

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Elektroplating**

Industri elektroplating merupakan salah satu industri di Indonesia yang berkembang semakin pesat. Perkembangan ini juga memberikan dampak positif maupun dampak negatif. Dampak positifnya berupa beragamnya produk-produk elektroplating yang banyak diminati oleh masyarakat sesuai dengan kemajuan zaman yang semakin modern. Dampak negatifnya adalah meningkatnya limbah cair elektroplating yang mengandung ion-ion logam berat yang berbahaya. Limbah cair elektroplating mengandung Bahan Berbahaya Beracun (B3) (Cahyanti, 2017).

Elektroplating adalah suatu proses perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui elektrolit sehingga ion logam mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam. Lapisan logam yang mengendap disebut deposit. Pengendapan terjadi pada benda kerja yang berlaku sebagai katoda. Sumber arus listrik searah dihubungkan dengan dua buah elektroda yaitu katoda dan anoda. Katoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif sedangkan anoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif (Sari, 2010).

Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan deposisi lapisan tipis pelindung (biasanya logam) ke dalam permukaan logam yang telah dipersiapkan menggunakan proses elektrokimia. Benda yang dikenai pelapisan harus merupakan konduktor. Proses elektroplating terdiri dari *pretreatment* (pencucian, *degreasing*, dan lain-lain), pelapisan, *passivating*, dan pengeringan. Objek yang akan dilapisi dalam proses elektroplating biasanya digunakan sebagai katoda pada tangki elektrolit. Jenis larutan elektrolit yang sering digunakan adalah asam, basa, dan ion kompleks seperti sianida. Pelapisan nikel dan kromium secara umum bertujuan untuk membuat benda mempunyai permukaan yang lebih keras, mengkilap, dan tahan terhadap korosi karat (Nugroho, 2014).

Prinsip elektroplating adalah pelapisan suatu logam secara elektrolisa melalui penggunaan arus listrik searah (*direct current/DC*) dan larutan kimia (elektrolit) digunakan sebagai penyuplai ion-ion logam membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda katoda. Terjadinya endapan karena adanya ion ion bermuatan listrik yang berpindah secara terus menerus dari suatu elektroda melalui larutan elektrolit (Presetyaningrum, 2018).

Secara umum proses pengerjaan barang-barang yang dilapisi logam adalah sebagai berikut (Sari, 2010):

a. Pembersihan dan Pengupasan

Pada tahap awal adalah mempersiapkan logam yang akan dilapisi dengan cara pembersihan dan pengupasan. Lemak atau minyak yang menempel dapat dihilangkan dengan pelarut benzena, trikloroetilin, metil klorida, 3 toluena dan karbon tetraklorida atau larutan alkali yang mengandung natrium karbonat, sianida, borak, sabun atau pembersih lain.

b. Pengasaman

Pengasaman adalah proses penghilangan kerak dan karat dari logam dengan menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan asam klorida (HCl).

c. Pencelupan/pelapisan tanpa listrik

Bahan pencelupan atau pelapisan tanpa listrik berfungsi sebagai pengaktivasi benda kerja yang akan diplating atau dilapisi. Bahan-bahan pencelup yang dipakai umumnya adalah larutan asam kuat yaitu HCl dan  $H_2SO_4$ .

d. Elektroplating

Proses pelapisan benda kerja menggunakan listrik.

e. Pembilasan

Pembilasan dapat dilakukan dalam air mengalir atau disemprot untuk menghilangkan sisa larutan elektrolit yang menempel pada benda kerja

Prinsip dasar dari pelapisan logam secara listrik ini adalah penempatan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi. Ion-ion logam tersebut didapatkan dari anoda dan elektrolit yang digunakan anoda dihubungkan dengan kutub positif listrik. Katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari

sumber arus listrik. Anoda dan katoda direndam dalam larutan elektrolit. Jika arus listrik dialirkan maka pada katoda akan terjadi endapan (pelapisan logam). Adanya arus listrik yang mengalir dari sumber maka elektron dialirkan melalui elektroda positif (anoda) menuju elektroda negatif (katoda) dan dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan perpindahan logam yang melapisi permukaan logam lainnya (Sari, 2010).

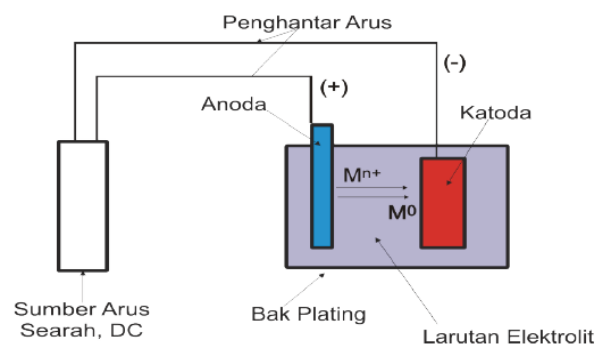
Benda kerja merupakan benda yang akan dilapisi dan harus bersifat konduktif atau menghantarkan arus listrik serta berfungsi sebagai katoda. Proses pelapisan pada benda kerja dilakukan pada suatu elektrolit yang mengandung senyawa logam. Untuk meningkatkan hantaran arus dapat ditambahkan asam atau basa. Ion logam ( $M^{n+}$ ) dalam elektrolit yang bermuatan positif bergerak menuju benda kerja sebagai katoda yang bermuatan negatif sehingga ion logam  $M^{n+}$  akan tereduksi menjadi logam  $M$  dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Reaksinya dituliskan sebagai berikut (Sari, 2010):



Ion logam dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel di katoda, posisinya akan diganti oleh anoda logam yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit atau dari penambahan larutan senyawa logam. Pada anoda terjadi oksidasi. Reaksinya dituliskan sebagai berikut:



Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda semakin lama berkurang, dan terjadi pengendapan logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja.



Sumber: Sari, 2010

Gambar 1. Proses elektroplating

## 2.2 Limbah Elektroplating

Proses elektroplating tidak hanya menghasilkan produk yang berguna, proses ini juga menghasilkan limbah padat, emisi gas, dan cair. Limbah padat berasal dari proses penghilangan kerak, *polishing*, maupun kotoran sisa pada bak elektroplating. Limbah berupa emisi gas pada umumnya berasal dari penguapan larutan elektrolit, *solvent*, uap asam, maupun cairan pembersih. Limbah cair berupa air limbah yang berasal dari pencucian, pembersihan, dan proses elektroplating. Kandungan dari air limbah terdiri dari logam-logam terlarut, *solvent*, dan senyawa organik maupun anorganik terlarut lainnya (Sari, 2010).

Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan, dan tembaga. Limbah elektroplating merupakan logam berat dalam bentuk kompleks yang terdiri dari krom (Cr), kobalt (Co), tembaga (Cu), nikel (Ni), seng (Zn), dan sianida (CN). Konsentrasi limbah ini masih cukup tinggi (>1000 ppm (total padatan), dengan COD 900 ppm). Debit limbah terbesar didapatkan dari proses pencucian logam. Jika akumulasi dalam penampungan semakin besar, maka akan terjadi intrusi ke dalam air permukaan. Hal ini dapat menimbulkan keracunan air minum dan penurunan derajat kesehatan masyarakat (Prasetyaningrum, 2018).

Kuantitas limbah yang dihasilkan dari proses elektroplating tidak terlampaui besar, tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya, terutama krom, nikel, dan seng. Kondisi operasi, proses pelapisan, dan cara pembilasan yang dilakukan mempengaruhi variasi dari karakteristik dan tingkat toksisitas air limbah elektroplating (Nurhasni, 2013).

Tabel 1. Karakteristik limbah elektroplating

Sifat	Nilai
pH	6,9
Cr <sup>6+</sup> (ppm)	16,0298
Ni (ppm)	0,9874
TDS (ppm)	197
Warna	Kuning terang

Sumber: Nugroho, 2014

Pengolahan limbah cair ini dapat dilakukan secara fisika, kimia, elektrokimia, maupun biologi. Jenis pengolahan limbah dilakukan tergantung dari karakteristik senyawa-senyawa yang ada pada limbah cair tersebut. Pengolahan

limbah yang dilakukan oleh para pengrajin pada umumnya menggunakan metode pengendapan (sedimentasi) dan penggumpalan (koagulasi). Kedua proses ini dilakukan dengan menggunakan kontrol pH. Parameter pH memengaruhi keberadaan spesies kimia di dalam limbah cair tersebut (Sari, 2010).

Langkah-langkah pengolahan limbah yang dilakukan oleh para pengrajin penyepuhan logam secara umum adalah (Sari, 2010):

1. Netralisasi limbah cair. Limbah cair yang bersifat asam dapat dicampur dengan limbah cair yang bersifat basa sehingga terjadi netralisasi. Jika pH limbah masih bersifat asam maka dinetralkan dengan larutan kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dan jika bersifat basa maka dinetralkan dengan penambahan asam klorida ( $\text{HCl}$ ) atau asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
2. Mengatur pH limbah dengan penambahan larutan kapur ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), soda api ( $\text{NaOH}$ ), dan soda abu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) pada pH 8-10. Untuk tiap 100 L ditambahkan kapur, soda api, dan soda abu masing-masing 1-2 kg. Pengukuran pH dikontrol dengan kertas pH.
3. Penambahan koagulan berupa tawas untuk mempercepat terbentuk gumpalan dan endapan. Untuk tiap 100 L ditambahkan tawas 1 kg.
4. Membiarkan pengendapan terjadi selama beberapa hari. Limbah cair yang sudah diendapkan dibuang ke badan air dan endapan yang terbentuk ditimbun di dalam tanah atau ditampung pada *septic tank*

### 2.3 Elektrokoagulasi

Teknologi elektrokoagulasi sering dikenal sebagai elektrolisis gelombang pendek yang diduga dapat menjadi pilihan teknologi pengolahan limbah radioaktif dan limbah berbahaya beracun yang merupakan gabungan dua proses, yaitu elektrokimia dan koagulasi-flokulasi (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi merupakan proses penggumpalan dan pengendapan partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi biasa dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat penghantar arus listrik yang dinamakan elektroda. Proses elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan limbah yang dikembangkan

secara luas untuk pengolahan berbagai limbah di antaranya limbah industri tekstil, limbah *laundry*, limbah *electroplating*, limbah minyak, limbah industri kertas, dan *pulp*. Selain itu, proses elektrokoagulasi juga dapat memindahkan berbagai kontaminan bakteri, virus, arsen, fosfat, sulfit, sulfat, boron, nitrat, florida, dan krom (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi adalah salah satu teknologi yang efisien dan mudah dalam pengoperasiannya untuk mengurangi kadar logam berat melalui reaksi elektrolisis dan tidak dibutuhkan penambahan koagulan kimia (Ratnawati, 2012). Pada saat dialirkan arus DC pada proses ini, akan terjadi perbedaan potensial di antara elektroda katoda dan anoda sehingga akan terjadi reaksi oksidasi pada logam yang menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan gas oksigen. Sementara itu, air tereduksi pada katoda yang menghasilkan ion hidroksil ( $OH^-$ ) dan gas hidrogen (Ridantami, 2016).

Elektrokoagulasi telah banyak digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah, diantaranya penghilangan warna pada limbah pabrik teh, pengolahan limbah tekstil, pengolahan limbah zat warna, pemurnian air laut, penghilangan hidrokuinon dari air, dan penghilangan logam-logam berat di perairan (Yusbarina, 2014).

Teknologi ini dianggap sebagai teknologi yang berpotensi efektif untuk mengolah banyak jenis air limbah dengan efisiensi dekolerasi tinggi dan pembentukan lumpur yang relatif sedikit. Pengolahan air dan air limbah dalam elektrokoagulasi didasarkan pada pembubaran elektrokimia elektroda logam korban menjadi spesies yang larut atau tidak larut yang meningkatkan koagulasi, adsorpsi atau presipitasi polutan yang larut atau koloid dengan efisiensi penghilangan yang tinggi. Proses elektrokoagulasi melibatkan pengaliran arus listrik ke elektroda pengorbanan (kebanyakan besi dan aluminium) di dalam tangki reaktor dimana saat ini menghasilkan agen koagulasi dan gelembung gas (Abbas, 2018). Proses elektrokoagulasi terdiri dari reaksi:

1. Reaksi elektrolitik di elektroda
2. Pembentukan koagulan
3. Adsorpsi polutan
4. Penghapusan koloid dengan sedimentasi atau pengapungan

Keefektifan elektrokoagulasi sangat dipengaruhi oleh parameter operasional, yaitu pH awal, penambahan elektrolit garam, kerapatan arus, waktu elektrolisis, dan konsentrasi awal limbah (Yusbarina, 2014).

Proses elektrokoagulasi terbentuk melalui pelarutan logam dari anoda yang kemudian berinteraksi secara simultan dengan ion hidroksi dan gas hidrogen yang dihasilkan dari katoda. Elektrokoagulasi telah ada sejak tahun 1889 yang dikenalkan oleh Vik dengan membuat suatu instalasi pengolahan untuk limbah rumah tangga (*sewage*). Tahun 1909 di *United States*, J.T. Harries telah mematenkan pengolahan air limbah dengan sistem elektrolisis menggunakan anoda aluminium dan besi (Basrori, 2012).

Elektrokoagulasi didasarkan pada sel elektrolitik yang terdiri dari perangkat yang dapat membuat langsung arus energi listrik (DC) untuk menghasilkan reaksi elektrolisis. Prinsip dasar dari elektrokoagulasi adalah reduksi dan oksidasi (redoks). Selain elektroda dan reaksi elektrokoagulasi, air juga ikut terlibat sebagai larutan elektrolit (Rusdianasari, 2017).

Proses elektrokoagulasi terjadi karena presipitasi elektrolitik dengan adanya medan listrik di antara dua elektroda sehingga terlepaslah ion Al dari anoda melalui reaksi oksidasi. Ion tersebut terhidrolisis menjadi hidroksida kompleks yang disebut koagulan, dan selanjutnya akan mendestabilkan kontaminan dalam limbah, yang kemudian akan terjadi adsorpsi oleh partikel-partikel bermuatan negatif atau koloid bermuatan negatif dari limbah yang ada di sekitarnya (Ridantami, 2016).

Pada umumnya, proses elektrokoagulasi terjadi karena transfer elektron dari satu elektroda ke elektroda lainnya, di mana aliran listrik yang disediakan oleh tegangan dialirkan di antara dua elektroda. Pada proses elektrokoagulasi tegangan yang biasa digunakan antara 0-60 V. Selain proses elektrokimia, pada proses elektrokoagulasi juga terjadi flotasi elektrolitik, karena gas yang terbentuk di katoda berupa gas hidrogen akan membuat aluminium hidroksida kompleks ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) yang terbentuk akan mengikat kontaminan dalam air limbah (Ridantami, 2016).

Hidroksida kompleks yang mengikat kontaminan membentuk flok. Adanya gas hidrogen menyebabkan flok yang terbentuk terangkat ke permukaan reaktor.

Proses berjalan secara terus-menerus secara simultan, sehingga seiring berjalannya waktu, flok yang terbentuk akan semakin banyak dan saling bertumbukan. Tumbukan antar flok menyebabkan berat jenis flok meningkat sehingga sebagian akan jatuh ke dasar reaktor dalam bentuk *sludge* (Ridantami, 2016).

Pada suatu sel elektrokoagulasi, peristiwa oksidasi terjadi di elektroda (+) yaitu anoda, sedangkan reduksi terjadi di elektroda (-) yaitu katoda. Selain elektroda, air yang diolah juga terlibat dalam reaksi elektrokoagulasi sebagai larutan elektrolit. Elektrokoagulasi mampu menyisihkan berbagai jenis polutan dalam air, yaitu partikel tersuspensi, logam-logam berat, warna pada zat pewarna, dan berbagai zat berbahaya lainnya (Wiyanto, 2014).

Proses elektrokoagulasi ini dilakukan dengan memasukan dua elektroda dari lempengan logam aluminium (Al) atau besi (Fe) ke dalam elektrolit (air limbah) pada suatu bak reaktor, dimana salah satu menjadi anoda dan lainnya menjadi katoda. Lempengan tersebut disusun dengan jarak tertentu dan dialiri dengan listrik arus searah, sehingga elektroda logam aluminium/besi tersebut sedikit demi sedikit akan larut ke dalam air membentuk ion  $Al^{3+}$  atau  $Fe^{3+}$  oleh reaksi hidrolisa air akan membentuk  $Al(OH)_3 \cdot H_2O$  atau  $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$  yang merupakan koagulan yang sangat efektif (Nofitasari, 2013).

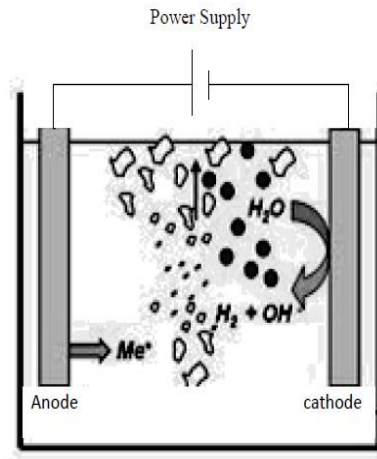
Pada proses elektrokoagulasi ini, pada anoda aluminium terjadi reaksi oksidasi aluminium menghasilkan ion  $Al^{3+}$ . Rapat arus anoda (IA) merupakan laju reaksi oksidasi Al menjadi  $Al^{3+}$  yang terjadi pada permukaan anoda dengan luas tertentu. Sementara itu pada katoda reaksi yang terjadi adalah  $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$ . Secara fisik rapat arus katoda diartikan laju pembentukan gas  $H_2$  yang terjadi pada permukaan katoda dengan luas tertentu (Yusbarina, 2014).

Elektrokoagulasi diartikan juga sebagai proses pengolahan air dimana arus listrik diterapkan di elektroda untuk menghilangkan berbagai kontaminan air seperti pada Gambar 2. Elektrokoagulasi merupakan teknologi tanpa bahan kimia pada proses koagulasi dan mampu menurunkan parameter kekeruhan dan warna (Wiyanto, 2014).

Elektrokoagulasi mempunyai efisiensi yang tinggi dalam penghilangan kontaminan dan biaya operasi yang lebih rendah. Reaktor elektrokoagulasi adalah



sel elektrokimia dimana anoda (biasanya menggunakan aluminium atau besi) digunakan sebagai agen koagulan. Secara simultan, gas-gas elektrolit dihasilkan (hidrogen pada katoda). Beberapa material elektroda dapat dibuat dari aluminium, besi, *stainless steel*, dan platina (Wiyanto, 2014).



Sumber: Wiyanto, 2014

Gambar 2. Proses elektrokoagulasi

Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Wiyanto, 2014).

### 2.3.1 Katoda

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

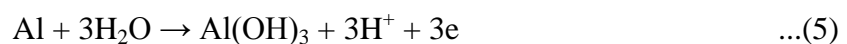


Larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen ( $H_2$ ) pada katoda.



### 2.3.2 Anoda

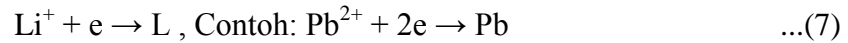
Anoda terbuat dari logam aluminium akan teroksidasi.



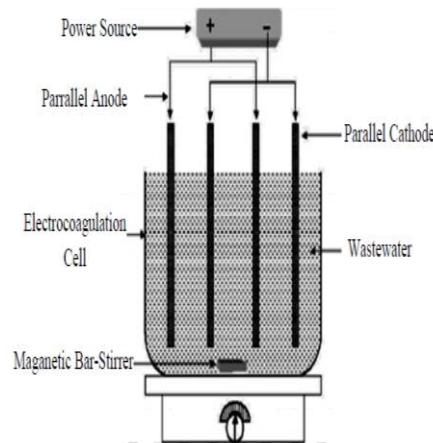
Ion  $\text{OH}^-$  dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen ( $\text{O}_2$ ),



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



Reaksi tersebut menunjukkan bahwa pada anoda akan dihasilkan gas, buih, dan flok  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Selanjutnya flok yang terbentuk akan mengikat unsur yang ada di dalam limbah, sehingga flok akan memiliki kecenderungan mengendap. Selanjutnya flok yang telah mengikat kontaminan tersebut diendapkan pada bak sedimentasi (proses sedimentasi) dan sisa buih akan terpisahkan pada unit filtrasi (Wiyanto, 2014).



Sumber: Wiyanto, 2014

Gambar 3. Skema alat elektrokoagulasi

Adapun zat-zat polutan yang dapat dijernihkan dengan proses elektrokoagulasi, diantaranya: aluminium, fosfat, arsen, bakteri, barium, kadmium, kobalt, tembaga, *chromium*, pestisida, magnesium, mangan, merkuri, nikel, silikon, *petroleum hydrocarbon* (Wiyanto, 2014).

### 2.3.3 Hukum Faraday Pada Sel Elektrokimia (Elektrolisis)

Hukum Faraday menyatakan bahwa massa yang dihasilkan dalam suatu sistem sel elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik yang mengalir dalam sel tersebut. Menurut Faraday 1 mol elektron mengandung 96500 C, jadi

harga 1 F adalah 96500 C/mol elektron.

Hukum Faraday 1 menyatakan bahwa harga untuk muatan listrik yaitu:

$$q = n \times F \quad \dots(8)$$

Dimana:

$q$  = Muatan listrik (C)

$n$  = Mol elektron (mol)

$F$  = Ketetapan faraday (96500 C/mol)

Besarnya muatan listrik di suatu titik kawat jika arus listrik  $i$  (Ampere) melewati selama  $t$  (detik), maka secara matematis dapat dirumuskan:

$$q = i \times t \quad \dots(9)$$

Dimana:

$q$  = Muatan listrik (C)

$i$  = Arus listrik (Ampere)

$t$  = Waktu (detik)

#### 2.3.4 Perbandingan Stoikiometri Pada Reaksi

Menurut Hukum Avogadro pada temperatur dan tekanan yang sama, volume yang sama dari semua gas mengandung jumlah molekul yang sama, sebagai contoh:



Jumlah molekul  $\text{H}_2$  yang bereaksi dan jumlah molekul  $\text{NH}_3$  yang terbentuk jika reaksi berlangsung pada temperature dan tekanan yang sama sesuai dengan perbandingan koefisiennya, maka dirumuskan dengan persamaan 11.

$$\text{mol H}_2 \times \text{koef H}_2 = \text{mol NH}_3 \times \text{koef NH}_3 \quad \dots(11)$$

#### 2.3.5 Kelebihan dan Kekurangan Proses Elektrokoagulasi

Adapun kelebihan dari proses elektrokoagulasi yaitu (M.Bharath, 2018):

1. Elektrokoagulasi melibatkan peralatan yang sederhana dan mudah digunakan.
2. Elektrokoagulasi membutuhkan biaya investasi, perawatan, energi, dan perawatan yang rendah.

3. Elektrokoagulasi air limbah yang diolah menghasilkan air yang bagus, tidak berbau, jernih, dan tidak berwarna.
4. Elektrokoagulasi adalah proses produksi lumpur rendah. *Sludge* yang dihasilkan elektrokoagulasi terutama terdiri dari logam oksida/hidroksida.
5. Tidak ada bahan kimia tambahan yang diperlukan dalam proses elektrokoagulasi.
6. Flok yang dibentuk oleh elektrokoagulasi mirip dengan flok kimia. Flok elektrokoagulasi memiliki ukuran yang jauh lebih besar, tidak mengandung banyak air, dan tahan asam dan lebih keras.
7. Penggunaan kembali efluen yang dihasilkan elektrokoagulasi berkontribusi pada biaya pemulihan air yang lebih rendah karena mengandung lebih sedikit jumlah total padatan terlarut (TDS) yang terkait dengan perawatan kimia.
8. Gelembung gas yang dihasilkan pada saat elektrolisis dapat menghasilkan polutan ke atas larutan di mana ia dapat dipisahkan tanpa kesulitan.
9. Elektrokoagulasi memberikan rentang pH yang lebih efisien dan hasil netralisasi pH dan dapat digunakan dengan tepat sumber energi terbarukan.

Adapun kekurangan dari proses elektrokoagulasi yaitu (M.Bharath, 2018):

1. Anoda korban dilarutkan ke dalam larutan karena oksidasi dan perlu diganti secara teratur selang.
2. Konduktivitas suspensi air limbah harus tinggi.
3. Hidroksida kental mungkin larut dalam beberapa kasus.
4. Listrik mungkin tidak mudah tersedia dan mahal di beberapa daerah.
5. Efisiensi unit koagulasi elektro berkurang karena film oksida tahan yang dibentuk pada katoda.

## 2.4 Elektrokoagulator

Elektrokoagulator merupakan alat yang digunakan pada proses pengolahan limbah cair tanpa penambahan bahan kimia. Alat elektrokoagulator ini dilengkapi dengan serangkaian alat *pretreatment* berupa proses filtrasi yaitu *filter* dengan pasir silika dan karbon aktif. Selain itu juga terdapat elektroda untuk proses

elektrolisis, busa polypropylen, *filter cartridge* dan *filter RO (Reverse Osmosis)*. Pada alat ini juga dilengkapi *smart sensor* yang dapat mengukur nilai pH, TDS, dan konduktivitas.

#### 2.4.1 Filtrasi

Filtrasi adalah proses pemisahan padatan dari larutan untuk menyisihkan partikel-partikel tersuspensi yang sangat halus di mana larutan tersebut dilewatkan melalui suatu media berpori atau materi berpori. Proses ini digunakan pada instalasi pengolahan air minum untuk menyaring air yang telah dikoagulasi dan diendapkan untuk menghasilkan air minum dengan kualitas yang baik (Jannah, 2019).

Hal-hal yang memengaruhi filtrasi antara lain ukuran media, bukaan pori-pori media, dan luas permukaan, sifat dan karakteristik air baku. Peralatan yang digunakan dalam proses filtrasi media berupa *packed* kolom, *fixed bed*, dan *fluidized bed* (Suliasuti, 2017).

Proses filtrasi pada air melalui pengaliran air pada media butiran. Filtrasi air dapat menghilangkan bakteri, warna, kekeruhan, dan kandungan logam seperti besi. Filtrasi air menggunakan media pasir silika, zeolit, dan arang aktif. Pada proses penyaringan, partikel-partikel yang cukup besar akan tersaring pada media pasir, sedangkan media zeolit dan arang aktif berfungsi untuk menyaring bakteri dan kandungan logam dalam air. Ruang antar butir berfungsi sebagai tempat sedimentasi bahan-bahan pengotor dalam air (Mugiyantoro, 2014).

Filtrasi memiliki dua jenis metode pengolahan yaitu, filtrasi pasir cepat (*rapid sand filter*) dan filtrasi pasir lambat (*slow sand filter*). *Rapid sand filter* merupakan penyaringan dengan kecepatan penyaringan relatif lebih besar dibandingkan dengan *slow sand filter* (Jannah, 2019).

Laju filtrasinya dibedakan menjadi dua yaitu (Kotta, 2019):

1. *Slow sand filter* atau saringan pasir lambat

Pada filter ini medium pasir pada umumnya hanya diisyaratkan bebas lumpur dan organik. Ukuran untuk diameter butiran pasir dari atas ke bawah tidak teratur (tidak terstratifikasi). Proses penyaringan yang lambat dalam *slow filter sand* maka untuk menciptakan kontak yang cukup lama antara air

dengan media *filter* sehingga proses biologis terjadi, terutama pada permukaan media tersebut. Biomasa yang terbentuk pada medium *filter* bersama *suspended particle* disebut sebagai '*semuts decke*' yang memiliki sifat fisik aktif dalam proses penyisihan senyawa organik dan anorganik.

## 2. *Rapid sand filter*

Mekanisme penyaring pada *rapid sand filter* ini sama dengan mekanisme yang ada pada *slow sand filter*. Perbedaan di antara keduanya adalah pada bahan pengolahan dan penggunaan media *filter*. Beban peran yang diperuntukkan pada RSF jauh lebih tinggi dari SSF. RSF mempergunakan hampir seluruh media sebagai media *filter* sedangkan SSF hanya pada lapisan paling atas saja. Selain itu, RSF hanya efektif untuk menyaring suspensi kasar dalam bentuk flok halus yang lolos dari sedimentasi sedangkan pada SSF dapat menyaring suspensi halus (bukan koloid) dan memiliki lapisan biomassa yang aktif

Penyisihan kekeruhan dan *headloss* sangat dipengaruhi oleh ketinggian media *filter*. Semakin tinggi media *filter* maka penyisihan kekeruhan akan semakin baik namun *headloss* yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin tinggi media *filter* maka semakin banyak ruang kosong antar partikel sehingga partikel yang terjebak dalam media *filter* akan semakin banyak dan penyisihan semakin baik (Jannah, 2019).

### 2.4.2 Pasir Silika

Pada unit filtrasi media yang dapat mengurangi kadar kekeruhan adalah pasir silika. Pasir ini sangat berbeda dengan pasir pada umumnya. Media *filter* air yang satu ini dapat digunakan secara efektif dalam melakukan penyaringan air. Selain menyaring air pasir, silika dapat memisahkan air dan lumpur serta partikel-partikel lainnya yang terdapat di dalam air (Jannah, 2019).

Pasir kuarsa (silika) dikenal dengan nama pasir putih. Pasir silika mempunyai komposisi gabungan dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$  yang berwarna putih bening atau warna yang lain bergantung pada senyawa pengotornya. Kualitas pasir silika yang terbaik terdapat di daerah

Kalimantan Selatan dengan kadar silika ( $\text{SiO}_2$ ) berkisar antara 98,7-99,9%. Di Alam, pasir silika ditemukan dengan ukuran butir, mulai fraksi yang halus ( $<0,06$  mm) apabila terdapat jauh dari batuan induk sedangkan ukuran kasar ( $>2$ mm) terletak tidak jauh dari batuan induk (Haryanti, 2017).

Kandungan dalam pasir ini salah satunya adalah mineral kuarsa yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ), hal ini yang menyebabkan pasir ini sering disebut pasir silika. Pasir silika memiliki kekerasan 7 skala Mohs, berat jenis 2,65, titik lebur  $1715^\circ\text{C}$ , bentuk kristal hexagonal, konduktivitas panas  $12-100^\circ\text{C}$ . Pasir silika sangat efektif dalam menyaring lumpur dan bahan pengotor air lainnya (Mugiyantoro, 2014).

#### 2.4.3 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan yang umum digunakan untuk pemurnian dan pemisahan kontaminan dari cairan atau uap. Proses aktivasi dimulai dengan pemilihan material. Bahan baku yang kerap dipergunakan dalam pembuatan karbon aktif adalah kayu, gambut, batu bara, batok kelapa, dan residu minyak bumi. Selama ini karbon aktif banyak dipergunakan untuk menyerap bahan-bahan organik. Karbon aktif menghilangkan substansi dari air dengan cara adsorpsi. Karbon aktif menggunakan proses penyerapan fisik di mana gaya Van der Waals menarik bahan organik dari larutan ke permukaan karbon aktif dan dihilangkan dari larutan (Heriyani, 2016).

Karbon aktif merupakan padatan yang berwarna hitam, tidak berbau, berbentuk amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar yang disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi hexagonal. Berdasarkan fungsinya karbon aktif dibagi dua yaitu karbon pengabsorpsi gas dan karbon pengabsorpsi larutan. Karbon aktif berbentuk serbuk dan granular (Sulastuti, 2017).

Karbon aktif serbuk banyak digunakan pada proses *batch* seperti halnya sistem filtrasi *batch*, pengendapan, dan lain-lain. Kemampuan menyerap hanya pada permukaan yang terbasahi. Karbon aktif granular cocok digunakan dalam kolom filtrasi (*fixed bed*) dimana cairan yang akan dimurnikan mengalir melalui bed melewati karbon (Sulastuti, 2017).

Karbon aktif bekerja dengan cara penyerapan atau absorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat ada bahan yang melalui karbon aktif tersebut, material yang terkandung di dalamnya akan diserap. Tidak heran jika bahan ini mampu mengambil beberapa kandungan tidak baik dari sebuah air tercemar. Bahkan dapat menjernihkan air yang keruh sekaligus menghilangkan bau dari air tersebut (Mugiyantoro, 2014).

*Filter* karbon aktif berfungsi untuk menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, diterjen, bau, senyawa phenol serta untuk menyerap logam berat dan lain-lain. Apabila seluruh permukaan karbon aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap, maka proses penyerapan akan berhenti (Munawaroh, 2016).

Ada tiga jenis karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa yang banyak dipasarkan, yaitu sebagai berikut (Kotta, 2019):

1. Bentuk serbuk: bentuk dan ukuran karbon aktif ini lebih kecil dari 0,18 mm. Karbon aktif ini digunakan dalam aplikasi fase cair dan gas.
2. Bentuk granula: bentuknya tidak beraturan dengan ukuran 0,2-5 mm. Jenis ini umumnya digunakan dalam aplikasi fase cair dan gas.
3. Bentuk pellet: berdiameter 0,8-5 mm. Kegunaannya adalah untuk aplikasi fase gas, karena mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah

#### 2.4.4 Elektroda

Elektroda dalam suatu sistem elektrolisa dapat dibedakan menjadi katoda yakni elektroda di mana reaksi reduksi (reaksi katodik) berlangsung dan anoda di mana reaksi oksidasi (reaksi anodik) berlangsung. Perbedaan potensial antara 2 elektroda yang dicelupkan dalam cairan elektrolit konduktor ion (air), ion-ion akan bergerak karena ditimbulkan oleh medan listrik, kation bergerak kearah katoda, anion bergerak kearah anoda sehingga terjadi reaksi pada sisi elektroda-elektroda. Elektroda dalam proses elektrolisa sangat penting karena elektroda merupakan salah satu media untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar terjadi suatu reaksi (perubahan kimia) (Wahyuni, 2016).



#### 2.4.5 Busa atau *Sponge*

*Filter sponge* atau busa memiliki 2 fungsi utama yaitu fungsi mekanis dan fungsi biologis. Fungsi mekanis dari *filter sponge* adalah menyaring kotoran yang ada di air dengan cara menahan kotoran ini pada *sponge* atau busa yang ada pada *filter*. Untuk fungsi biologisnya mampu menyediakan oksigen yang cukup di dalam air (Kotta, 2019).

### 2.5 Spektrofotometer Serapan Atom

Spektrofotometri serapan atom, sering disingkat sebagai AAS atau SSA adalah suatu bentuk spektrofotometri dimana spesies pengabsorbsiannya adalah atom-atom. Prinsip dasar Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) adalah interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) merupakan metode yang sangat tepat untuk analisis zat pada konsentrasi rendah. Teknik ini adalah teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur yang didasarkan pada emisi dan absorbansi dari uap atom. Komponen kunci pada metode ini adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel (Suarsa, 2015).

Cara kerja Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) berdasarkan atas penguapan larutan sampel, kemudian logam yang terkandung didalamnya diubah menjadi atom bebas. Atom tersebut mengabsorbsi radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan dari lampu katoda yang mengandung unsur yang akan ditentukan. Banyaknya penyerapan radiasi kemudian diukur pada panjang gelombang tertentu menurut jenis logamnya. Jika radiasi elektromagnetik dikenakan kepada suatu atom, maka akan terjadi eksitasi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi. Setiap panjang gelombang memiliki energi yang spesifik untuk dapat tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi (Suarsa, 2015).

Aspek kuantitatif dari metode spektrofotometri diterangkan oleh hukum Lambert-Beer, yaitu (Suarsa, 2015):

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \text{ atau } A = a \cdot b \cdot c \quad \dots(12)$$

Dimana :

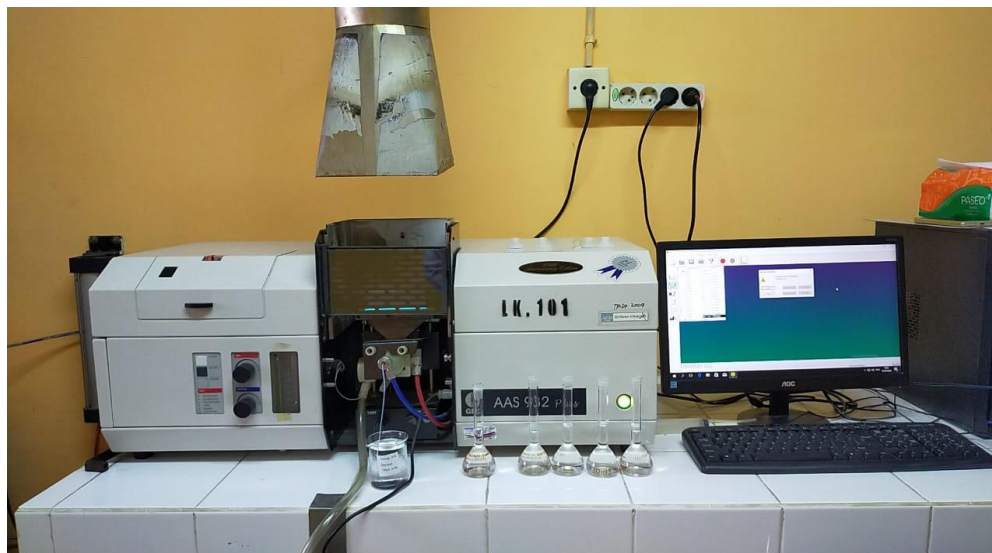
A = Absorbansi

$\epsilon$  = Absorptivitas molar (mol/L)

a = Absorptivitas (gr/L)

b = Tebal nyala (nm)

c = Konsentrasi (ppm)



Sumber: Dokumentasi pribadi, 2020

Gambar 4. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

## 2.6 Air Bersih

Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Oleh karena itu, sumber daya air harus dilindungi agar tetap dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup yang lain (Maryani, 2014).

Sejumlah 40 juta mil-kubik air yang berada di permukaan dan di dalam tanah, ternyata tidak lebih dari 0,5% (0,2 juta mil-kubik) yang secara langsung dapat digunakan untuk kepentingan manusia, 97% dari sumber air tersebut terdiri dari air laut, 2,5% berbentuk salju abadi yang baru dalam keadaan mencair dapat digunakan. Keperluan sehari-hari terhadap air, berbeda untuk tiap tempat dan untuk tiap tingkatan kehidupan. Semakin tinggi taraf kehidupan semakin meningkat jumlah keperluan akan air (Maryani, 2014).

Menurut kegunaannya, air pada sumber air dibedakan menjadi empat golongan yaitu (Kotta, 2019):

1. Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa harus diolah terlebih dahulu.
2. Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air baku untuk diolah sebagai air minum dan keperluan rumah tangga.
3. Golongan C, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. Golongan D, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, dan listrik tenaga air

Air bersifat sebagai universal *solvent* (pelarut berbagai macam zat) oleh karena itu air sangat mudah tercemar oleh kondisi lingkungannya. Air dapat tercemar oleh berbagai kontaminan antara lain padatan tersuspensi, minyak, logam berat, detergen, padatan terlarut, dan sebagainya. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa air di alam harus melewati tahap pengolahan terlebih dahulu sebelum digunakan untuk keperluan tertentu (Kencanawati, 2017).

Penurunan kualitas air dapat diindikasikan dengan adanya peningkatan kadar parameter fisika terukur. Misalnya pada peningkatan kadar parameter warna, berubahnya warna air menjadi kecoklatan hingga hitam dapat mengindikasikan adanya kandungan bahan kimia seperti logam besi, mangan, dan sianida yang berasal dari pembuangan limbah pabrik. Air yang memiliki bau yang tidak enak, mengindikasikan salah satunya adanya pencemaran oleh bakteri coli tinja (*E.coli*) yang dapat menyebabkan penyakit tipus. Jika air telah tercemar dengan logam berat dan bakteri *E.coli*, maka secara otomatis air tersebut akan memiliki rasa (Mukarromah, 2016).

Terdapat aturan kadar maksimum air yang tercemar di dalam peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan industri pelapisan logam dan galvanis

Parameter	Kadar Paling Tinggi Pelapisan Logam (mg/L)	Beban Paling Tinggi Pelapisan Logam (gr/m <sup>2</sup> )	Kadar Paling Tinggi Galvanisasi (mg/L)	Beban Paling Tinggi Galvanisasi (gr/m <sup>2</sup> )
TSS	20	0,4	20	0,04
Cu	0,5	0,01	0,5	0,001
Zn	1,0	0,02	1,0	0,0005
Cr <sup>6+</sup>	0,1	0,002	-	-
Cr	0,5	0,01	-	-
Cd	0,05	0,001	0,05	0,0001
Pb	0,1	0,002	0,1	0,0002
Ni	1,0	0,02	1,0	0,002
CN	0,2	0,004	0,2	0,0004
Ag	0,5	0,01	0,5	0,001
pH	6–9		6–9	
Kuantitas air limbah paling tinggi	20 L per m <sup>2</sup> produk pelapisan logam		2 L per m <sup>2</sup> produk pelapisan logam	

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

Pada umumnya pengolahan air (air tanah/permukaan) dilakukan dengan penambahan bahan-bahan kimia tertentu (koagulan, pengatur pH, dan disinfektan) ke dalam air, dilanjutkan dengan sedimentasi (pengendapan) atau flotasi (pengapungan) lumpur dan filtrasi (penyaringan) melalui media pasir. Dengan cara tersebut diharapkan dapat memenuhi standard kualitas air bersih sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh Pemerintah untuk dikonsumsi masyarakat (Kencanawati, 2017).

Secara umum proses pengolahan air baku menjadi air bersih terdiri dari lima tahapan utama. Kelima tahap itu adalah (Zulkarnain, 2019):

1. Pra Sedimentasi;
2. Koagulasi;
3. Flokulasi;
4. Sedimentasi;
5. Filtrasi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, *solus per aqua*, dan pemandian umum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air Keperluan Higiene Sanitasi

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
1.	Kekeruan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	Zat padat terlarut ( <i>Total Dissolved Solid</i> )	Mg/1	1000
4.	Konduktivitas	$\mu\text{s}$	20-1500
5.	Suhu	$^{\circ}\text{C}$	Suhu Udara $\pm 3$
6.	Rasa	-	Tidak Berasa
7.	Bau	-	Tidak Berbau

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017