

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang berdampak negatif terhadap masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Beberapa pengertian tentang limbah:

1. Berdasarkan keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/Kep/7/1997 Pasal I tentang prosedur impor limbah, menyatakan bahwa Limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya.
2. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 18/1999 Jo.PP 85/1999 Limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan manusia.

2.1.1 Limbah Cair

Limbah cair atau buangan merupakan air yang tidak dapat dimanfaatkan lagi serta dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap manusia dan lingkungan. Keberadaan limbah cair tidak diharapkan di lingkungan karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Pengolahan yang tepat bagi limbah cair sangat diutamakan agar tidak mencemari lingkungan (Mardana, 2007).

2.1.2 Sumber Limbah Cair

Sumber air limbah dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Air limbah domestik atau rumah tangga

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 112 tahun 2003, limbah cair domestik adalah limbah cair yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Air limbah domestik mengandung berbagai bahan,

yaitu kotoran, *urine*, dan air bekas cucian yang mengandung detergen, bakteri, dan virus (Eddy, 2008).

2. Air limbah industri

Air yang dihasilkan oleh industri, baik akibat proses pembuatan atau produksi yang dihasilkan industri tersebut maupun proses lainnya (Darmono, 2001). Limbah non domestik adalah limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber-sumber lain (Eddy, 2008).

3. Infiltrasi

Infiltrasi adalah masuknya air tanah ke dalam saluran air buangan melalui sambungan pipa, pipa bocor, atau dinding *manhole*, sedangkan *inflow* adalah masuknya aliran air permukaan melalui tutup *manhole*, atap, area drainase, *cross connection* saluran air hujan maupun air buangan (Eddy, 2008).

2.1.3 Dampak Limbah Cair

Limbah organik mengandung sisa-sisa bahan organik, detergen, minyak dan kotoran manusia. Limbah ini dalam skala kecil tidak akan terlalu mengganggu, akan tetapi dalam jumlah besar sangat merugikan. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan limbah cair adalah sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap kesehatan manusia

Gangguan terhadap kesehatan manusia dapat disebabkan oleh kandungan bakteri, virus, senyawa nitrat, beberapa bahan kimia dari industri dan jenis pestisida yang terdapat dari rantai makanan, serta beberapa kandungan logam seperti merkuri, timbal, dan kadmium (Eddy, 2008).

2. Gangguan terhadap keseimbangan ekosistem

Kerusakan terhadap tanaman dan binatang yang hidup pada perairan disebabkan oleh eutrofikasi yaitu pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan ke dalam ekosistem air, air dikatakan eutrofik jika konsentrasi total phosphorus (TP) dalam air berada dalam rentang 35-100 µg/L dan pertumbuhan tanaman yang berlebihan (Eddy, 2008).

3. Gangguan terhadap estetika dan benda

Gangguan kenyamanan dan estetika berupa warna, bau, dan rasa. Kerusakan benda yang disebabkan oleh garam-garam terlarut seperti korosif atau karat, air berlumpur, menyebabkan menurunnya kualitas tempat-tempat rekreasi dan perumahan akibat bau serta eutrofikasi (Eddy, 2008).

2.1.4 Indikator Pencemaran Limbah Cair

Standar untuk menyatakan bahwa air tercemar atau tidak, sangatlah relatif. Namun, bukan berarti kita tidak dapat mengetahui keadaan air dikatakan tercemar atau tidak. Dengan mengamati indikator pencemaran air, kita bisa menyatakan tercemar atau tidaknya keadaan air tersebut. Beberapa Indikator (tanda) pencemaran air dapat kita amati melalui:

1. Adanya perubahan suhu air

Sumber air yang suhunya naik akan dapat mengganggu kehidupan hewan air dan organisme air lainnya karena kadar oksigen yang terlarut dalam air akan turun bersamaan dengan kenaikan suhu. Padahal di satu sisi kehidupan memerlukan oksigen untuk bernafas. Oksigen yang terlarut dalam air berasal dari udara yang secara lambat terdifusi ke dalam air. Makin tinggi kenaikan suhu air makin sedikit oksigen yang terlarut didalamnya.

2. Perubahan pH atau konsentrasi Ion Hidrogen

Air normal yang memenuhi syarat untuk kehidupan organisme mempunyai pH berkisar antara 6,5-7,5. Air yang mempunyai pH di atas normal akan bersifat basa sedang air yang mempunyai pH di bawah normal akan bersifat asam.

3. Perubahan warna, bau dan rasa air

Pada keadaan normal, air tidak berwarna. Timbulnya warna, bau dan rasa pada air secara mutlak dapat di pakai sebagai sebagai salah satu tanda terjadinya tingkat pencemaran.

4. Timbulnya endapan, koloidal dan bahan terlarut

Endapan dan kolodial biasanya berasal dari pembuangan industri yang berbentuk padat. Bahan buangan tersebut yang tidak dapat larut dengan

sempurna akan terendap didasar sumber air sedangkan bahan buangan yang terlarut sebagian akan menjadi koloidal. Jika bahan buangan industri berupa bahan yang dapat larut, air akan mendapat tambahan-tambahan ion logam yang berasal dari bahan anorganik tersebut. Banyak bahan anorganik yang memberikan ion-ion logam berat yang pada umumnya bersifat racun, seperti Cd, Cr dan Pb.

5. Mikroorganisme

Mikroorganisme sangatlah berperan penting dalam proses degradasi bahan buangan dari kegiatan industri ke lingkungan air. Jika bahan yang akan didegradasi cukup banyak maka akan lebih banyak lagi mikroorganisme yang berkembang biak. Pada perkembangbiakkan ini tidak menutup kemungkinan juga berkembangnya mikroba patogen. Mikroba patogen adalah penyebab munculnya berbagai penyakit.

2.1.5 Indikator Pencemar Air

Indikator pencemar air dapat dikelompokkan menjadi 7 kelompok, yaitu:

1. Bahan buangan padat

Bahan yang dimaksud disini adalah bahan buangan yang berbentuk padat, baik kasar (butiran kasar) atau (halus) butiran kacil. Jika bahan ini dibuang di perairan, maka yang akan terjadi adalah pelarutan bahan buangan padat oleh air atau pengendapan bahan buangan di dasar air atau membentuk koloid yang melayang di dalam air.

2. Bahan buangan organik

Bahan ini biasanya telah berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme. Bahan ini membuat perairan menjadi sangat kaya akan mikroorganisme yang tidak menutup kemungkinan juga berkembangnya mikroba patogen, penyebab munculnya berbagai penyakit.

3. Bahan buangan anorganik

Bahan ini pada umumnya tidak dapat membusuk atau didegradasi oleh mikroorganisme. Seperti Timbal (Pb), air raksa (Hg), Arsen (As). Ion-ion logam tersebut sangat berbahaya bagi kehidupan manusia.

4. Bahan buangan olahan makanan

Bisanya bahan-bahan ini tak jauh berbeda dengan bahan organik, hanya saja sengaja dipisahkan karena bahan buangan olahan makanan sering kali menimbulkan bau busuk yang menyengat hidung. Seperti pada buangan organik lainnya, bahan ini mengundang perkembangbiakkan mikroorganisme.

5. Bahan buangan cairan berminyak

Minyak tidak dapat larut dalam air, melainkan mengapung di atasnya. Bahan buangan ini menyebabkan tertutupnya permukaan air. Tertutupnya permukaan air akan sangat mengganggu aktivitas kehidupan organisme di dalamnya, diantaranya, Lapisan minyak di permukaan air akan menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air dan menghalangi sinar matahari yang masuk ke dalam air sehingga menghambat proses fotosintesis tumbuhan air. Permukaan air yang mengandung minyak juga tidak dapat dikonsumsi oleh manusia karena dalam cairan minyak terdapat zat-zat beracun seperti senyawa benzen dan senyawa toluen.

6. Bahan buangan zat kimia

Bahan buangan ini cukup banyak untuk disebutkan, namun yang akan kami sebutkan disini adalah kelompok bahan pencemar berupa; sabun (deterjen dan *shampoo*), bahan pemberantas hama (insektisida), dan zat pewarna kimia.

7. Bahan buangan berupa panas

Bahan ini biasanya adalah hasil pembuangan dari industri berupa air panas yang tadinya digunakan untuk mendinginkan mesin pabrik.

2.2 Limbah Cair Terpadu

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (PP No. 18 Tahun 1999 dan PP No. 85 Tahun 1999).

Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya (PP No. 74 Tahun 2001). Limbah B3 tidak saja dihasilkan/digunakan oleh kegiatan industri tetapi juga dari berbagai aktifitas manusia lainnya misalnya dari kegiatan pertanian, rumah tangga dan rumah sakit. Untuk itulah perlu dikelola secara benar sehingga tidak mencemari dan mengganggu kesehatan manusia.

Limbah terpadu merupakan limbah tampungan yang terdiri dari limbah-limbah domestik dan non-domestik. Dalam limbah terpadu terjadi pencampuran air limbah dari bermacam-macam sumber dengan karakteristik air yang beragam, sehingga bila dibuang secara langsung dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Limbah terpadu dibagi menjadi dua bagian berdasarkan sumbernya yaitu limbah yang bersumber domestik (limbah rumah tangga) dan limbah yang berasal dari non-domestik (pabrik, industri dan limbah pertanian).

2.2.1 Karakteristik Limbah Cair Terpadu

Beberapa karakteristik limbah cair industri tahu yang penting antara lain:

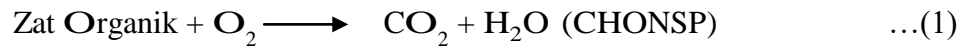
1. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan parameter untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktifitas mikroorganisme dalam menguraikan zat organik secara biologis di dalam limbah cair (Wardana, 2004).

Nilai BOD yang tinggi menunjukkan terdapat banyak senyawa organik dalam limbah, sehingga banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Nilai BOD yang rendah menunjukkan terjadinya penguraian limbah organik oleh mikroorganisme (Zulkifli dan Ami, 2007).

Penguraian bahan organik secara biologis oleh mikroorganisme menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbondioksida (CO₂) dan air

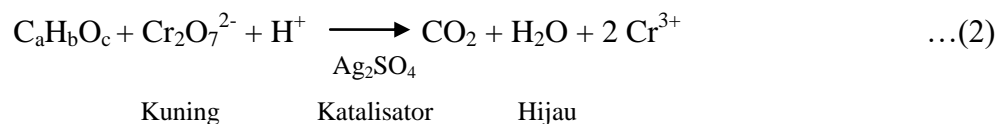
(H₂O). Proses penguraian bahan organik dapat digambarkan sebagai berikut (Hanum, 2006):



Pengujian BOD menggunakan metode Winkler-Alkali iodide azida adalah penetapan BOD yang dilakukan dengan cara mengukur berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam sampel yang disimpan dalam botol tertutup rapat, diinkubasi selama 5 hari pada temperatur kamar, kemudian diukur oksigen terlarutnya. Botol yang tersisa diukur oksigen terlarutnya pada hari ke nol dengan menambahkan 1 ml MnSO₄ + 1 ml reagen alkali iodida azida + 1 ml H₂SO₄ pekat. Setelah itu ditambah 3 tetes amilum dan dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat. Selanjutnya dilakukan perhitungan BOD dan penurunan BOD limbah tahu sebelum dan sesudah perlakuan. Dalam waktu 5 hari (BOD₅), oksidasi organik karbon akan mencapai 60%-70% dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95% (Kaswinarni, 2007).

2. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidanya adalah K₂Cr₂O₇ atau KMnO₄. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Sebagian besar zat organik melalui uji COD ini dioksidasi oleh K₂Cr₂O₇ dalam keadaan asam yang mendidih optimum.



Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi (Kaswinarni, 2007).

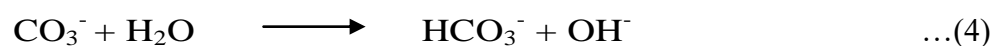
3. TSS (*Total Suspended Solid*)

Yaitu bahan-bahan yang melayang dan tidak larut dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan

menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2008).

4. Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi misalnya, akan mengurangi aktivitas fotosintesis mikroalga. Proses fotosintesis merupakan proses mengambil CO_2 yang terlarut di dalam air, dan berakibat pada penurunan CO_2 terlarut dalam air. Penurunan CO_2 akan meningkatkan pH. Dalam keadaan basa ion bikarbonat akan membentuk ion karbonat dan melepaskan ion hidrogen yang bersifat asam sehingga keadaan menjadi netral. Sebaliknya dalam keadaan terlalu asam, ion karbonat akan mengalami hidrolisa menjadi ion bikarbonat dan melepaskan ion hidrogen oksida yang bersifat basa, sehingga keadaan netral kembali, dapat dilihat pada reaksi berikut (Lavens dan Sorgeloos, 2006):



5. Kadar Logam Fe

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:

1. Terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri),
2. Tersuspensi sebagai butiran koloidal (diameter <1 mikrometer) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan sebagainya,
3. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (Pahlevi, 2009).

2.2.2 Pengolahan Limbah Cair Terpadu

Pengolahan limbah cair berhubungan erat dengan karakteristik dan kualitasnya. Proses pengolahan limbah cair ini digolongkan ke dalam tiga bagian, yaitu:

1. *Primary treatment*

a. Perlakuan fisika

Perlakuan fisika dilakukan terhadap air buangan yang kandungan zat pencemarnya dapat dipisahkan secara mekanis, misalnya penghilangan benda-benda yang mengapung dan padatan tersuspensi.

b. Perlakuan kimia

Proses pengolahan dimana perubahan, penguraian, atau pemisahan bahan yang tidak diinginkan berlangsung dengan mekanisme reaksi kimia. Dalam proses ini ditambahkan zat kimia dalam jumlah tertentu untuk mencapai hasil yang diinginkan. Disini meliputi pengendapan secara kimia, absorpsi, desinfeksi dan gas transfer.

2. *Secondary treatment*

Secondary treatment bertujuan untuk menghilangkan zat organik terlarut dengan proses biologis. Proses ini memanfaatkan mikroorganisme yang aktif untuk merusak zat organik dan menjadikan stabilnya zat organik dalam air limbah.

3. *Tertiary treatment*

Tertiary treatment merupakan proses tingkat lanjut yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa kimia organik dan anorganik. Proses ini dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi dengan cara filtrasi, stripping, adsorpsi, karbon aktif, reduksi-oksidasi, dan melalui bakteri atau alga nitrifikasi.

4. *Pembunuhan kuman (desinfectan)*

Pembunuhan kuman (*desinfectan*) dilakukan apabila limbah cair mengandung bakteri patogen. Pada proses fisik dilakukan terhadap air buangan yang kandungan zat pencemarnya dapat dipisahkan secara mekanis, misalnya penghilangan benda-benda yang mengapung dan padatan tersuspensi. Filtrasi

atau penyaringan menggunakan media penyaring terutama untuk menjernihkan atau memisahkan partikel-partikel kasar dan padatan tersuspensi dari limbah cair. Dalam sedimentasi, flok-flok padatan dipisahkan dari aliran dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Eddy, 2008).

Cara kimia, merupakan metode penghilangan atau konversi senyawa-senyawa polutan dalam limbah cair dengan penambahan bahan-bahan kimia atau reaksi kimia lainnya. Beberapa proses yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara kimia diantaranya termasuk koagulasi-flokulasi dan netralisasi. Proses netralisasi biasanya diterapkan dengan cara penambahan asam atau basa guna menetralkan ion-ion yang terlarut dalam limbah cair sehingga memudahkan proses pengolahan selanjutnya (Eddy, 2008).

Proses koagulasi-flokulasi, partikel-partikel koloid hidrofobik cenderung menyerap ion-ion bermuatan negatif terlarut dalam limbah cair melalui sifat adsorpsi koloid tersebut, sehingga partikel tersebut bermuatan negatif. Koagulasi pada dasarnya merupakan proses destabilisasi partikel koloid bermuatan dengan cara penambahan ion-ion bermuatan berlawanan (koagulan) ke dalam koloid, dengan demikian partikel koloid menjadi netral dan dapat beraglomerasi satu sama lain membentuk mikroflok. Selanjutnya mikroflok-mikroflok yang telah terbentuk dengan dibantu pengadukan lambat mengalami penggabungan menghasilkan makroflok (flokulasi), sehingga dapat dipisahkan dari dalam larutan dengan cara pengendapan atau filtrasi (Eddy, 2008).

Koagulan yang biasa digunakan antara lain polielektrolit, aluminium, kapur, dan garam-garam besi. Masalah dalam pengolahan limbah secara kimiawi adalah banyaknya endapan lumpur yang dihasilkan, sehingga membutuhkan penanganan lebih lanjut (Eddy, 2008).

Selain kedua metode tersebut, metode gabungan fisika-kimia mencakup flokulasi yang dikombinasikan dengan sedimentasi juga telah dicoba digunakan dalam skala laboratorium, tetapi penerapan metode gabungan tersebut hasilnya kurang memuaskan khususnya di Indonesia. Hal ini karena beberapa faktor antara lain: metode pengolahan fisika-kimia terlalu kompleks, kebutuhan bahan kimia

cukup tinggi, serta lumpur berupa endapan sebagai hasil dari sedimentasi menjadi masalah penanganan lebih lanjut (Husin, 2008).

Cara biologi, dapat menurunkan kadar zat organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air. Mikroorganisme yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah bakteri, alga, atau protozoa (Ritman, 2010), sedangkan tumbuhan yang dapat digunakan termasuk gulma air (*aquatic weeds*) (Lisnasari, 2006).

2.3 Elektrokimia

Elektrokimia adalah peristiwa kimia yang berhubungan dengan energi listrik. Prinsip dasar reaksi pada elektrokimia adalah reaksi reduksi oksidasi (redoks), reaksi tersebut terjadi pada suatu sistem sel elektrokimia. Ada dua jenis sel elektrokimia yaitu galvanis dan sel elektrolisis.

Sel galvanis dan sel elektrolisis adalah inti dari suatu proses elektrokimia. Sel galvanis menghasilkan energi yang disebabkan oleh hasil reaksi kimia, sedangkan sel elektrolisis dibutuhkan energi listrik untuk melangsungkan reaksi kimia. Pada sel galvanis katoda berfungsi sebagai penghantar listrik sehingga berkutub positif. Proses aliran elektron terjadi dari elektroda negatif ke elektroda positif dengan melewati media elektrolit yang berfungsi sebagai penghantar arus listrik sehingga reaksi yang terjadi adalah spontan.

Pada sel elektrolisis elektroda yang berfungsi penghantar listrik adalah anoda sehingga terjadi suatu pelarutan material anoda menghasilkan kation logam (M^+). Elektrolisis air merupakan reaksi samping yang menghasilkan gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda. (Purwanto, 2005)

2.3.1 Hukum faraday

Hukum Faraday mengenai elektrolisis adalah sebagai berikut: Berat (w) logam yang terelektrolisis di permukaan katoda sebanding dengan jumlah muatan yang dilewatkan (q , Coulomb) yang sebanding dengan kuat arus (I , Amper) di kali

waktu (t , detik), untuk jumlah muatan (It) berat logam yang terelektrolisis sebanding dengan ekivalen massa Molar logam tersebut (M/nF)

Hukum Faraday mengenai elektrolisis di atas dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$w = \frac{M \cdot I \cdot t}{96500 \cdot n} \quad \dots(5)$$

Ket w : Berat logam terlarutkan (g)

M : Massa Atom relatif (g/mol)

I : Arus (Amper)

n : Valensi logam

t : Waktu (detik)

2.3.2 Efisiensi Arus

Efisiensi arus didefinisikan sebagai perbandingan antara berat logam yang terelektrolisis pada permukaan anoda dengan berat logam yang terelektrolisis secara teoritik menurut Hukum Faraday.

$$\eta = \frac{W_d}{W_t} \times 100\% \quad \dots(6)$$

Ket η : Efisiensi arus

W_d : Berat logam yang terelektrolisis

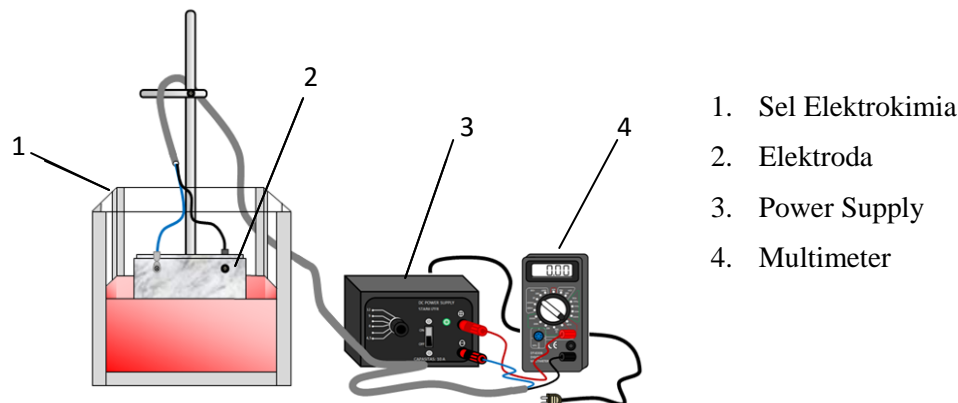
W_t : Berat logam yang terelektrolisis secara teoritis

(Purwanto, 2005)

2.4 Elektrokoagulasi

2.4.1 Definisi Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi dan elektrokimia. Proses ini dapat menjadi pilihan pengolahan limbah B3 cair fase cair alternatif dari metode pengolahan yang lain (Retno, 2008).



Gambar 1. Elektrokoagulasi sistem *batch*

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, 2012), sedangkan menurut Mollah (2008), elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisika dengan menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion yang digunakan untuk mengolah air limbah.

Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Koagulasi kimiawi telah digunakan selama puluhan tahun untuk mendestabilisasi suspensi dan untuk membantu pengendapan spesies logam yang terlarut. *Alum*, *lime*, dan/atau polimer-polimer lain adalah koagulan-koagulan kimia yang sering digunakan. Proses ini, bagaimanapun, cenderung menghasilkan sejumlah besar lumpur dengan kandungan ikatan air yang tinggi yang dapat memperlambat proses filtrasi dan mempersulit proses penghilangan air (*dewater*). Proses ini juga cenderung meningkatkan kandungan TDS dalam *effluent*, sehingga menyebabkan proses ini tidak dapat digunakan dalam aplikasi industri (Woytowich, 2010).

Elektrokoagulasi seringkali dapat menetralsir muatan-muatan partikel dan ion, sehingga bisa mengendapkan kontaminan-kontaminan, menurunkan konsentrasi lebih rendah dari yang bisa dicapai dengan pengendapan kimiawi, dan dapat menggantikan dan/atau mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang mahal (garam logam, polimer).

Meskipun mekanisme elektrokoagulasi mirip dengan koagulasi kimiawi dalam hal spesies kation yang berperan dalam netralisasi muatan-muatan permukaan, tetapi karakteristik flok yang dihasilkan oleh elektrokoagulasi berbeda secara dramatis dengan flok yang dihasilkan oleh koagulasi kimiawi. Flok dari elektrokoagulasi cenderung mengandung sedikit ikatan air, lebih stabil dan lebih mudah disaring (Woytowich, 2010).

Saat ini penggunaan teknologi elektrokoagulasi dikembangkan untuk meningkatkan kualitas efluen air limbah. Elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah efluen 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 (Nouri, 2010).

2.4.2 Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dikenal juga sebagai elektrolisis gelombang pendek. Elektrokoagulasi merupakan suatu proses yang melewatkan arus listrik ke dalam air. Proses ini dapat mengurangi lebih dari 99% kation logam berat. Pada dasarnya sebuah elektroda logam akan teroksidasi dari logam "M" menjadi kation.

Selanjutnya air akan menjadi gas hidrogen dan juga ion hidroksil (OH). Selanjutnya air akan menjadi gas hidrogen dan juga ion hidroksil (OH).

Adapun prinsip kerja dari sistem ini adalah dengan menggunakan dua buah lempeng elektroda yang dimasukkan ke dalam bejana yang telah diisi dengan air yang akan dijernihkan. Selanjutnya kedua elektroda dialiri arus listrik searah sehingga terjadilah proses elektrokimia yang menyebabkan kation bergerak menuju katoda dan anion bergerak menuju anoda. Pada akhirnya akan terbentuk suatu flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari air baku tersebut.

Interaksi-interaksi yang terjadi dalam larutan yaitu:

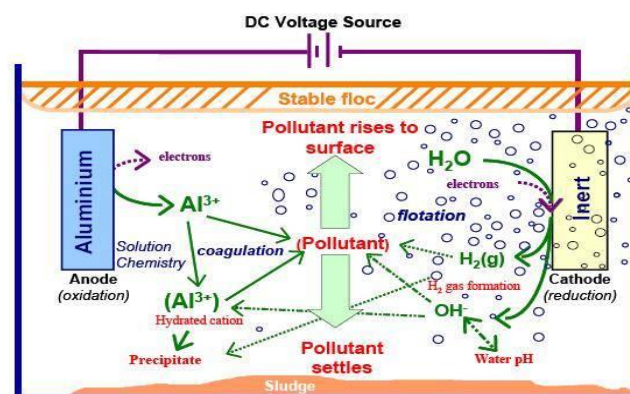
- a. Migrasi menuju muatan elektroda yang berlawanan dan netralisasi muatan.
- b. Kation ataupun ion hidroksil membentuk sebuah endapan dengan pengotor.
- c. Interaksi kation logam dengan OH membentuk sebuah hidroksida dengan sifat adsorbs yang tinggi selanjutnya berikatan dengan polutan (*bridge coagulation*).
- d. Senyawa hidroksida yang terbentuk membentuk gumpalan (flok) yang lebih besar.
- e. Gas hidrogen membantu flotasi dengan membawa polutan ke lapisan *bulk* flok di permukaan cairan (Holt, 2012).

2.4.3 Mekanisme Elektrokoagulasi

Apabila dalam suatu larutan elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, yaitu ion positif (kation) bergerak ke anoda dan anion bergerak ke katoda dan menyerahkan elektron menerima elektron yang dioksidasi, sehingga membentuk flok yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah.

Mekanisme yang terjadi pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung yaitu arus dialirkan melalui suatu elektroda logam, yang mengoksidasi logam (M) menjadi kationnya. Secara simultan, air tereduksi menjadi gas hidrogen dan ion hidroksil (OH). Dengan demikian elektrokoagulasi memasukkan kation logam *in*

situ, secara elektrokimia, dengan menggunakan anoda berbentuk plat (biasanya aluminium atau besi). Kation terhidrolisis di dalam air yang membentuk hidroksida dengan spesies-spesies utama yang ditentukan oleh pH larutan. Kation bermuatan tinggi mendestabilisasi di dalam air yang membentuk hidroksida dengan pembentukan kompleks polihidroksida polivalen. Komplek-komplek ini memiliki sifat-sifat penyerapan yang tinggi, yang membentuk agregat dengan polutan. Evolusi gas hidrogen membantu flokulasi. Begitu flok dihasilkan, gas elektrolitik menimbulkan efek pengapungan yang memindahkan polutan ke lapisan *floc-foam* pada permukaan cairan.



Sumber: Holt, 2002

Gambar 2. Interaksi dalam proses elektrokoagulasi sistem *batch*

2.4.4 Reaksi pada Elektrokoagulasi

Terdapat dua macam reaksi pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, yaitu reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada plat yang berbeda, maka berikut ini penjelasan mengenai kedua reaksi tersebut yang terjadi pada anoda maupun katoda.

1. Reaksi pada Katoda

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

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



- b. 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.



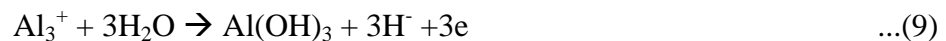
Dari daftar E° (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

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

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

2. Reaksi pada Anoda

- a. Anoda yang digunakan adalah logam Aluminium akan teroksidasi:



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



- 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:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang 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. 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. Setelah flok-flok yang terbentuk mengendap di dasar tabung, air limbah yang terdapat diatas flok yang mengendap dialirkan menuju membran yang akan menyaring air limbah tersebut, kemudian efluen yang dihasilkan akan dianalisis di laboratorium.

2.4.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain:

1. Kerapatan Arus Listrik

Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk flok. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.

2. Waktu

Menurut hukum Faraday, jumlah muatan yang mengalir selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah waktu kontak yang digunakan.

3. Tegangan

Arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) disebabkan adanya beda potensial, karena tahanan listrik pada medium lebih besar dari logam, maka yang perlu diperhatikan adalah mediumnya dan batas antar logam dengan medium.

4. Kadar Keasaman (pH)

Pada proses elektrokoagulasi terjadi proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hydrogen dan ion hidroksida, maka dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hydrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH dalam larutan.

5. Ketebalan Plat

Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

6. Jarak antar Elektroda

Semakin besar jaraknya semakin besar hambatannya, sehingga semakin kecil arus yang mengalir.

2.5 Logam Aluminium

Aluminium banyak digunakan di pabrik kertas, *dyes*, penyamakan, dan percetakan. Aluminium yang berupa alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan limbah. Adapun aluminium juga merupakan salah satu elektroda yang dapat digunakan dalam proses elektrokoagulasi karena nilai konduktivitasnya yang cukup tinggi sehingga dianggap baik untuk menghantarkan muatan-muatan listrik dalam proses tersebut (Agung, 2012).

2.6 Logam *Stainless Steel*

Stainless Steel adalah material yang mengandung senyawa besi dan setidaknya mengandung 10,5% kromium untuk mencegah proses korosi (pengaratan logam). Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium yang menghalangi proses oksidasi besi (ferum).