

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Limbah adalah bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia ataupun proses-proses alam atau belum mempunyai nilai ekonomis, bahkan dapat mempunyai nilai ekonomi yang negatif. Hal ini dikarenakan selain mencemari lingkungan, penanganan limbah yang memerlukan biaya yang cukup besar (Togatorop, 2009).

Menurut PP No. 82 Tahun 2001, limbah cair adalah sisa dari suatu hasil usaha atau kegiatan yang berwujud cair. Pengelompokkan limbah cair berdasarkan sumbernya yaitu:

1. Limbah cair domestik, yaitu limbah cair hasil buangan dari perumahan (rumah tangga), bangunan, perdagangan, perkantoran dan sarana sejenis.
2. Limbah cair industri, yaitu limbah cair hasil buangan industri. Contoh limbah cair industri adalah air buangan industri pulp, industri minyak sawit, industri pengolahan makanan, industri tekstil, dan lain-lain.
3. Rembesan atau luapan, yaitu limbah cair yang berasal dari berbagai sumber memasuki saluran pembuangan limbah cair melalui rembesan ke dalam tanah atau melalui luapan dari permukaan. Air limbah dapat merembes ke dalam saluran pembuangan melalui pipa yang rusak, pecah atau bocor sedangkan luapan dapat terjadi melalui bagian saluran yang membuka atau terhubung ke permukaan. Contohnya adalah air buangan dari talang atap dan pendingin ruangan (AC).
4. Air hujan, yaitu limbah cair yang berasal dari aliran air hujan di atas permukaan tanah. Aliran air hujan di permukaan tanah dapat melewati dan membawa partikel-partikel buangan padat atau cair sehingga dapat disebut sebagai limbah cair (Handoko, 2012).

Menurut Metcalf dan Eddy (2003), mendefinisikan limbah berdasarkan titik sumbernya sebagai kombinasi cairan hasil buangan rumah tangga (pemukiman), instansi perusahaan, pertokoan, dan industri dengan air tanah, air permukaan dan air hujan (Meita, 2015).

2.1 Limbah Cair Kelapa Sawit

Keberhasilan perkebunan kelapa sawit ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah melalui pengolahan kelapa sawitnya. Pengolahan kelapa sawit menghasilkan minyak sawit sebagai produk utama dan di samping itu juga dihasilkan limbah cair dalam jumlah yang cukup besar karena pada prosesnya dilakukan penambahan air. Penambahan air ini dilakukan pada proses:

1. Perebusan kelapa sawit
2. Pemisahan inti dengan tempurung
3. Pencucian, dan lain-lain.

Limbah yang dihasilkan pada setiap pabrik kelapa sawit memiliki karakteristik dan volume yang berbeda-beda. Hal ini bergantung pada kualitas tandan kelapa sawit yang diolah, sistem pengolahan yang digunakan dan perlakuan limbah cair pada instalasi pengolahan air limbah yang ada pada pabrik (Togatorop, 2009).

Limbah cair kelapa sawit dapat di buang ke lingkungan (badan sungai) apabila telah memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan oleh kementerian lingkungan hidup. Menurut Kep-51/MENLH/10/1995 Lampiran B IV yaitu tentang baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Untuk Industri Minyak Sawit

Parameter	Kadar Maksimum
BOD ₅ (mg/L)	100
COD (mg/L)	350
TSS (mg/L)	250
Minyak/lemak (mg/L)	25
NH ₃ -N (mg/L)	20
pH	6,0 – 9,0
Debit limbah maksimum	2,3 m ³ /ton produk minyak sawit

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1995

2.2 Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Biologis

Pengolahan air limbah kelapa sawit bertujuan untuk membuang atau mengurangi kandungan limbah yang membahayakan kesehatan serta tidak mengganggu lingkungan tempat pembuangannya. Proses pengolahan limbah cair

kelapa sawit terdiri dari perlakuan awal dan pengendalian lanjutan. Perlakuan awal meliputi segregasi aliran, pengurangan minyak di tangki pengutipan minyak (*fat-fit*), penurunan suhu limbah dari 70-80°C melalui menara atau bak pendingin.

Hampir seluruh air buangan pabrik kelapa sawit mengandung bahan organik yang dapat terdegradasi. Oleh karenanya pemilihan proses biologis harus sesuai dengan karakteristik fisik dan kimia limbah yang diolah.

Proses biologis dapat mengurangi konsentrasi BOD limbah hingga 90%. Dekomposisi anaerobik meliputi penguraian bahan organik majemuk menjadi asam-asam organik dan selanjutnya menjadi gas-gas dan air. Selanjutnya air limbah dialirkan ke dalam kolam pengasaman dengan waktu penangan hidrolisis selama 5 hari. Air limbah di kolam ini mengalami asidifikasi yaitu terjadinya kenaikan konsentrasi asam-asam mudah menguap dari 1000-5000 mg/L sehingga air limbah yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegrasi dalam suasana anaerobik. Sebelum diolah di unit pengolahan limbah, limbah dinetralkan terlebih dahulu dengan menambahkan kapur tohor sehingga mencapai antara 7,0-7,5 (Darnoko, 2003).

Pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan cara biologis adalah sebagai berikut:

1. Kolam Perombakan Anaerobik I dan Anaerobik II

Limbah yang berasal dari pemisah minyak diikuti dengan mengalirkan bahan aktif dari kolam pengasaman ke dalam kolam anaerobik primer. Perubahan senyawa aktif organik majemuk terjadi di sini, menjadi senyawa asam yang mudah menguap. Bakteri yang berperan adalah bakteri penghasil asam. BOD dan COD mengalami penurunan dalam suasana netral dan waktu penahanan hidrolisis selama 40 hari.

2. Kolam Perombakan Anaerobik Sekunder I dan Anaerobik Sekunder II

Terjadi perubahan asam mudah menguap menjadi asam asetat, kemudian menjadi gas CO₂, CH₄, H₂S, H₂O. Waktu penahanan hidrolisis selama 24 hari dengan efisiensi 80%.

3. Kolam Fakultatif

Pada permukaan kolam terjadi oksidasi aerobik, lumpur mengendap di dasar kolam mengalami fermentasi anaerobik. Pada tahap ini terjadi penurunan BOD dan COD. Waktu penahanan hidrolisis selama 18 hari.

4. Kolam Aerobik I dan Aerobik II

Pada kolam aerobik ini bakteri memerlukan oksigen untuk pertumbuhan maupun respirasi. Dengan waktu penahanan hidrolisis 14 hari kolam ini dapat meningkatkan efisiensi perombakan sehingga menurunkan BOD dan COD. (Togatorop, 2009)

2.3 Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

Limbah cair kelapa sawit sebelum mengalami perlakuan di unit pengolahan limbah mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L kecuali pH)
1.	pH	4,1
2.	Total padatan	46186
3.	Total padatan tersuspensi	21170
4.	COD	37200
5.	BOD	21280
6.	Minyak/lemak	3100
7.	N-NH ₃	13
8.	Nitrogen total	41

Sumber: Togatorop, 2009

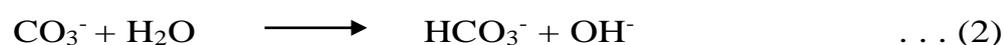
Selain itu minyak industri kelapa sawit mengandung kadar air 95%, 4,5% padatan dalam bentuk terlarut/tersuspensi dan 0,5% minyak/lemak dalam bentuk teremulsi (Togatorop, 2009).

2.3.1 pH

Limbah cair yang mempunyai pH rendah yaitu $\leq 4,3$ yang menunjukkan bahwa limbah tersebut mengandung asam-asam mineral atau asam organik yang tinggi. Selain itu mengingat gas CO₂ yang dihasilkan dari penguraian zat organik oleh mikroorganisme, seperti jamur dan bakteri baik aerob, anaerob maupun

fakultatif, maka setelah berdifusi dengan air akan terbentuk asam karbonat yang bersifat asam (Togatorop, 2009).

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):



Pada agroindustri, peningkatan keasaman disebabkan oleh kandungan asam-asam organik. Air limbah industri yang belum terolah yang dibuang langsung ke sungai akan mengubah pH air sampai memenuhi rentang pH yang sudah ditentukan yaitu kisaran pH normal (6,5-8,5), yang dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam sungai. Kondisi itu akan makin parah jika daya dukung lingkungan kecil (Sunu, 2001).

Aktivitas biologis dapat mengubah pH dari unit penanganan. Contoh-contoh reaksi biologi yang dapat menurunkan pH adalah oksidasi sulfat, nitrifikasi dan oksidasi karbon organik. Perubahan relatif dalam pH akan mempengaruhi kapasitas penyangga dari cairan dan jumlah substrat yang digunakan oleh mikroorganisme (Togatorop, 2009).

Air limbah yang mengandung konsentrasi asam organik yang cukup tinggi sering mempunyai pH yang rendah sehingga harus diatasi dengan cara menyesuaikan laju penghilangan dengan laju input massa dari asam (Hermansyah, 2012).

2.3.2 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total suspended solid atau padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak larut dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen seperti bahan-bahan organik tertentu, tanah liat dan lain-lain, mulai dari 5 mg/L sampai 30000 mg/L. Misalnya air permukaan mengandung tanah liat dalam bentuk tersuspensi (Togatorop, 2009).

Air buangan selain mengandung padatan tersuspensi dalam jumlah yang bervariasi, juga sering mengandung bahan-bahan yang bersifat koloid, seperti protein. Air buangan industri makanan mengandung padatan tersuspensi yang relatif tinggi. Padatan terendap dan padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, sehingga dapat mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesa (Togatorop, 2009).

Pengukuran langsung padatan tersuspensi (TSS) sering membutuhkan waktu cukup lama. TSS adalah jumlah bobot bahan yang tersuspensi dalam volume air tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam mg/L atau ppm (Togatorop, 2009).

Partikel tersuspensi akan menyebarkan cahaya yang datang, sehingga menurunkan intensitas cahaya yang disebarkan karena keberadaan partikel tersuspensi tersebut akan menghalangi penetrasi cahaya masuk ke perairan. Padatan tersuspensi dalam air umumnya terdiri dari fitoplankton, zooplankton, sisa tanaman dan limbah industri (Sunu, 2001).

2.3.3 *Biological Oxygen Demand (BOD)* dan *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Biological oxygen demand atau kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk memecah atau mendegradasi atau mengoksidasi limbah organik yang terdapat di dalam air. Jika konsumsi oksigen tinggi ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka berarti kandungan yang terdapat pada bahan-bahan buangan membutuhkan oksigen tinggi. Organisme hidup yang bersifat aerob membutuhkan oksigen untuk bereaksi secara biokimia, yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel, dan oksidasi sel. Komponen organik yang

mengandung senyawa nitrogen dapat pula dioksidasi menjadi nitrat, sedangkan komponen organik yang mengandung komponen sulfur dapat dioksidasi menjadi sulfat (Sunu, 2001).

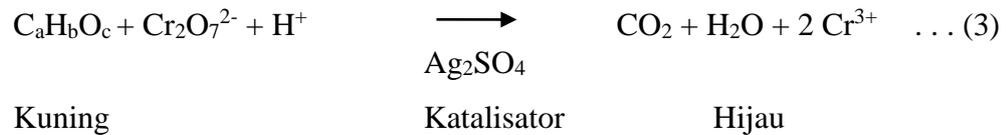
BOD juga suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses-proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi di dalam air. Penguraian limbah organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan adalah merupakan proses alamiah yang mudah terjadi apabila air lingkungan yang mengandung oksigen yang cukup (Sunu, 2001).

Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri, dan untuk mendesain sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, kalau suatu badan air dicemari oleh zat organik, bakteri dapat menghabiskan oksigen terlarut dalam air selama proses oksidasi tersebut yang dapat mematikan ikan-ikan dalam air dan keadaan menjadi anaerobik dan dapat menimbulkan bau busuk pada air tersebut (Kurniawan, 2006).

Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi zat organik dengan oksigen di dalam air dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerobik, sebagai hasil oksidasi akan terbentuk karbondioksida, amoniak dan air. Reaksi biologis pada uji BOD dilakukan pada temperatur inkubasi 20°C dan dilakukan selama 5 hari (Safitri, 2009)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau oksigen kimia untuk reaksi oksidasi terhadap bahan buangan didalam air, dalam hal ini bahan buangan organik akan dioksidasi oleh bahan kimia yang digunakan sebagai sumber oksigen *oxidizing agent* (Gunawan, 2013).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidanya adalah $K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$. 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 $K_2Cr_2O_7$ 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. Pengukuran COD membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat, yakni dapat dilakukan selama 3 jam, jika nilai antara BOD dan COD sudah diketahui, kondisi limbah cair tahu dapat diketahui (Kaswinarni, 2007).

Perbedaan dari kedua cara uji oksigen terlarut di dalam air secara garis besar yaitu *chemical oxygen demand* adalah kapasitas air untuk menggunakan oksigen selama peruraian senyawa organik terlarut dan mengoksidasi senyawa anorganik seperti amonia dan nitrit sedangkan *biological (biochemical) oxygen demand* adalah kuantitas oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik terlarut. Jika BOD suatu air tinggi maka *dissolved oxygen* (DO) menurun karena oksigen yang terlarut tersebut digunakan oleh bakteri (Pratama, 2008).

2.3.4 Amoniak bebas (NH₃-N)

Amoniak bebas disebut juga nitrogen amoniak dihasilkan dari pembusukan bakteri zat-zat organik. Air limbah yang masih baru secara relatif berkadar amoniak bebas rendah dan berkadar nitrogen organik tinggi (Purba, 2009).

Amoniak (NH₃) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH₄⁺ pada pH rendah dan disebut ammonium. Amoniak sendiri berada dalam keadaan tereduksi (-3). Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni dan tinja juga oksidasi zat organik secara mikrobiologis, yang berasal dari air alam atau air buangan industri (Purba, 2009).

Amoniak berada di mana-mana dari kadar beberapa mg/L pada air permukaan dan air tanah, sampai kira-kira 30 mg/L lebih pada air buangan. Kadar amoniak yang tinggi pada air sungai menunjukkan adanya pencemaran. Amoniak tersebut dapat dihilangkan sebagai gas melalui aerasi atau reaksi dengan asam hipoklorik (HOCl) atau kaporit dan sebagainya, hingga menjadi kloramin yang tidak membahayakan atau sampai menjadi nitrogen (Purba, 2009).

Amoniak bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Toksisitas amoniak terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu (Effendi, 2003). Pada lingkungan asam atau netral, NH_3 ada dalam bentuk ion NH_4^+ . Pada lingkungan basa, NH_3 akan dilepas ke atmosfer (Sataresmi, 2008).

Senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu akan terurai oleh mikroorganisme menjadi karbondioksida (CO_2), air serta ammonium, selanjutnya ammonium akan dirubah menjadi nitrat. Proses perubahan amoniak menjadi nitrit dan akhirnya menjadi nitrat disebut proses nitrifikasi. Untuk menghilangkan amoniak dalam limbah cair sangat penting, karena amoniak bersifat racun bagi biota akuatik (Herlambang, 2005).

2.3.4 Minyak/lemak

Di dalam limbah cair kelapa sawit mengandung limbah berupa minyak/lemak dari hasil olahan yang ikut terbawa. Minyak dikatakan gliserida dari asam lemak (R-COOH) dengan gliserol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) yang disebut juga dengan trigliserida ($\text{CH}_2\text{COOR}-\text{CHCOOR}-\text{CH}_2\text{COOR}$). Minyak hasil olahan tandan buah segar kelapa sawit dikenal dengan CPO (*Crude Palm Oil*) yang mengandung asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Minyak/lemak merupakan bahan pencemar yang banyak ditemukan di berbagai perairan karena minyak tidak larut dalam air sehingga minyak akan mengambang di atas permukaan air. Komposisi asam lemak jenuh yang terkandung dalam CPO adalah:

1. Laurat ($\text{C}_{12:0}$) < 1,2%
2. Miristat ($\text{C}_{14:0}$) 0,5 - 5,9%
3. Palmitat ($\text{C}_{16:0}$) 32 – 59%
4. Stearat ($\text{C}_{18:0}$) 1,5 – 8%
5. Arakhidat ($\text{C}_{20:0}$) < 1,0%

Sedangkan asam lemak tak jenuh yang terkandung di dalam CPO adalah:

1. Oleat ($\text{C}_{18:1}$) 27 - 52%
2. Palmitoleat ($\text{C}_{16:1}$) < 0,6%
3. Linoleat ($\text{C}_{18:2}$) 5,0 – 14%
4. Linolenat ($\text{C}_{18:3}$) < 1,5

2.4 Elektrokoagulasi

2.4.1 Pengertian Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses flokulasi-koagulasi. Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat dua buah penghantar arus listrik searah yang kita kenal sebagai elektroda. Adapun bagian elektroda yang tercelup ke dalam larutan limbah akan dijadikan sebagai elektrolit. Apabila dalam satu larutan elektrolit ditempatkan dua elektroda kemudian elektroda tersebut dialiri oleh arus listrik searah maka akan terjadi suatu proses elektrokimia yang berupa gejala dekomposisi elektrolit, yaitu ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi sehingga nantinya akan membentuk flok yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam limbah.

2.4.2 Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dikenal juga sebagai elektrolisis gelombang pendek. Elektrokoagulasi merupakan suatu proses yang melewatkan arus listrik ke dalam air. Itu dapat digunakan menjadi sebuah uji nyata dengan proses yang sangat efektif untuk pemindahan bahan pengkontaminasi yang terdapat dalam air. Proses ini dapat mengurangi lebih dari 99% kation logam berat. Pada dasarnya sebuah elektroda logam akan teroksidasi dari logam M menjadi kation (M^{n+}). 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 kedalam 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 dan pada akhirnya akan terbentuk suatu flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari air baku tersebut.

Interaksi – interaksi yang terjadi dalam larutan yaitu (Holt P, 2004):

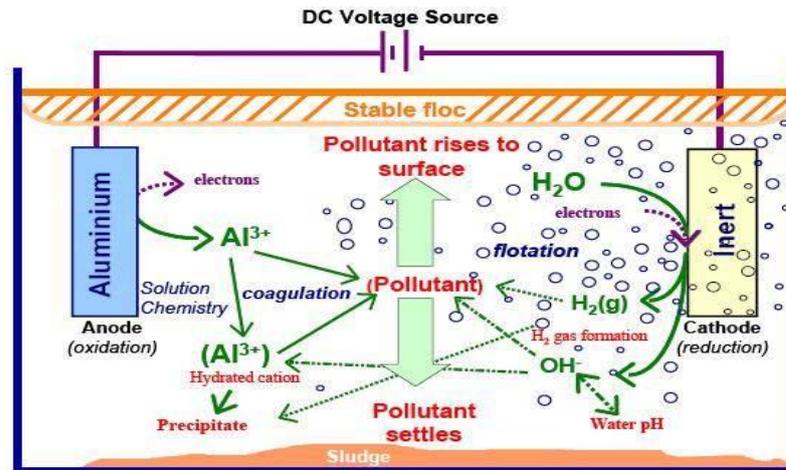
1. Migrasi menuju muatan elektroda yang berlawanan (elektroporesis) dan netralisasi muatan.
2. Kation ataupun ion hidroksil membentuk sebuah endapan dengan pengotor.
3. Interaksi kation logam dengan OH membentuk sebuah hidroksida dengan sifat adsorpsi yang tinggi selanjutnya berikatan dengan polutan (*bridge coagulation*).
4. Senyawa hidroksida yang terbentuk membentuk gumpalan (flok) yang lebih besar.
5. Gas hidrogen membantu flotasi dengan membawa polutan ke dalam lapisan *bulk* flok di permukaan cairan.

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. Dekomposisi elektrolit ini adalah ion positif (kation) bergerak ke katoda dan (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron menerima elektron yang dioksidasi sehingga membentuk flok yang mampu mengikat kontaminan dan partikel-partikel dalam air. Elektrokoagulasi memiliki kemampuan untuk membersihkan berbagai polutan dengan berbagai kondisi mulai dari zat-zat padat tersuspensi, logam berat, produk petroleum, warna dari larutan yang mengandung pewarna, humus cair, dan defluoridasi air.

Mekanisme yang mungkin 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^-). Elektrokoagulasi memasukkan kation logam in situ, secara elektrokimia, dengan menggunakan anoda yang digunakan (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 setiap partikel koloid dengan pembentukan kompleks polihidroksida poliven. Komplek-komplek ini memiliki

sifat-sifat penyerapan yang tinggi, yang membentuk agregat dengan polutan. Evolusi gas hidrogen membantu dalam pencampuran dan karenanya membantu flokulasi. Begitu flok dihasilkan, gas elektrolitik menimbulkan efek pengapungan yang memindahkan polutan ke lapisan flok-foam pada permukaan cairan. Mekanisme elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Holt, 2002

Gambar 1. Mekanisme Elektrokoagulasi

2.4.4 Plat Elektroda

Pada dasarnya, proses elektrokoagulasi merupakan pengembangan dari proses elektrolisis yang menggunakan elektroda sebagai titik tumpu pengendali prinsip kerja sistem ini. Elektrolisis merupakan penguraian elektrolit oleh arus listrik searah dengan menggunakan dua macam elektroda. Adapun elektroda yang digunakan yaitu berupa katoda dan anoda. Dalam prosesnya, katoda bertindak sebagai kutub negatif. Pada katoda terjadi reaksi reduksi, yaitu kation (ion positif) yang ditarik oleh katoda dan akan menerima tambahan elektron, sehingga bilangan oksidasinya berkurang.

Dalam prakteknya, katoda akan menghasilkan ion hidrogen yang mengangkat berbagai flokulan yang terbentuk pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, sehingga setelah proses elektrokoagulasi selesai, maka akan terlihat bercak-bercak putih yang terdapat pada katoda tanda dari keluarnya ion hidrogen pada bagian tersebut.

Berbeda dengan katoda maka pada proses elektrolisis maupun elektrokoagulasi, anoda berperan sebagai kutub positif. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi, yaitu anion (ion negatif) ditarik oleh anoda dan jumlah elektronnya akan berkurang sehingga oksidasinya bertambah. Maka hal inilah yang menyebabkan bahwa pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, flokulan-flokulan yang terbentuk akan banyak menempel pada anoda sebagai agen koagulan.

2.4.5 Reaksi Pada Elektroda

Terdapat dua macam reaksi yang terjadi 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. Menurut Johannes (1978) reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

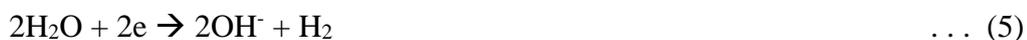
a) Reaksi pada Katoda

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.



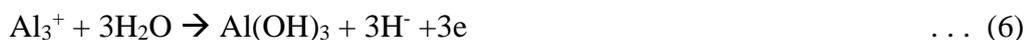
Dari daftar E^0 (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

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
-):



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:

**2.4.6 Logam Aluminium**

Aluminium merupakan salah satu logam anorganik yang dijumpai dalam air minum. Konsentrasi aluminium yang tinggi bisa mengendap sebagai aluminium hidroksida yang mempengaruhi kehidupan air. Perannya tidak bisa dihindari karena senyawa-senyawa aluminium ditambahkan bukan hanya ke suplai air tetapi juga ke makanan dan obat yang diproses.

Aluminium merupakan unsur yang tidak berbahaya. Perairan alami biasanya memiliki kandungan aluminium kurang dari 1,0 mg/L. Perairan asam (*acidic*) memiliki kadar aluminium yang lebih tinggi. Untuk memelihara kehidupan organisme akuatik sebaiknya tidak lebih dari 0,005 g/L bagi perairan dengan $\text{pH} < 6,5$. Kadar aluminium pada perairan biasanya sekitar 0,01 mg/L. Percobaan toksisitas aluminium terhadap *Avertebrata Chironomus Anthrocinus* menunjukkan bahwa kadar aluminium 1 mg/L pada perairan dengan pH 3,5-6,5 tidak mengakibatkan terjadinya tingkat mortalitas.

Pada perairan yang bersifat asam (pH sekitar 4,4-5,4) aluminium bersifat lebih toksik. Toksisitas aluminium maksimum terjadi pada pH 5,0-5,2. Di perairan, aluminium (Al) biasanya terserap ke dalam sedimen atau mengalami presipitasi. Aluminium dan bentuk oksida aluminium bersifat tidak larut. Akan tetapi, garam-garam aluminium sangat mudah larut. Sumber aluminium adalah mineral aluminosilikat yang terdapat pada batuan dan tanah secara melimpah.

Pada proses pelapukan batuan, aluminium berada dalam bentuk residu yang tidak larut misalnya bauksit.

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 digunakan dalam proses elektrokoagulasi karena nilai konduktivitasnya yang cukup tinggi sehingga dianggap baik untuk menghantarkan muatan-muatan listrik dalam proses tersebut. Selain itu, harga aluminium yang relatif terjangkau dan terkenal sebagai bahan yang tahan korosi.

2.4.7 Arus pada Elektroda

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu. Muatan listrik bisa mengalir melalui kabel atau penghantar listrik lainnya. Arus konvensional didefinisikan sebagai aliran muatan positif, walaupun arus listrik itu dihasilkan dari aliran elektron yang bermuatan negatif ke arah yang sebaliknya. Satuan SI untuk arus listrik adalah ampere (A). Arus listrik adalah besaran skalar karena baik muatan maupun waktu merupakan besaran skalar. Arus listrik merupakan gerakan kelompok partikel bermuatan listrik dalam arah tertentu. Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah (berlawanan arah dengan gerak elektron). Secara matematis, nilai arus listrik dapat dicari dengan cara membandingkan nilai beda potensial yang terdapat rangkaian dengan nilai hambatan yang terjadi.

2.4.8 Keuntungan dan Kerugian Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode elektrokimia untuk mengolah air tercemar yang telah berhasil diterapkan tidak hanya untuk pengolahan larut atau koloid polutan, limbah cair industri susu, kilang minyak sayur, air limbah nitrat, air limbah yang mengandung logam berat, dan senyawa fenolik dan pestisida tapi juga air fluoride dan pengolahan asam humat (Bazrafshan dkk., 2012).

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 oksidasi 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 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. Gelombang 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 ke dalamnya.

Kerugian dari penggunaan elektrokoagulasi:

- 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

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

b. Waktu

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

c. 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 logam dengan medium.

d. Kadar keasaman (pH)

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

e. Ketebalan plat

Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar. Hal ini juga berkaitan dengan panjang dan lebar plat, tetapi panjang dan lebar plat menyesuaikan dengan sel elektrolisis karena bagian plat elektroda yang berpengaruh untuk terjadinya elektrolisis hanya pada bagian tercelup saja. Bagian yang tercelup inilah yang menjadi larutan elektrolit. Panjang dan lebar plat ini

harus sesuai dan tidak bisa dibuat seukuran dengan sel elektrolisis untuk mencegah adanya reaksi antara sel elektrolisis dengan elektroda.

f. Jarak antar elektroda

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

2.5 Hukum Faraday

Elektrolisis sangat erat kaitannya dengan Hukum Faraday yang dikemukakan oleh Michael Faraday yang mengkaji perubahan energi listrik dari atau ke energi kimia. Hukum Faraday I berbunyi “jumlah massa dari zat kimia yang dihasilkan pada elektroda selama elektrolisis adalah sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir pada arus listrik tersebut.” Dari Hukum Faraday I tersebut diperoleh rumus:

$$w = \frac{e \cdot i \cdot t}{F} \quad \dots (9)$$

Di mana:

- w = massa zat (gram)
- e = massa ekivalen (M/valensi)
- i = kuat arus (Ampere)
- t = waktu (detik)
- F = tetapan Faraday = 96500 Coulumb