

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air Sungai Brantas

Sungai Brantas merupakan sungai yang bersumber pada lereng Gunung Arjuna dan Anjasmara bermuara di selat Madura. Sungai ini memiliki panjang  $\pm 320$  km dengan daerah aliran seluas  $\pm 12.000$  km<sup>2</sup>, atau lebih kurang seperempat luas wilayah provinsi Jawa Timur, sehingga Sungai Brantas dinyatakan sebagai sungai terpanjang di Jawa Timur. Jumlah penduduk di wilayah ini  $\pm 14$  juta jiwa (40% dari penduduk Jawa Timur). Sungai Brantas sebagai sumber utama bagi kebutuhan air masyarakat wilayah ini, seperti untuk konsumsi domestik, industri, rekreasi, irigasi dan lain-lain (Handayani, 2001).

Berkembangnya kegiatan penduduk di sepanjang aliran Sungai Brantas dapat berpengaruh terhadap kualitas airnya, karena limbah yang dihasilkan dari kegiatan penduduk tersebut dibuang langsung ke sungai. Sumber-sumber pencemaran air Sungai Brantas antara lain berasal dari limbah industri, limbah domestik dan air buangan dari saluran irigasi dan drainase (Krisnawati, 2015).

Bahan baku air terbesar untuk PDAM Kota Surabaya dan Malang yakni Sungai Brantas, sehingga sungai ini diakui sangat vital keberadaannya oleh masyarakat sekitarnya. Berikut ini merupakan kandungan yang terdapat dalam air Sungai Brantas :

Tabel 2. 1. Kandungan Air Sungai Brantas

Parameter	Nilai	Referensi
pH	7,5	Yetti, 2007
Nitrit	3,79 mg/L	Yetti, 2007
Fosfat	0,5 mg/L	Yetti, 2007
BOD	6, 794 mg/L	Yetti, 2007
COD	10,557 mg/L	Yetti, 2007
Kesadahan	222-253 mg/L	Handayani, 2001

### 2.2 Kesadahan

Salah satu parameter kimia dalam persyaratan kualitas air adalah jumlah kandungan unsur Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup> yang disebut kesadahan. Air yang memiliki tingkat kesadahan terlalu tinggi dapat merugikan karena dapat menimbulkan diantaranya korosi pada alat-alat yang terbuat dari besi, mengakibatkan sabun kurang membusa sehingga meningkatkan konsumsi sabun, dan dapat mengakibatkan adanya endapan atau kerak-

kerak di dalam peralatan industri (Syahririni, 2016). Kesadahan disebabkan oleh adanya kation logam (Ca dan Mg), dimana kation tersebut dapat bereaksi dengan molekul yang terdapat dalam sabun sehingga sabun tidak dapat membentuk busa. Kation yang bereaksi dengan molekul tersebut membentuk suatu lapisan dan bereaksi dengan anion yang terdapat dalam air dan akan mengakibatkan terbentuknya kerak. Berikut ini merupakan kation penyebab kesadahan dalam air dan anion utama yang dapat bereaksi :

Tabel 2. 2. Kation penyebab kesadahan dalam air dan anionnya

Kation yang menyebabkan kesadahan	Anion
Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Sr <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>
Fe <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Mn <sup>2+</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>

Sumber : Sawyer, 2003

Pada umumnya air tanah memiliki tingkat kesadahan yang tinggi, namun tingkat kesadahan di berbagai wilayah perairan berbeda-beda. Hal ini diakibatkan karena air tanah terjadi kontak dengan batuan kapur yang terdapat pada lapisan tanah yang dilalui air (Said, 2001). Tingkat kesadahan air dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2. 3. Klasifikasi Tingkat Kesadahan Air

Konsentrasi CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Tingkat Kesadahan
0-75	Lunak ( <i>soft</i> )
75-150	Sedang ( <i>moderately hard</i> )
150-300	Tinggi ( <i>hard</i> )
>300	Sangat tinggi ( <i>very hard</i> )

Sumber : Sawyer, 2003

Kesadahan digolongkan menjadi dua berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation (Ca<sup>2+</sup> atau Mg<sup>2+</sup>), yakni kesadahan sementara dan kesadahan tetap. Kesadahan sementara disebabkan oleh adanya garam-garam karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dan bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) dari kalsium dan magnesium. Air yang mengandung ion atau senyawa-senyawa tersebut dapat dihilangkan dengan metode pemanasan air yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup>. Sedangkan kesadahan tetap disebabkan oleh adanya kandungan anion selain ion bikarbonat, seperti ion Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Kesadahan tetap tidak dapat hanya dihilangkan dengan metode pemanasan, namun dapat dihilangkan dengan mereaksikan air dengan zat kimia tertentu (Sulistiyani, 2012).

### 2.2.1 Kalsium

Kalsium termasuk ke dalam Golongan II A pada tabel periodik yang merupakan logam alkali tanah. Kalsium memiliki berat molekul 40,08 g/mol dan valensi 2. Selain itu, kalsium berwarna perak-putih yang biasanya ditemukan dalam kombinasi batu kapur, marmer dan kapur (Zuane, 1990). Kalsium memiliki karakteristik berupa padatan tidak berbau dan juga kalsium memiliki titik didih 1484°C dan titik leleh sebesar 839°C, serta kerapatan sebesar 1,54 g/cm<sup>3</sup>. Kalsium yang terkena oleh kulit dapat mengakibatkan iritasi dan jika terhirup dapat menyebabkan gangguan pernapasan (Sciencelab, 2013).

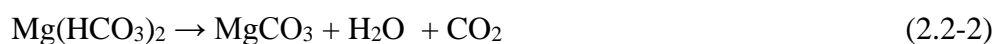
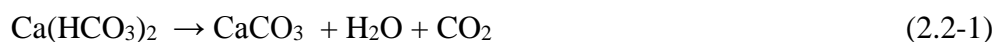
Kalsium kation (Ca<sup>2+</sup>) paling banyak ditemui di dalam air yang timbul akibat adanya disosiasi mineral. Mineral kalsium yang paling banyak ditemukan diantaranya kalsium karbonat, *calcite* dan *aragonite* (CaCO<sub>3</sub>, kapur), kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>, *anhydrite*; CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, *gypsum*); kalsium magnesium karbonat (CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>, *dolomite*) dan kalsium *uoride* (CAF<sub>2</sub>, *uorite*)(Weiner, 2000).

### 2.2.2 Metode Penyisihan Kesadahan Air

Penyisihan kesadahan air dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kandungan kation penyebab kesadahan di dalam air, seperti Ca<sup>2+</sup> dan Mg<sup>2+</sup>. Kation tersebut dapat dihilangkan dengan metode-metode sebagai berikut :

#### 1. Pemanasan

Penyisihan kesadahan air dengan metode pemanasan hanya dapat dilakukan untuk menghilangkan kesadahan sementara yaitu garam Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Ketika dilakukan pemanasan, air yang mengandung garam-garam tersebut akan menjadi senyawa CaCO<sub>3</sub> dan MgCO<sub>3</sub> sehingga dapat mengendap karena memiliki sifat kelarutan yang kecil di dalam air, seperti ditunjukkan reaksi berikut (Said, 2001):



#### 2. Proses Kapur Soda

Penyisihan dengan proses ini bertujuan untuk membentuk garam-garam kalsium dan magnesium menjadi bentuk garam-garam yang tidak larut, sehingga mudah

disendapkan dan dipisahkan dari air. Untuk menghilangkan kesadahan sementara, kalsium ditambahkan dengan kapur, seperti reaksi berikut (Marsidi, 2011):



Sedangkan untuk menghilangkan kesadahan tetap, kalsium ditambahkan dengan soda abu, seperti reaksi berikut :



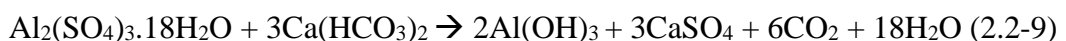
Untuk menghilangkan kesadahan sementara pada magnesium, perlu adanya penambahan kapur sebanyak dua kali. Pada penyisihan kesadahan tetap, magnesium ditambahkan kapur lalu ditambahkan soda abu (Marsidi, 2011).

### 3. Proses Pertukaran Ion

Proses ini dapat digunakan untuk menghilangkan kesadahan sementara maupun kesadahan tetap. Resin yang digunakan dapat berupa resin alami dan resin buatan seperti zeolit. Air sadah yang dilewatkan melalui penukar ion (*ion exchanger*) akan terjadi pertukaran ion antara ion kalsium dan magnesium dengan ion natrium di dalam resin. Resin dapat diregenerasi dengan ditambahkan larutan garam pekat (natrium klorida) untuk menggantikan ion natrium yang telah terikat dengan ion kalsium dan magnesium (Siregar, 2010).

### 4. Koagulasi dan flokulasi

Koagulasi-flokulasi merupakan metode penyisihan partikel koloid. Koagulasi adalah proses menghilangkan bahan-bahan limbah dalam bentuk organik yang kemudian akan membentuk flok dengan adanya penambahan bahan kimia sebagai koagulan. Pada umumnya, koagulan yang digunakan antara lain  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  dan  $\text{FeCl}_3$  (Puspitasari, 2014). Kemudian dilanjutkan proses flokulasi dimana flok kecil yang sudah terbentuk akan bertumbukan dan terjadi proses tarik-menarik dan akan membentuk flok lebih besar dan dapat mengendap (Margaretha, 2012). Berikut ini merupakan reaksi yang terjadi pada proses koagulasi-flokulasi (Karamah, 2009) :

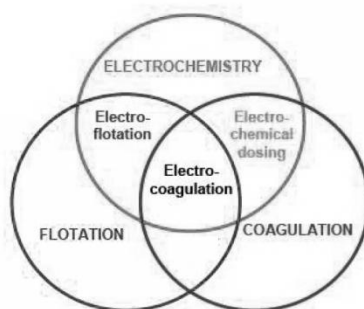


## 5. Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan kombinasi dari proses elektrokimia dan flokulasi-koagulasi. Setiap sel elektrolisis memiliki dua elektroda, yakni anoda dan katoda. Anoda berfungsi sebagai koagulan dalam proses flokulasi-koagulasi yang terjadi di dalam sel elektrolisis. Sedangkan pada katoda, terjadi reaksi katodik yang dapat membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang bertujuan untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel (Hanum, 2015).

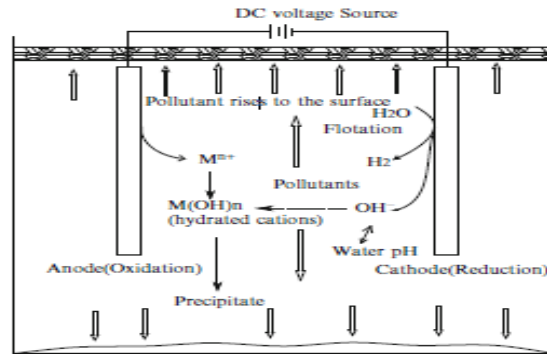
### 2.3 Elektrokoagulasi

Proses dasar pada elektrokoagulasi dapat dijabarkan ke dalam tiga tahap, yakni proses elektrokimia, koagulasi dan flotasi. Menurut Holt (2004), ketiga proses tersebut dapat digambarkan dengan diagram Venn, dimana kombinasi dari ketiga proses tersebut akan tercipta teknologi elektrokoagulasi, sedangkan kombinasi dari proses lain akan menciptakan teknologi lain.



Gambar 2. 1. Diagram Venn Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode elektrokimia pada pengolahan air, pada metode ini terjadi pelepasan koagulan aktif dari anoda yang berupa ion logam dalam larutan, dan terjadinya reaksi pelepasan gas hidrogen pada katoda (Holt, 2005). Proses elektrokoagulasi menggunakan aliran arus listrik searah (*direct current*) untuk menghilangkan kontaminan dalam air sehingga tidak dibutuhkan bahan tambahan sebagai agen koagulan. Elektrokoagulasi terdiri dari dua plat logam yang disebut elektroda, dimana elektroda berpasangan sebagai katoda dan anoda (Butler, 2011). Berdasarkan prinsip elektrokimia, pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi sedangkan pada katoda akan terjadi reaksi reduksi (Comninelis, 2010). Gambar 2.2 merupakan skema diagram dari proses elektrokoagulasi :



Gambar 2. 2. Diagram Skema Proses Elektrokoagulasi

(Sumber : Comninelis dan Chen, 2010)

Prinsip kerja dari elektrokoagulasi adalah pada anoda elektroda logam (Al atau Fe) yang terlarut akan membentuk ion  $\text{Al}^{3+}$  atau  $\text{Fe}^{2+}$ . Ion-ion tersebut akan terhidrolisis menjadi aluminium atau besi hidroksida. Senyawa hidroksida ini nantinya digunakan sebagai agen koagulan. Agen koagulan ini akan diproduksi secara berkelanjutan dari logam yang dikonsumsi (*sacrificial anode*) pada anoda (Malakootian, 2009). Arus listrik pada elektrokoagulasi dapat menyebabkan dekomposisi elektrolit, yakni ion positif (kation) akan menerima elektron yang direduksi pada katoda dan ion negatif (anion) bergerak menuju ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi, sehingga membentuk flok yang dapat mengikat kontaminan (Malakootian, 2009).

Mekanisme penyisihan yang terjadi pada elektrokoagulasi dapat dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu : (a) terbentuknya koagulan dari oksidasi elektroda pada anoda, (b) destabilisasi kontaminan, partikel tersuspensi, dan pemecahan emulsi, dan (c) agregasi dari hasil destabilisasi untuk membentuk flok (Mollah, 2001).

Menurut Ghernaout (2010), terdapat beberapa mekanisme yang dimungkinkan terjadi dalam elektrokoagulasi, yaitu :

1. Reduksi katodik pada kontaminan dalam larutan.
2. Proses penghilangan muatan dan koagulasi partikel koloid.
3. Migrasi antar muatan elektroda yang berlawanan dan agregasi netralisasi muatan.
4. Ion  $\text{OH}^-$  yang dihasilkan pada katoda akan membentuk presipitasi dengan polutan.
5. Interaksi antara oksidasi logam pada anoda dengan ion  $\text{OH}^-$  untuk membentuk senyawa hidroksida yang berfungsi sebagai koagulan.
6. Elektroflotasi dari partikel yang terkoagulasi oleh gas hidrogen yang membentuk gelembung pada elektroda.

Proses elektrokoagulasi memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan metode-metode lain. Berikut merupakan kelebihan dari metode elektrokoagulasi (Mollah, 2001) :

1. Membutuhkan peralatan yang sederhana dan mudah untuk dioperasikan.
2. Air hasil pengolahan dengan metode elektrokoagulasi menjadi jernih (tidak berwarna) dan tidak berbau.
3. *Sludge* yang dihasilkan dengan metode elektrokoagulasi dapat dilarutkan kembali karena mengandung oksida logam.
4. Flok yang dihasilkan dengan metode elektrokoagulasi memiliki kandungan air yang sedikit, tahan terhadap asam dan mudah dipisahkan dengan filtrasi.
5. Air hasil pengolahan elektrokoagulasi memiliki kandungan TDS yang rendah.
6. Elektrokoagulasi mampu menghilangkan partikel – partikel koloid yang disebabkan adanya aliran listrik yang menggerakkan partikel dengan cepat sehingga mempermudah proses koagulasi.
7. Tidak membutuhkan netralisasi sisa bahan kimia dan tidak terbentuknya polutan sekunder karena elektrokoagulasi tidak menggunakan bahan kimia.
8. Gelembung-gelembung gas yang dihasilkan selama proses elektrokoagulasi mampu membawa polutan naik ke permukaan larutan (floatasi) sehingga mudah terkonsentrasi dan dihilangkan.
9. Proses elektrolitik dalam elektrokoagulasi dikontrol secara elektrik tanpa ada bagian yang bergerak sehingga biaya perawatan (*maintenance*) yang dibutuhkan rendah.
10. Teknologi elektrokoagulasi dapat menggunakan energi dari panel surya sehingga dapat diaplikasikan pada daerah dengan listrik rendah.

Selain memiliki kelebihan, elektrokoagulasi juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya adalah sebagai berikut (Mollah, 2001) :

1. Pergantian elektroda harus diganti secara berkala karena elektroda akan terkonsumsi (*sacrificial anode*) selama proses elektrokoagulasi.
2. Pembentukan lapisan film oksida *impermeable* pada katoda sehingga mengurangi efisiensi kerja elektrokoagulasi.
3. Dibutuhkan konduktivitas yang tinggi untuk memisahkan suspensi larutan.

### 2.3.1 Mekanisme Elektrokoagulasi

Reaktor elektrokoagulasi berupa sel elektrokimia yang terdiri dari dua kutub, yaitu kutub anoda dan kutub katoda. Pada kutub anoda terdapat logam yang terkonsumsi (*sacrificial anode*) yang berfungsi melepaskan ion logam sebagai koagulan. Sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis menghasilkan gelembung gas berupa gas hidrogen. Reaksi elektrokimia dengan logam M sebagai anoda dapat dijelaskan sebagai berikut (Comninelis dan Chen, 2010):

Pada anoda:



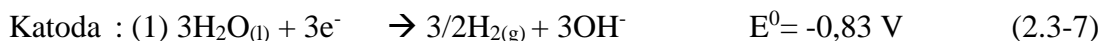
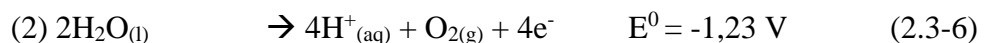
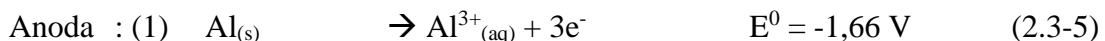
Pada katoda akan terjadi reduksi, dimana air dalam larutan akan tereduksi membentuk gas hidrogen sesuai dengan reaksi berikut:



#### Elektroda Aluminium

Aluminium dapat digunakan sebagai elektroda, dimana aluminium (Al) akan menghasilkan ion  $Al^{3+}$  membentuk aluminium hidroksida  $Al(OH)_3$ . Reaksi keseluruhan yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda aluminium sebagai anoda adalah sebagai berikut (Mollah, 2001):

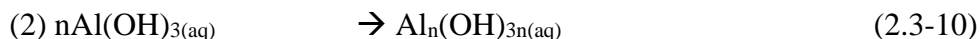
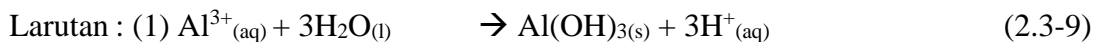
##### Mekanisme



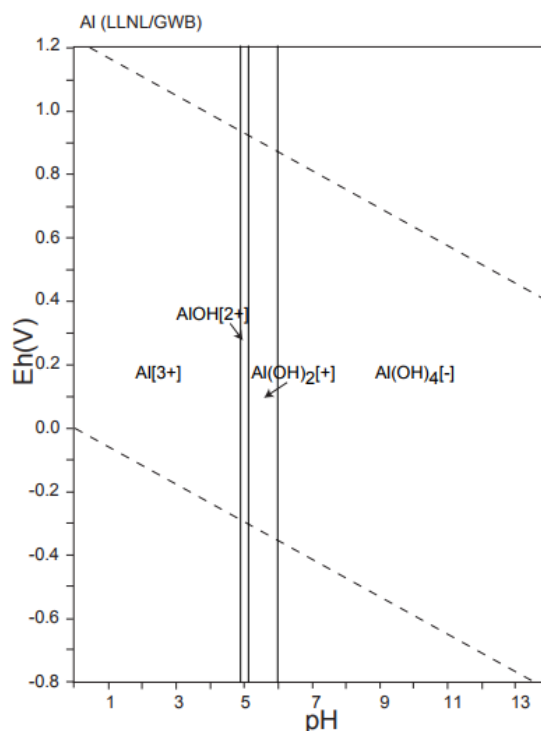
Pada anoda, elektroda aluminium teroksidasi menjadi ion aluminium ( $Al^{3+}$ ). Selain itu, terjadi oksidasi dari air membentuk ion  $H^{+}$  dan gas oksigen. Pada katoda  $H^{+}$  menjadi gas hidrogen. Air mengalami reduksi pada katoda menjadi gas hidrogen dan ion hidroksil ( $OH^{-}$ ).

Ion aluminium akan terhidrolisis membentuk aluminium hidroksida. Aluminium hidroksida berfungsi sebagai koagulan yang digunakan untuk mereduksi  $Ca^{2+}$ . Kandungan aluminium hidroksida yang banyak dalam larutan elektrolit akan berikatan satu sama lain, sehingga membentuk suatu polikoagulan. Hal tersebut sesuai dengan reaksi dibawah :



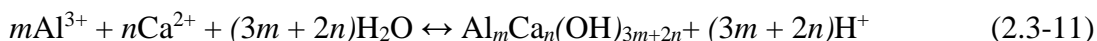


Ion aluminium yang terbentuk dalam reaksi dipengaruhi oleh pH larutan elektrolit, dimana ion aluminium yang terbentuk dapat berupa  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ , dan  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . Berdasarkan Gambar. 2.3, pada pH asam jenis ion atau monomer aluminium yang dihasilkan adalah bermuatan positif, yakni  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$  dan  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ . Sedangkan pada kondisi pH basa, jenis ion aluminium yang terbentuk adalah  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ .



Gambar. 2.3. Diagram Pourbaix Aluminium

Mekanisme elektrokoagulasi penyisihan kesadahan  $\text{Ca}^{2+}$  dengan metode elektrokoagulasi adalah sebagai berikut :



Polutan akan mengalami destabilisasi dengan adanya arus listrik membentuk  $\text{Ca}^{2+}$ , dimana  $\text{Ca}^{2+}$  akan bereaksi dengan koagulan aktif dari logam Al dan membentuk endapan.

Reaksi reduksi oksidasi yang spontan merupakan reaksi elektrokimia yang tidak memerlukan energi atau arus listrik dari luar sistem. Sedangkan reaksi reduksi oksidasi tidak spontan merupakan reaksi elektrokimia yang memerlukan energi atau arus listrik

dari luar sistem. Reaksi redoks spontan ditandai dengan nilai  $E^0$  sel positif sedangkan reaksi redoks tidak spontan ditandai dengan nilai  $E^0$  sel negatif (Comminelis dan Chen, 2010). Berikut merupakan persamaan untuk menghitung  $E^0$  sel :

$$E_{sel} = E^0_{katoda} - E^0_{anoda}$$

Proses elektrokoagulasi merupakan proses elektrokimia secara tidak spontan sehingga perlu adanya arus listrik luar dari sistem untuk melakukan suatu proses. Persamaan reaksi reduksi oksidasi dapat dihitung menggunakan persamaan Nerst, sebagai berikut :



$$E_{sel} = E^0_{sel} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

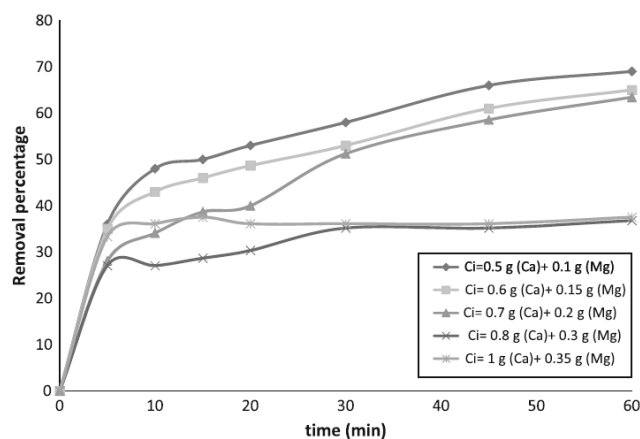
$$E_{sel} = E^0_{sel} - \frac{2,303RT}{nF} \log \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

### 2.3.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi elektrokoagulasi

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrokoagulasi, dimana dapat mengurangi efisiensi proses. Menurut Khandegar (2012), faktor-faktor tersebut antara lain, konsentrasi awal polutan, kecepatan pengadukan, kerapatan arus, konduktivitas larutan, pH larutan, dan waktu elektolisis.

#### 1. Konsentrasi awal polutan

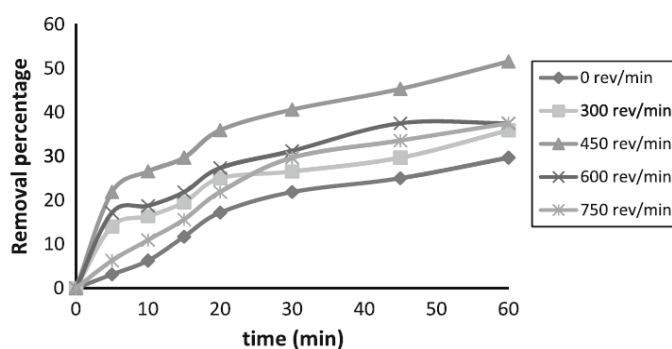
Pada kerapatan arus yang sama, efisiensi penyisihan polutan akan menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal polutan. Hal ini disebabkan oleh pembentukan flok hidroksida logam yang belum mencukupi untuk mengendapkan sejumlah konsentrasi polutan yang terdapat dalam larutan (Khandegar, 2012).



Gambar 2. 4. Grafik Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  (menggunakan elektroda Al-Al, arus listrik 3 A, dan jarak antar elektoda 2 cm)  
(Sumber : Brahmi, 2015)

## 2. Kecepatan pengadukan

Pengaruh kecepatan pengadukan bertujuan untuk meningkatkan kontak antara flok dan aglomerasi selama proses elektrokoagulasi (Parsa, 2011). Penambahan kecepatan pengadukan hingga kecepatan optimum dapat meningkatkan efisiensi penyisihan polutan. Hal ini disebabkan meningkatnya pergerakan ion dalam larutan yang menyebabkan semakin cepat terbentuknya flok. Akan tetapi, jika kecepatan pengadukan terlalu tinggi melebihi batas optimum, maka dapat menyebabkan efisiensi akan menurun karena tumbukan antar flok menjadi lebih besar dan flok akan terdegradasi (Khandegar, 2012).



Gambar 2.5. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Efisiensi Penyisihan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  (menggunakan elektroda Al-Al, arus listrik 3 A, dan jarak antar elektroda 2 cm)  
(Sumber: Brahmi, 2015)

Berdasarkan Gambar 2.5, kecepatan pengadukan memiliki batas optimum dalam penggunaannya, dimana ketika kecepatan pengadukan yang digunakan terlalu kecil maka proses pembentukan flok akan lambat. Pada penggunaan kecepatan pengadukan yang optimum, maka proses aglomerasi dari polutan dengan koagulan semakin cepat sehingga efisiensi penyisihan akan semakin meningkat. Namun, ketika kecepatan pengadukan yang digunakan melebihi batas optimum, maka terjadi pemecahan flok yang menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan (Brahmi, 2015).

### 3. Kerapatan arus

Kerapatan arus dapat menentukan massa koagulan yang terbentuk, jumlah gelembung yang dihasilkan dan pembentukan flok. Penambahan kerapatan arus akan meningkatkan jumlah hidrosida dalam larutan karena laju anoda yang tidak terlarut meningkat. Kerapatan arus yang terlalu tinggi tidak berpengaruh terhadap efisiensi proses karena pada larutan telah terdapat jumlah hidrosida logam yang cukup untuk proses koagulasi (Khandegar, 2012)..

### 4. Konduktivitas larutan

Semakin tinggi konduktivitas larutan dapat meningkatkan kerapatan arus dalam kondisi tegangan yang konstan atau kerapatan yang konstan. Jika konduktivitas larutan tinggi, maka tegangan yang digunakan menjadi rendah sehingga kebutuhan energi akan berkurang (Khandegar, 2012)..

### 5. pH larutan

Efisiensi penyisihan polutan akan menurun seiring dengan penambahan atau pengurangan pH larutan. Hal ini disebabkan oleh beberapa bahan pengotor atau polutan memiliki pH tertentu untuk mengendap, sehingga jika pH larutan semakin mendekati pH optimum dari polutan maka efisiensi penyisihan polutan semakin tinggi (Khandegar, 2012).

### 6. Waktu elektrolisis

Efisiensi penyisihan polutan akan semakin tinggi seiring dengan semakin lama waktu elektrolisis. Akan tetapi, ketika waktu elektrolisis melebihi batas optimum, maka efisiensi akan tetap konstan. Pada besar kerapatan arus yang sama, jumlah hidrosida logam yang terbentuk akan berbanding lurus dengan waktu elektrolisis (Khandegar, 2012).

#### 7. Jarak antar elektroda

Jarak antar elektroda merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam proses elektrokoagulasi. Penurunan jarak antar elektroda berdampak pada penurunan hambatan antar elektroda, sehingga aliran arus listrik akan meningkat (Harris, 2007). Peningkatan jarak antar elektroda dapat menurunkan arus listrik pada proses elektrokoagulasi, sehingga diperlukan tegangan yang lebih besar untuk mendapatkan kerapatan arus yang lebih tinggi (Daneshvar, 2002). Jarak antar elektroda yang digunakan memiliki kondisi optimum. Jika jarak antar elektroda terlalu kecil, maka dapat menyebabkan gaya elektrostatis yang menyebabkan terjadinya tubrukan antar flok sehingga flok akan pecah (Bazrafshan, 2015). Jika jarak antar elektroda terlalu besar, maka dapat mengurangi efisiensi penyisihan karena proses pembentukan ion akan semakin lambat (Khandegar, 2013).

#### 8. Jenis logam

Pemilihan material elektroda didasarkan pada polutan yang akan dihilangkan serta pada sifat kimia yang terkandung pada larutan elektrolit. Semakin padu antara material elektroda dengan polutan yang dihilangkan serta elektrolit yang digunakan, maka semakin besar pula efisiensi pengurangan polutan pada proses elektrokoagulasi (Dura, 2013).

#### 9. Pasivasi elektroda

Pasivasi elektroda merupakan sekumpulan jumlah lapisan penghambat (biasanya anoda) yang terjadi pada permukaan elektroda. Pasivasi tidak diharapkan pada proses elektrokoagulasi karena akan meningkatkan resistansi dan mencegah perpindahan arus pada antar elektroda. Hal ini dapat meningkatkan potensial sel, namun tidak berpengaruh pada produksi gelembung atau koagulan. Penggunaan *deionized water* dan pembersihan elektroda secara berkala dapat menghilangkan semua bahan yang menyebabkan terjadinya pasivasi (Khandegar, 2013).

### 2.4 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya, Millar (2014) menggunakan elektroda Al-Al untuk menyisihkan ion kalsium dari sampel air *coal steam gas (CSG)* dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  2,93 ppm. Kondisi operasi yang digunakan yakni tegangan listrik sebesar 37,9 volt, proses elektrokoagulasi berlangsung selama 60 detik dan dihasilkan efisiensi optimum penyisihan ion kalsium sebesar 100%.

Malakootian (2009), menggunakan elektroda Fe-Fe dengan variasi pH tegangan listrik, dan waktu reaksi. Variasi pH yang digunakan sebesar 3, 7, dan 10, variasi tegangan listrik yakni 6, 12 dan 24 serta variasi waktu reaksi selama 10, 30 dan 60 menit. Berdasarkan penelitian didapatkan kondisi optimum pada pH 10, tegangan listrik 12 volt dan waktu reaksi selama 60 menit. Efisiensi maksimum penyisihan kesadahan kalsium dan kesadahan total diperoleh sebesar 97,4% dan 98,2%.

Selain itu, Malakootiann (2009) juga melakukan penelitian menggunakan elektroda Al-Al pada proses elektrokoagulasi untuk menyisihkan kesadahan pada air minum dengan memvariasikan perbedaan potensial listrik dan pH. Elektroda Al-Al yang digunakan berjumlah 6 dengan luas penampang 10x10 cm dan jarak antar elektroda sebesar 15 mm. Perbedaan potensial listrik divariasikan yakni sebesar 5, 10 dan 20 volt. Sedangkan variasi pH sebesar 5,3 ; 7,2 ; dan 10, 1. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan interval waktu selama 20, 40, dan 60 menit. Pada penelitian ini, dihasilkan efisiensi paling optimum sebesar 95,6 % yang dilakukan pada kondisi pH 10,1, perbedaan potensial 20 volt dan proses elektrokoagulasi selama 60 menit.

Pada penelitian Zhao (2013), menggunakan elektroda Fe-C dengan kondisi operasi pH awal 7,36, kerapatan arus 5,90 mA/cm<sup>2</sup> dan reaksi terjadi selama 30,94 menit diperoleh efisiensi penyisihan kesadahan total sebesar 85,81%.

Sedangkan Brahmi (2015) menggunakan sampel air sintetis dengan elektroda Al-Al untuk proses elektrokoagulasi penyisihan kesadahan. Pada penelitian ini digunakan variasi kecepatan pengadukan sebesar 0, 300, 450, 600 dan 750 rpm dan variasi konsentrasi awal Ca sebesar 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 dan 1 g/L. Penelitian ini dilakukan dengan kondisi arus 3 A, pH 7 dan proses elektrokoagulasi berlangsung selama 30 menit. Berdasarkan penelitian terdapat kondisi optimum dengan konsentrasi awal Ca sebesar 0,5 mg/L dan kecepatan pengadukan sebesar 450 rpm, sehingga diperoleh efisiensi penyisihan kesadahan optimum sebesar 83,8 %.

Tabel 2. 4. Data Penelitian Terdahulu

Referensi	Larutan yang digunakan	Elektroda (Anoda-Katoda)	Kondisi Operasi	Hasil
Milar, Graeme J., Lin, Jack., Couperthwaite, Sara J., Mackinnon, Ian D.R (2014)	Air CSG (Coal Steam Gas) 2,93 ppm	Al-Al	V = 37,9 volt t = 60 detik	Efisiensi penyisihan kesadahan total sebesar 100%
Malakootian, M., Mansoorian, H.J., Moosazadeh, M (2009)	Air sungai Anar City, Iran	Fe-Fe	n = 400 rpm pHi = 10 V = 12 volt t = 60 menit	Efisiensi penyisihan kesadahan ion kalsium sebesar 97,4% dan kesadahan total 98,2%
Malaakootian, M., Yousefi, N. (2009)	Air tanah	Al-Al	pHi = 10,1 V = 20 volt t = 60 menit A = 10x10 cm r = 15 mm	Efisiensi penyisihan kesadahan total sebesar 95,6%
Zhao, Shan., Huan, Guohe., Cheng, Guanhuai., Wang, Yafei., Fu, Haiyan (2014)	Air produksi	Fe-C (grafit)	J = 5,90 mA/cm <sup>2</sup> t = 30, 94 menit pHi = 7,36 T = 25°C V = 20 volt	Efisiensi penyisihan kesadahan total sebesar 85,81%
Brahmi, Khaled., Bougerra, Wided., Belhsan, Hamza., Elaloui, Elimame., Loungou, Mouna., Tlili, Zied., Hamrouni, Bechir (2015)	Air Sintetis (Ca <sup>2+</sup> dan Mg <sup>2+</sup> )	Al-Al	I = 3 A pH = 7 konsentrasi elektrolit NaCl = 4 g/L r = 2 cm n = 450 rpm t = 30 menit	Efisiensi penyisihan kesadahan total sebesar 83,8%

Keterangan :

t = waktu reaksi; V = tegangan listrik; A = luas penampang; n = kecepatan pengadukan;  
T = temperatur; r = jarak antar elektroda, J = kerapatan arus, I = arus listrik