2	SPEKTROFOTOMETRI
Tembaga	2	SPEKTROFOTOMETRI
Seng	2	SPEKTROFOTOMETRI
Timbal (Pb)	1	SPEKTROFOTOMETRI
Minyak dan Lemak	10	GRAVIMETRI JIS

Sumber : Peraturan Gubernur Sumsel Nomor 8 Tahun 2012.

Lindi juga kaya akan fenol, nitrogen, dan fosfor dan jika tidak diperlukan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, akan menjadi sumber kontaminasi yang potensial terhadap tanah dan air tanah, jika meresap ke dalam tanah sehingga menyebabkan pencemaran terhadap perairan (Aziz, 2010).

Lindi dapat digolongkan sebagai senyawa yang sulit didegradasi, yang mengandung bahan-bahan polimer (makro molekul) dan bahan organik sintetik. Pada umumnya air lindi memiliki nilai rasio BOD₅/COD sangat rendah (<0,4). Nilai rasio yang sangat rendah ini mengindikasikan bahwa bahan organik yang terdapat dalam air lindi bersifat sulit untuk didegradasi secara biologis. Angka perbandingan yang semakin rendah mengindikasikan bahan organik yang sulit terurai tinggi (Priambodho, 2005).

Komposisi lindi sangat bervariasi karena proses pembentukannya dipengaruhi oleh (Nataliana, 2009):

- a. karakteristik sampah (organik-anorganik),
- b. mudah tidaknya penguraian (larut-tidak larut),
- c. kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur),
- d. karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi),
- e. komposisi tanah penutup,
- f. ketersediaan nutrisi dan mikroba,
- g. kehadiran *inhibitor*.

Selain itu Sulinda (2004) menyatakan bahwa proses penguraian bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana oleh mikroorganisme aerobik dan anaerobik pada lokasi pembuangan sampah dapat menjadi penyebab terbentuknya gas dan air lindi. Sebagian besar limbah yang dibuang pada lokasi pembuangan sampah adalah padatan. Limbah tersebut berasal dari berbagai sumber yang berbeda dengan tipe limbah yang berbeda pula, sehingga setiap air lindi memiliki karakteristik tertentu.

Nataliana (2009) menyatakan bahwa umur tumpukan sampah juga bisa mempengaruhi kualitas air lindi dan gas yang terbentuk. Perubahan kualitas air lindi dan gas menjadi parameter utama dalam mengetahui tingkat stabilisasi

tumpukan sampah. Oleh karena itu, komposisi kimiawi air lindi dan kekuatan bahan pencemar organik yang dihasilkannya bervariasi untuk tiap lokasi pembuangan sampah. Lindi dapat mengalir bersama air hujan atau air permukaan dan meresap ke dalam lapisan-lapisan tanah dan masuk ke dalam air tanah (Christensen, 2001).

Pada Tabel 3 dijelaskan semakin lama umur lindi, konsentrasi zat pencemar semakin berkurang, karena zat-zat tersebut telah mengalami penguraian oleh tanah. Ion klorida (Cl^-) sebagai ion anorganik sulit teruraikan, baik melalui pertukaran ion, adsorpsi, filtrasi, dan biodegradasi. Dalam hal ini ion Cl^- dapat dipakai sebagai indikator terhadap aliran lindi, secara tidak langsung dapat menimbulkan pencemaran terhadap air tanah, khususnya air sumur gali (Bambang, 2010).

Tabel 3 Hasil Analisis Lindi Sistem *Sanitary Landfill*

Parameter	Satuan	Umur Lindi		
		2 Tahun	6 Tahun	17 Tahun
BOD ₅	mg/L	3968.0	8000.0	40.0
COD	mg/L	54610.0	14080.0	225.0
Jumlah Padatan	mg/L	9144.0	6795.0	1198.0
Klorida (Cl^-)	mg/l	1697.0	1330.0	135.0
Natrium (Na^+)	mg/L	900.0	810.0	74.0
Besi (Fe)	mg/L	5500.0	6.3	0.6
Sulfat (SO_4^{2-})	mg/L	680.0	2.0	2.0
Kesadahan	mg/L	7830.0	2200.0	540.0
Logam-logam berat	mg/L	15.8	1.5	5.4

Sumber: Departement of Public Health USA (1972).

2.2 Pengolahan Lindi Sampah

Pengolahan air lindi dapat dilakukan dengan berbagai alternatif seperti Resirkulasi air lindi kembali ke dalam *landfill*. Hal ini dapat meningkatkan laju dekomposisi kandungan organik menjadi biogas hingga sekitar 70%. Resirkulasi air lindi dapat dilakukan pada musim kemarau, sedangkan pada musim hujan, air lindi harus diolah untuk mengurangi volumenya.

2.2.1 Pengolahan Lindi secara Biologis

Pengolahan ini biasa dilakukan dengan menggunakan lumpur aktif yang berfungsi mendegradasi kandungan organik yang terdapat dalam air lindi. Setelah kandungan organik dalam air lindi turun drastis, kemudian dapat dilakukan pemurnian kembali dengan menggunakan alat filtrasi. Air keluaran yang diharapkan dari pengolahan semacam ini dapat langsung dibuang ke lingkungan karena tidak berbahaya bagi lingkungan.

2.2.2 Pengolahan Lindi secara Kimiawi

Pengolahan lindi untuk mengurangi konsentrasi $\text{NH}_4\text{-N}$ dapat dilakukan pengolahan secara kimiawi. Pengolahan yang sering dilakukan adalah memisahkan senyawa ini dengan membentuk endapan magnesium ammonium pospat ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) atau dikenal sebagai mineral struvite. Beberapa peneliti juga sudah meneliti pengurangan $\text{NH}_4\text{-N}$ dalam lindi dengan pengolahan kimiawi dengan pembentukan mineral magnesium ammonium pospat (MAP). Penelitian mengenai pemisahan pospat, flour, dan ammonium dari air buangan *semiconductor* dengan pembentukan mineral MAP, *Bobierrite* ($\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) dan *Brucite* ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

2.3 Metode Elektrokoagulasi

2.3.1 Elektrokoagulasi

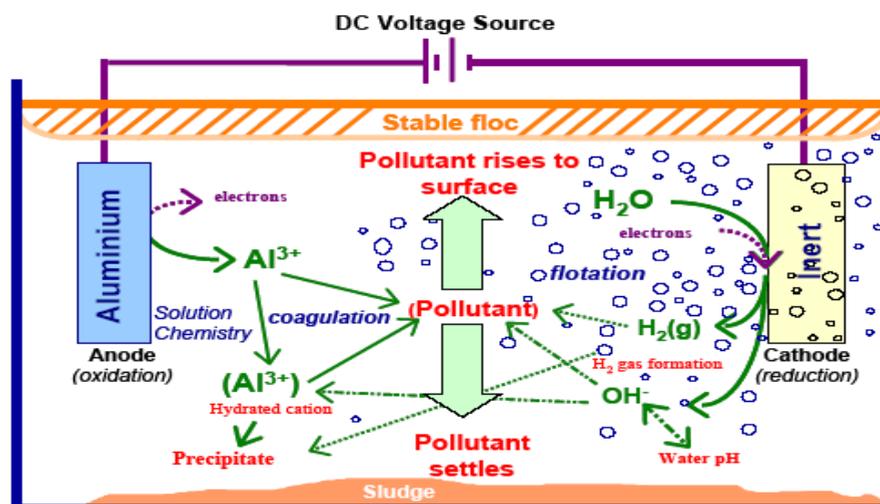
Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya aluminium atau besi) ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Holt, 2005). Menurut Mollah (2004), elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisika menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion yang digunakan untuk mengolah air limbah.

Saat ini penggunaan teknologi elektrokoagulasi dikembangkan untuk meningkatkan kualitas *effluen* air limbah. Elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah *effluen* dari beberapa air limbah yang berasal dari industri makanan,

limbah tekstil, limbah rumah tangga, limbah yang mengandung senyawa arsenik, air yang mengandung fluorida, dan air yang mengandung partikel yang sangat halus, bentonit dan kaolit.

Elektrokoagulasi mampu mengolah berbagai polutan termasuk padatan tersuspensi, logam berat, tinta, bahan organik (seperti limbah domestik), minyak dan lemak, ion dan radionuklida. Karakteristik polutan mempengaruhi mekanisme pengolahan, misalnya polutan berbentuk ion akan diturunkan melalui proses presipitasi sedangkan padatan tersuspensi yang bermuatan akan diabsorpsi ke koagulan yang bermuatan.

Gambar 1 menunjukkan proses elektrokoagulasi yang sangat kompleks. Koagulan dan produk hidrolisis saling berinteraksi dengan polutan atau dengan ion lain atau dengan gas hidrogen. Menurut Mollah (2004) dalam Aldilani (2008), mekanisme penyisihan yang umum terjadi dalam elektrokoagulasi terbagi dalam tiga faktor utama, yaitu (a) terbentuknya koagulan akibat proses oksidasi elektrolisis pada elektroda, (b) destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi dan pemecahan emulsi, dan (c) agregatisasi dari hasil destabilisasi untuk membentuk flok.



Sumber: Samosir, 2009.

Gambar 1. Interaksi dalam Proses Elektrokoagulasi

Proses destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi dan pemecahan emulsi terjadi melalui tahapan berikut:

- Kompresi lapisan ganda (*double layer*) yang terjadi di sekeliling spesi bermuatan yang disebabkan interaksi dengan ion yang terbentuk dari oksidasi di elektroda.
- Netralisasi ion bermuatan dalam air limbah dengan menggunakan ion berlawanan yang dihasilkan dari elektroda. Adanya ion tersebut menyebabkan berkurangnya gaya tolak-menolak antar partikel dalam air limbah, sehingga gaya *van der waals* menonjol dalam proses koagulasi dapat berlangsung.
- Pembentukan flok akibat proses koagulasi sehingga terbentuk *sludge blanket* yang mampu menjebak dan menjembatani partikel koloid yang masih ada di air limbah.

Aldilani (2008) telah memberikan gambaran tentang keuntungan dan kerugian dari penggunaan elektrokoagulasi. Beberapa keuntungan dari proses elektrokoagulasi adalah sebagai berikut:

- a. Peralatan yang dibutuhkan sederhana dan mudah dioperasikan.
- b. Air limbah yang diolah dengan elektrokoagulasi menghasilkan efluen yang jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.
- c. Lumpur yang dihasilkan elektrokoagulasi relatif stabil dan mudah dipisahkan karena berasal dari oksida logam. Selain itu, jumlah lumpur yang dihasilkan sedikit.
- d. Flok yang terbentuk pada elektrokoagulasi memiliki kesamaan dengan flok yang berasal dari koagulasi kimia. Perbedaannya adalah flok dari elektrokoagulasi berukuran lebih besar dengan kandungan air yang sedikit, lebih stabil dan mudah dipisahkan secara cepat dengan filtrasi.
- e. Elektrokoagulasi menghasilkan efluen dengan kandungan TSS lebih sedikit, sehingga mengurangi biaya *recovery* bila air hasil pengolahan digunakan kembali.

- f. Elektrokoagulasi dapat mengolah partikel koloid yang sangat kecil karena penggunaan arus listrik menyebabkan proses koagulasi lebih mudah terjadi dan lebih cepat.
- g. Gelembung gas yang dihasilkan selama proses elektrolisis dan membawa polutan yang diolah untuk naik ke permukaan tersebut mudah dikumpulkan dan dipisahkan.
- h. Perawatan reaktor elektrokoagulasi lebih mudah karena proses elektrolisis yang terjadi cukup dikendalikan dari penggunaan listrik tanpa perlu memindahkan bagian dalamnya.

Kerugian dari penggunaan elektrokagulasi adalah:

- a. Elektroda yang digunakan dalam metode ini harus diganti secara teratur.
- b. Penggunaan listrik terkadang lebih mahal dari pada beberapa daerah.
- c. Terbentuknya lapisan pada elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan.
- d. Proses elektrokoagulasi membutuhkan konduktivitas yang tinggi pada air limbah yang diolah.
- e. Hidrolisis seperti gelatin cenderung solubiliti pada beberapa kasus.

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain (Purwaningsih, 2008):

- a. kerapatan arus listrik,
- b. waktu,
- c. tegangan,
- d. kadar keasaman (pH),
- e. ketebalan plat,
- f. jarak antar elektroda.

2.3.2 Elektroda

Elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi berupa elektroda plat aluminium. Aluminium dapat dialirkan listrik dengan elektroda yang dibuat dari logam yang sama. Pemilihan elektroda aluminium yang sesuai dengan pekerjaan didasarkan pada tabel keterangan dari pabrik yang membuatnya.

Elektroda aluminium AWS-ASTM AI-43 untuk las busur listrik adalah dengan pasawat las DC kutub terbalik. Elektroda ini merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda.

Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi, sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif (disebut kation) yang bergerak pada katoda yang bermuatan negatif. Sedangkan ion-ion negatif bergerak menuju anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan sebagai anion (bermuatan negatif).

Menurut Holt (2005) reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

a) Reaksi pada Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H^+ dan ion ion logam.

1. Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



2. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.



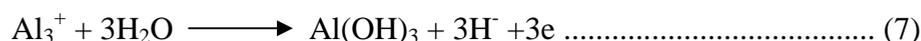
Dari daftar E^0 (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

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

b) Reaksi pada Anoda

1. Anoda yang digunakan adalah logam Aluminium akan teroksidasi:



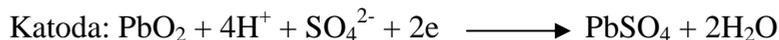
2. Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2):



3. Anion-anion lain (SO_4^- , SO_3^-) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda:



Contoh untuk redoks pada logam Pb adalah:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama kelamaan akan bertambah besar ukurannya. Setelah air mengalami elektrokoagulasi, kemudian dilakukan proses pengendapan yaitu berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel atau flok yang terbentuk tadi, kemudian efluen yang dihasilkan akan dianalisis di laboratorium.