

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

##### **2.1.1 Air Limbah *Laundry***

Air limbah dari kegiatan *laundry* merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan yang perlu diperhatikan secara serius. *Laundry* adalah industri atau usaha yang mengolah pakaian dengan menggunakan berbagai bahan kimia dan air. Proses pencucian pakaian tersebut menghasilkan limbah yang mengandung zat-zat berbahaya yang dapat merugikan lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu komponen utama dalam air limbah *laundry* adalah deterjen dan bahan kimia pembersih lainnya (Apriyani, 2017a). Deterjen mengandung berbagai senyawa seperti surfaktan, fosfat, dan bahan tambahan lainnya. Ketika air limbah ini dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan yang tepat, dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem air, seperti peningkatan kandungan nutrisi seperti fosfor dan nitrogen yang dapat menyebabkan pertumbuhan alga berlebihan (eutrofikasi) dan mengakibatkan kematian bagi banyak organisme air.

Selain itu, limbah *laundry* juga mengandung zat pewarna, minyak, dan partikel-partikel padat (Kern et al., 2013). Pewarna yang masuk ke dalam lingkungan air dapat mengubah warna air dan mengganggu fotosintesis tanaman air. Minyak dapat membentuk lapisan tipis di permukaan air, menghambat pertukaran oksigen dan menyebabkan kematian bagi organisme air. Partikel-padat yang masuk ke dalam air juga dapat menyebabkan pendangkalan sungai dan rawa, serta merugikan biota perairan.

Sumber zat limbah dari kegiatan *laundry* dapat dibedakan menjadi beberapa kategori utama, yang masing-masing memiliki karakteristik dan dampak lingkungan yang berbeda. Beberapa sumber utama limbah *laundry* meliputi deterjen, bahan kimia pembersih, pewarna, minyak, dan partikel-padat (Kern et al., 2013). Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang masing-masing sumber limbah ini:

### 1. Deterjen

Deterjen adalah salah satu komponen utama dalam air limbah *laundry*. Deterjen mengandung surfaktan, fosfat, dan bahan tambahan lainnya. Surfaktan merupakan zat yang dapat mengurangi tegangan permukaan air dan membantu proses pencucian (Apriyani, 2017a). Namun, pemakaian deterjen secara berlebihan atau jenis deterjen tertentu dapat menyebabkan pelepasan fosfat ke dalam lingkungan. Kandungan fosfat dalam air limbah dapat menyebabkan masalah eutrofikasi di perairan.

### 2. Bahan Kimia Pembersih

Selain deterjen, bahan kimia pembersih lainnya juga digunakan dalam proses pencucian pakaian. Beberapa bahan kimia tersebut dapat mencakup agen pemutih, penghilang noda, dan pengharum pakaian. Pemakaian berlebihan atau jenis bahan kimia tertentu dapat menyebabkan pelepasan senyawa kimia yang berpotensi merugikan lingkungan.

### 3. Pewarna

Limbah *laundry* juga mengandung pewarna, terutama jika pakaian yang dicuci memiliki warna yang kuat. Pewarna yang masuk ke dalam lingkungan dapat mengubah warna air dan dapat menyebabkan gangguan pada organisme air dan tanaman air.

### 4. Minyak

Minyak atau lemak dapat menjadi komponen dalam air limbah *laundry*, terutama berasal dari deterjen atau bahan pembersih yang bersifat berminyak. Peningkatan konsentrasi minyak dalam air limbah dapat membentuk lapisan tipis di permukaan air, menghambat pertukaran oksigen, dan menyebabkan masalah bagi organisme air (Rahim, 2017).

### 5. Partikel Padat

Partikel-padat dalam limbah *laundry* dapat terdiri dari serat kain, partikel debu, atau residu lainnya yang terlepas selama proses pencucian. Partikel ini dapat menciptakan pendangkalan di perairan, mempengaruhi kualitas air, dan memengaruhi ekosistem perairan.

### 2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Laundry

Air limbah Laundry mempunyai peraturan untuk menentukan ketentuan dimana diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya pada Lampiran I Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Minyak Nabati, Sabun/Detergent dengan karakteristik sebagai berikut (Gubernur Jawa Timur, 2014):

**Tabel 2.1** Baku Mutu Air Laundry

Parameter	Beban Maksimum	Satuan
BOD <sub>5</sub>	75	mg/l
COD	180	mg/l
TSS	60	mg/l
Minyak dan Lemak	15	mg/l
Fosfat sebagai (P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	10	mg/l
MBAS (Deterjen)	10	mg/l
pH	6-9	

Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 52 Tahun 2014 Tentang Perubahan Atas Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya pada Lampiran I Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Minyak Nabati, Sabun/Detergent

#### a. BOD

BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan ukuran banyaknya oksigen dalam satuan ppm atau miligram per liter (mg/l) yang dibutuhkan oleh bakteri untuk mendekomposisi zat organik yang larut maupun tersuspensi dalam air limbah (Fahlevi, 2022). BOD biasanya diukur dalam periode 5 hari (BOD<sub>5</sub>) untuk menilai kemampuan bakteri dalam proses penguraian tersebut.

#### b. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa kimia yang ada dalam limbah cair yang

mengandung zat organik, baik yang terlarut maupun tersuspensi (Listyaningrum, 2022). Kuantitas COD diukur dalam satuan ppm atau miligram per liter (mg/L).

c. TSS (*Total Suspended Solid*)

Padatan total (*total solid*) merupakan parameter fisik yang mengindikasikan jumlah bahan padatan dalam air limbah, mencakup padatan yang mengapung, mudah mengendap, koloid, serta yang tersuspensi dan terlarut. Kehadiran padatan dalam air limbah berasal dari partikel-padatan yang terbawa oleh air limbah. Parameter ini diukur dengan menyatakan massa padatan per volume air, seperti mg/L, yang mencerminkan massa padatan tertentu (mg) dalam satu liter air (Pratama, 2020).

Zat padat tersuspensi merupakan senyawa bentuk padat yang berada dalam kondisi tersuspensi dalam air. Padatan tersebut kemungkinan berasal dari mineral-mineral misalnya pasir yang sangat halus, silt, lempung atau berasal dari zat organik misalnya asam humus, asam vulvat yang merupakan hasil penguraian jasad tumbuh-tumbuhan atau binatang yang telah mati. Disamping itu, partikel tersuspensi dapat berasal dari mikroorganisme seperti plankton, bakteri, alga, virus, dan elemen lainnya. Keberadaan berbagai elemen tersebut cenderung menyebabkan kekeruhan atau perubahan warna dalam air (Nugraha et al., 2020).

d. Minyak dan Lemak

Kandungan minyak dan lemak dalam limbah banyak dijumpai dari proses produksi yang berbahan dasar tumbuhan, hewan maupun mineral. Kebanyakan darilemak pada umumnya tercampur dengan berbagai macam trigliserida (ester gliserol dari asam lemak). Minyak dan lemak juga sering pada tumbuhan dan hewan, yang merupakan komponen penting bagi kehidupan manusia (Meijaard et al., 2022).

Minyak dan lemak pada umumnya hadir pada limbah industri dalam bentuk minyak secara umum (yang pada umumnya mengapung di atas air), minyak dalambentuk emulsi, dan minyak yang tercampur dengan padatan tertentu. Untuk minyak secara umum dapat dipisahkan secara gravitasi, hal itu

disebabkan karena *specific gravity* (sg) minyak berada pada nilai yang lebih kecil dari satu. Minyak hasil olahan petroleum dapat dipisahkan dari limbah dengan skimmer yang digerakkan pada bagian atas bak sedimentasi, termasuk minyak dari proses refinery, pabrik petrochemical, manufaktur logam dan *laundry* (Terrence P. Driscoll and Friends., 2008).

Minyak yang teremulsi merupakan campuran minyak yang bersifat stabil, yang tidak dapat secara cepat dipisahkan dengan proses gravitasi tanpa penambahan bahan kimia tertentu (bahan kimia deemulsifikasi). Minyak yang teremulsi dapat berbentuk fisika maupun kimiawi. Emulsi fisika merupakan campuran dari air dan minyak pekat atau bahan lain yang berminyak yang pada umumnya tidak terlarut dalam air, mereka juga biasanya terbentuk secara mekanik (melalui proses pemompaan sentrifugal secara cepat). Emulsi fisika juga pada umumnya tidak terlalu stabil (lebih mudah dipisahkan) dibandingkan dengan emulsi secara kimia yang hanya dapat dipisahkan dengan pemanasan atau dengan pembubuhan koagulan (seperti aluminium sulfat ( $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ ) (Terrence P. Driscoll and Friends., 2008).

Emulsi kimiawi banyak dijumpai pada cairan yang digunakan pada bagian mesin pada industri otomotif dan industri perakitan mesin. Cairan ini biasanya merupakan campuran dari beberapa bahan kimia yang tercampur secara stabil (petroleum, mineral dan air) oleh karena pembubuhan agen emulsifier. Untuk memisahkan minyak dari air, agen emulsifier harus dipecah dengan penambahan senyawa asam pada limbah (seperti aluminium sulfat ( $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ ) (Terrence P. Driscoll and Friends., 2008).

e. Surfaktan (MBAS)

Surfaktan atau juga dikenal sebagai agen permukaan adalah zat kimia yang memiliki kemampuan untuk menurunkan tegangan permukaan antara dua fase, seperti antara cairan dan gas atau antara cairan dan padatan (SHOSA, 2001). Surfaktan memiliki dua bagian yang berbeda, yaitu kepala hidrofilik yang menarik air dan ekor hidrofobik yang menarik minyak dan lemak.

Surfaktan dapat dikategorikan berdasarkan muatan dari kepala hidrofiliknya menjadi empat jenis utama: anionik, kationik, nonionik, dan amfoterik. Surfaktan anionik memiliki kepala bermuatan negatif dan umum digunakan dalam deterjen rumah tangga dan produk pembersih industri. Contoh surfaktan anionik adalah natrium lauril sulfat (SLS) yang sering ditemukan dalam sabun dan sampo (Rosen, 2012). Surfaktan kationik memiliki kepala bermuatan positif dan biasanya digunakan sebagai bahan dalam pelembut kain dan produk perawatan rambut karena kemampuannya untuk mengurangi listrik statis dan memberikan kelembutan. Contoh surfaktan kationik adalah benzalkonium klorida (BQK) yang juga memiliki sifat antimikroba (Myers, 2020).

Surfaktan nonionik tidak memiliki muatan pada kepala hidrofiliknya, yang membuatnya kurang sensitif terhadap kondisi pH dan kekerasan air. Surfaktan jenis ini sering digunakan dalam formulasi kosmetik dan produk pembersih karena mereka cenderung lebih lembut pada kulit dan bahan sensitif lainnya. Contoh surfaktan nonionik adalah polisorbat 80 yang banyak digunakan dalam produk makanan dan farmasi (Schramm, 2000). Surfaktan amfoterik memiliki kepala yang dapat bermuatan positif atau negatif tergantung pada pH larutan. Mereka sering digunakan dalam produk pembersih ringan seperti sampo bayi dan pembersih wajah karena sifatnya yang lembut dan toleransi tinggi terhadap pH (Zoller, 2008).

Zat penyusun surfaktan meliputi berbagai senyawa kimia yang memberikan sifat amfifilik. Ekor hidrofobik biasanya terdiri dari rantai alkil panjang atau rantai alkilbenzen, yang umumnya berasal dari minyak bumi atau sumber nabati seperti minyak kelapa atau minyak sawit. Kepala hidrofilik dapat berupa gugus sulfat, sulfonat, karboksilat, amonium, atau oksida etilen tergantung pada jenis surfaktannya (Holmberg, 2003).

Penggunaan surfaktan yang luas dalam berbagai industri menjadikannya komponen penting dalam banyak produk sehari-hari. Namun, karena sifatnya yang persisten dan potensi dampak negatif terhadap lingkungan

akuatik, pengelolaan limbah yang mengandung surfaktan menjadi perhatian penting dalam industri pembersih dan pengolahan air (Ying, 2006).

f. Fosfat

Fosfat adalah senyawa kimia yang mengandung gugus fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Fosfat memiliki peran penting dalam biokimia dan kimia lingkungan, terlibat dalam berbagai proses seluler dan siklus biogeokimia.

### 2.1.3 Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah suatu teknik yang menggabungkan proses elektrokimia dengan koagulasi untuk memproses air. Proses ini melibatkan penggunaan elektroda yang terhubung dengan sumber arus listrik. Elektroda tersebut berfungsi sebagai konduktor listrik melalui larutan, memicu reaksi kimia atau perubahan dalam sistem. Secara sederhana, elektrokoagulasi merupakan metode untuk mengental dan mengendapkan partikel kecil dalam air dengan menggunakan energi listrik (Rosariawari, 2022).

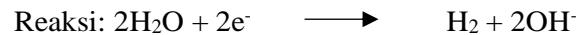
Elektrokoagulasi merupakan suatu proses elektrolisis yang melibatkan penggunaan tenaga listrik, penghantar listrik, dan elektroda. Untuk menjalankan elektrokoagulasi, digunakan listrik arus searah (DC) bersama dengan penghantar listrik berupa larutan elektrolit, yang dalam konteks ini adalah air yang akan diolah. Elektroda yang umumnya digunakan adalah dari bahan aluminium. Perlu dicatat bahwa elektroda aluminium termasuk jenis elektroda aktif, sehingga dapat berpartisipasi dalam reaksi kimia, terutama jika berfungsi sebagai anoda (Marlina, 2023).

Dalam proses Elektrokoagulasi, elektroda berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan arus listrik ke dalam larutan, memungkinkan terjadinya reaksi kimia. Elektroda di mana reaksi reduksi berlangsung disebut katoda, sementara elektroda di mana terjadi oksidasi disebut anoda. Proses ini melibatkan reaksi reduksi-oksidasinya. Biasanya, Elektrokoagulasi sering digunakan dalam pengolahan air limbah untuk mengurangi konsentrasi ion-ion tertentu dalam air limbah. Jenis elektroda yang digunakan dapat memengaruhi jenis reaksi yang terjadi pada sel

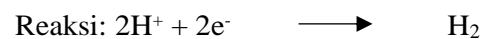
elektrolisis. Dalam elektrolisis larutan dengan elektroda inert, reaksi yang terjadi di anoda dan katoda adalah sebagai berikut (Wiyati Arni, 2020):

1. Reaksi di katoda

- a. Kation logam dari golongan IA, IIA, IIIA, Aluminium, dan Mn tidak dapat tereduksi dalam pelarut air, sehingga air yang mengalami reaksi reduksi sebagai berikut:

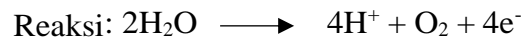


- b. Kation  $\text{H}^+$  dan logam selain golongan IA, IIA, IIIA, Aluminium, dan Mn dapat tereduksi sebagai berikut:

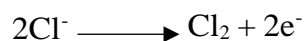
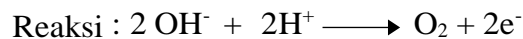


2. Reaksi di Anoda

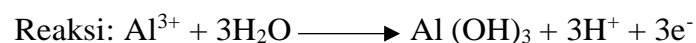
- a. Anion residu asam oksida ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ) tidak dapat mengalami oksidasi dalam larutan air. Sebagai penggantinya, molekul air yang mengalami proses oksidasi seperti berikut:



- b. Anion lain ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Br}^-$ ) mengalami oksidasi:



- c. Anoda yang digunakan logam aluminium akan teroksidasi



Dalam proses Elektrokoagulasi, pada katoda terjadi pembentukan gas hidrogen dan reaksi ion logam. Di sisi lain, pada anoda terbentuk Aluminium Hidroksida ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), membentuk flok yang mengumpulkan padatan tersuspensi dan menjadikan air menjadi jernih. Pengapungan gumpalan polutan terjadi karena gelembung gas yang muncul selama proses elektrolisis, yang disebut elektroflotasi. Elektrokoagulasi merupakan teknik yang melibatkan elektrolitik dengan penambahan ion logam, seperti aluminium dari elektroda.



#### 2.1.4 Proses Mekanisme Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi terbentuk dengan melelehkan logam di anoda dan secara bersamaan berinteraksi dengan ion hidroksida dalam gas hidrogen yang dihasilkan di katoda. Hasil penguraian sampah organik adalah air dan gas hidrogen, sedangkan sampah anorganik seperti logam diendapkan pada katoda (Fisu Amanuddin Fajar, 2022).

Reaksi elektrokoagulasi mempunyai empat Langkah utama, yaitu (Kharismadewi et al., 2022):

1. Perpindahan senyawa elektroaktif ke permukaan elektroda
2. Penyerapan dan orientasi di permukaan elektroda
3. Perpindahan muatan dari proses yang diserap
4. Pelepasan hasil permukaan elektroda

Sehingga penyisihan pada limbah organik dan anorganik pada proses elektrokoagulasi terjadi karena adanya peristiwa Adsorpsi pada permukaan parikel oleh koagulan yang dihasilkan pada anoda dari proses elektrokoagulasi. Hal ini mengakibatkan terbentuknya permukaan hidrofobik. Sehingga partikel-partikel hidrofobik yang akan menyatu menyebabkan partikel di dalam air limbah akan naik ke permukaan dengan bantuan gelembung gas yang terbentuk (Rahmayanti D dan Rosariawari F, 2021).

Fosfat bereaksi paling baik dengan ion aluminium dan akan membentuk endapan Aluminium Fosfat ( $\text{AlPO}_4$ ), sehingga dalam penelitian ini digunakan plat aluminium sebagai elektroda pada proses Elektrokoagulasi yang dilakukan untuk menurunkan kadar fosfat dari limbah cair *Laundry* yang diteliti. Persamaan reaksi antara ion aluminium dan fosfat adalah sebagai berikut

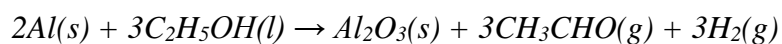


Metode Elektrokoagulasi dalam pengolahan limbah cair merupakan proses kimia, dengan sumber aluminium berupa kation Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ) yang dihasilkan dari elektrolisa logam aluminium untuk dilarutkan dalam limbah cair sebagai koagulan. *Sludge* atau endapan yang dihasilkan dari proses

Elektrokoagulasi lebih aman karena tidak mengandung sulfat maupun klorida seperti halnya bila menggunakan koagulan bahan kimia seperti tawas (alum) atau  $Al_2(SO_4)_3$  dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) (Takwanto et al., 2018). Proses penghilangan polutan organik dilakukan dengan beberapa mekanisme: destabilisasi, pembentukan kompleks, pengurangan, dan Adsorpsi.

Selama tahap pembentukan kompleks, polutan organik bertindak sebagai ligan. Tergantung pada gugus fungsinya, polutan organik ini berpindah ke koagulan  $Al(OH)_3$  dan mengendap. Dalam mekanisme entrapment, molekul organik terperangkap dalam koagulan hidroksi-logam melalui mekanisme penyapuan. Proses ini terjadi ketika koagulan dalam jumlah banyak terbentuk dalam air limbah. Mekanisme terakhir yang terjadi adalah terjadinya reaksi kimia antara bioethanol sebagai elektrolit dengan elektroda aluminium. Jika elektroda aluminium bertemu dengan etanol interaksi kimia akan terjadi.

Reaksi antara bioetanol (etanol yang diperoleh dari sumber biologis) dan aluminium untuk membentuk hidroksida aluminium ( $Al(OH)_3$ ) mungkin melibatkan beberapa langkah. Namun, ini adalah reaksi umum yang dapat terjadi:

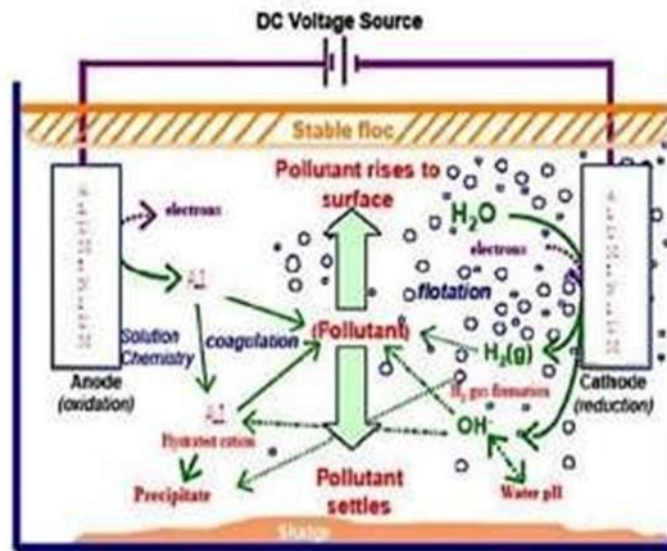


Pada reaksi ini, aluminium bertindak sebagai reduktor, yaitu memberikan elektron kepada bioetanol. Aluminium teroksidasi menjadi aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ). Bioetanol bertindak sebagai oksidator, yaitu menerima elektron dari aluminium. Bioetanol tereduksi menjadi acetaldehid ( $CH_3CHO$ ), hidrogen ( $H_2$ ), dan air ( $H_2O$ ).

Dalam elektrokoagulasi, hidroksida aluminium ( $Al(OH)_3$ ) sering digunakan sebagai koagulan untuk membantu penggumpalan dan pengendapan partikel dalam air atau limbah. Ketika arus listrik diterapkan pada larutan yang mengandung hidroksida aluminium, ion-ion hidroksida ( $OH^-$ ) dapat bergerak menuju elektroda berkebalikan, di mana reaksi redoks terjadi dan membentuk senyawa aluminium yang lebih mudah larut, seperti ( $Al(OH)_4^-$ ).

Lama proses elektrokoagulasi, terjadi reaksi oksidasi-reduksi (redoks). Proses oksidasi terjadi pada elektroda dengan muatan positif (+) yang disebut anoda. Proses pemulihan terjadi pada elektroda bermuatan negatif, yang disebut katoda. Ion positif, ion negatif, dan gas terbentuk sebagai hasil dari reaksi transfer elektron pada anoda dan katoda. Ketika arus listrik mengalir melalui elektroda dalam larutan, ion positif (+) menangkap elektron dan menghasilkan gas oksigen untuk direduksi, sedangkan anion (-) kehilangan elektron dan menghasilkan gas hidrogen untuk dioksidasi (Aristian Jovizal, 2016). Flok yang dihasilkan pada metode Elektrokoagulasi mengapung ke atas permukaan air, flok dapat mengapung karena gelembung-gelembung gas hidrogen membantu flok yang terbentuk dalam air terangkat ke atas permukaan air (Setianingrum dan Sarto, 2016). Hal itu terjadi karena adanya proses reduksi-oksidasi dimana arus yang dialirkan pada elektroda logam akan mengoksidasi logam (M) menjadi logam kation ( $M^+$ ), sedangkan air limbah akan mengalami reduksi menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) dan ion hidroksi ( $OH^-$ ).

Pergerakan elektron memiliki efek yang besar pada pembentukan flok. Hidroksida kompleks yang mengikat kontaminan untuk membentuk flok. Dua jenis flok yang terbentuk: flok yang tenggelam ke dasar wadah merupakan flok besar dan berat. Kedua, flok yang mengapung di permukaan air adalah flok halus dan disebabkan oleh adanya gas hidrogen yang dikeluarkan dari katoda, yang mengangkat flok yang masih melayang pada air ke permukaan air dan menyebabkannya mengapung. Proses tersebut berlangsung terus menerus (Prayitno et al., 2017).



Gambar 2.1 Proses Mekanisme Elektrokoagulasi

(Sumber: (Prayitno et al., 2017))

### 2.1.5 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Berdasarkan prosesnya, elektrokoagulasi memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain (Ikhwan et al., 2018):

#### 1. Kepadatan arus listrik

Kenaikan kepadatan pada arus listrik akan mempersingkat waktu ion bermuatan dalam membentuk flok. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.

#### 2. Waktu detensi

Waktu detensi berpengaruh pada proses elektrokoagulasi karena semakin lama waktu tinggal, semakin banyak ion logam yang akan menempel pada elektroda. Menurut hukum Faraday, waktu detensi berbanding lurus dengan jumlah muatan yang mengalir.

#### 3. Tegangan

Tegangan arus listrik adalah salah satu faktor yang mempengaruhi elektrokoagulasi, karena tegangan arus listrik menginduksi perubahan kimia yang melewati media (pelat/logam atau elektrolit). Semakin tinggi tegangan, semakin cepat reaksi oksidasi-reduksi

#### 4. Kadar keasaman (pH)

Pada metode elektrokoagulasi mengelektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida, semakin lama waktu kontak, semakin cepat gas hidrogen dan ion hidroksida terbentuk, dan jika ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan terjadi kenaikan pH dalam larutan. pH suatu larutan juga mempengaruhi keadaan partikel dalam larutan dan kelarutan produk yang dihasilkan. pH larutan mempengaruhi efisiensi dan efektivitas elektrokoagulasi secara keseluruhan. pH larutan yang mudah berubah dari pH optimum, meningkatkan efisiensi proses elektrokoagulasi yang terdapat dalam larutan pada kisaran 6,5 sampai 7,5.

#### 5. Ketebalan plat

Ketebalan plat yang digunakan jika semakin tebal, maka daya Tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

#### 6. Jarak antar elektroda

Jarak antar elektroda mempunyai pengaruh terhadap besarnya hambatan elektrolit, semakin panjang besar jarak antar elektroda semakin besar hambatan yang dihasilkan sehingga semakin kecil arus listrik yang mengalir.

#### 7. Penambahan Elektrolit

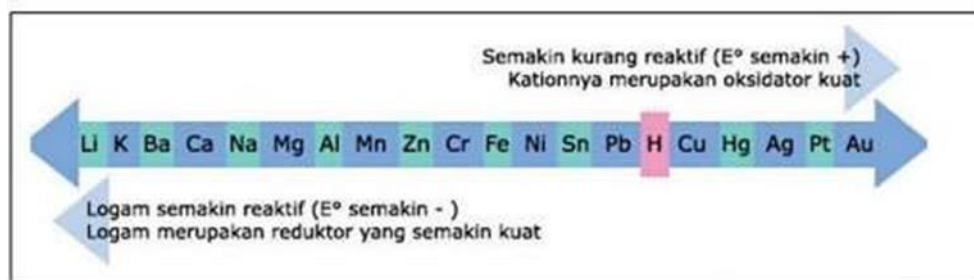
Elektrolit *support* merupakan material yang digunakan dalam elektrolit padat untuk mendukung konduktivitas ionik (Baena et al., 2021). Berbagai jenis elektrolit *support* telah dikembangkan dan digunakan dalam aplikasi elektrokimia.

### 2.1.6 Jenis – Jenis Elektroda

Material Elektroda merupakan salah satu faktor dalam proses Elektrokoagulasi dikarenakan koagulan yang terbentuk dihasilkan dari proses reduksi-oksidasi logam material tersebut. Pemilihan material untuk pengolahan air limbah disesuaikan dengan limbah dan polutan apa yang ingin dihilangkan. Material elektroda sebaiknya tidak beracun terhadap manusia dan lingkungan. Elektroda yang dapat digunakan dalam proses Elektrokoagulasi adalah aluminium,

besi, stainless steel, grafit, dan terkadang seng. Hal tersebut dikarenakan murah, tersedia dalam jumlah banyak, efektif, dan tidak toksik.

Jenis-jenis elektroda beragam berdasarkan deret volta. Susunan dari unsur-unsur logam berdasarkan potensial elektroda standardnya yaitu berdasarkan daya oksidasi dan reduksi pada masing-masing logam disebut deret elektrokimia atau deret volta. Sel volta adalah sel elektrokimia yang menghasilkan energi listrik yang bersumber dari reaksi kimia yang berlangsung secara spontan.



**Gambar 2.2** Deret Volta

(Sumber: Darmiati, 2017)

Berdasarkan deret volta yang digunakan maka, semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta menandakan:

1. Logam tersebut semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron);
2. Logam tersebut merupakan reduktor yang semakin kuat serta semakin mudah teroksidasi;
3. Logam sebelah kiri akan mereduksi logam sebelah kanannya, logam sebelah kanan akan mengoksidasi logam sebelah kirinya.

### 2.1.7 Elektroda Aluminium

Aluminium adalah unsur kimia dengan nomor atom 13. Aluminium adalah logam berat, tetapi keberadaannya hanya 8% di permukaan bumi. Di antara logam yang biasa digunakan sebagai elektroda, aluminium menempati posisi paling kiri. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium sangat reaktif dan mudah memancarkan elektron (Fitri Zarlaida, 2019). Elektroda yang digunakan dalam proses Elektrokoagulasi penelitian ini berupa elektroda plat aluminium. Elektroda ini merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke

dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda Aluminium dipilih karena variasi nilai potensialnya dalam deret volta dan kemampuannya dalam proses penysisihan polutan dengan Elektrokoagulasi (B. N. , & A. S. A. Jati, 2015a).

### **2.1.8 Elektrolit *Support***

Elektrolit *support* merujuk pada material yang digunakan dalam elektrolit padat untuk mendukung konduktivitas ionik. Elektrolit padat adalah jenis elektrolit di mana ion-ion bergerak melalui fase padat, yang berbeda dengan elektrolit cair di mana ion-ion bergerak dalam fase cairan. Elektrolit padat memiliki aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, termasuk teknologi baterai, sel bahan bakar, sensor, dan banyak lagi.

Dalam elektrolit padat, konduktivitas ionik sangat penting untuk memastikan aliran ion yang efisien. Konduktivitas ionik yang tinggi dicapai dengan menggunakan elektrolit padat yang memiliki struktur kristal yang teratur, mengandung ion yang mudah bergerak, dan memiliki sedikit hambatan terhadap pergerakan ion (Tufail et al., 2023). Elektrolit *support* berperan penting dalam mendukung struktur kristal dan memfasilitasi pergerakan ion dalam elektrolit padat.

Salah satu material yang umum digunakan sebagai elektrolit *support* adalah oksida ionik, seperti oksida cerium ( $\text{CeO}_2$ ) dan oksida zirkonia stabil ( $\text{ZrO}_2$ ). Oksida ionik memiliki sifat konduktivitas ionik yang baik karena ion-ionnya dapat bergerak melalui jaringan struktur kristal yang padat. Oksida ionik juga memiliki stabilitas termal yang tinggi dan tahan terhadap reaksi elektrokimia yang merugikan. Sebagai contoh, oksida zirkonia stabil (*stabilized zirconia*) telah banyak digunakan sebagai elektrolit support dalam sel-sel elektrokimia tinggi suhu seperti sel oksida padat (Solid Oxide Fuel Cells, SOFCs) dan sensor gas (Apriany & Rahmawati, 2017). Penelitian menunjukkan bahwa oksida zirkonia stabil dapat mendukung konduktivitas ionik yang tinggi dalam SOFCs dengan mengandalkan mekanisme perambatan ionik yang melibatkan defek oksigen vakansinya (Dunstan, 2021). Oksida zirkonia stabil mampu mengakomodasi defek-defek ini dan memfasilitasi pergerakan ion oksigen melalui struktur kristal.

Selain oksida ionik, elektrolit *support* juga dapat terdiri dari konduktor proton seperti polimer elektrolit padat, misalnya Nafion. Nafion merupakan polimer sulfonat perfluorokarbon yang memiliki kelarutan ionik yang baik dan konduktivitas proton yang tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa struktur molekul Nafion yang terdiri dari rantai panjang yang bercabang dapat memfasilitasi pergerakan ion hidrogen dan meningkatkan konduktivitas ionik dalam elektrolit padat berbasis polimer (Kreuer. K. D, 2001).

### **2.1.9 Jenis – Jenis Elektrolit Support**

Elektrolit *support* merupakan material yang digunakan dalam elektrolit padat untuk mendukung konduktivitas ionik. Berbagai jenis elektrolit *support* telah dikembangkan dan digunakan dalam aplikasi elektrokimia. Berikut jenis – jenis elektrolit *support* secara umum:

#### 1. Oksida Ionik

Oksida ionik, seperti oksida cerium ( $\text{CeO}_2$ ), oksida zirkonia stabil ( $\text{ZrO}_2$ ), dan oksida lanthanum strontium manganite (LSM), telah banyak digunakan sebagai elektrolit *support* dalam berbagai aplikasi elektrokimia. Oksida ionik memiliki konduktivitas ionik yang baik dan struktur kristal yang stabil. Mereka memfasilitasi pergerakan ion melalui jaringan struktur kristal yang padat. Penggunaan oksida zirkonia stabil sebagai elektrolit *support* dalam sel oksida padat (SOFCs) (Dunstan, 2021).

#### 2. Polimer Elektrolit Padat

Polimer elektrolit padat, seperti polimer sulfonat perfluorokarbon (misalnya, Nafion) dan polimer elektrolit konduktif proton (PEFC), telah digunakan sebagai elektrolit *support* dalam aplikasi sel bahan bakar dan sensor. Polimer elektrolit padat memiliki konduktivitas proton yang tinggi dan kelarutan ionik yang baik. Pengembangan material polimer elektrolit padat untuk aplikasi teknologi dan konduktivitas ionik yang terkait (Kreuer. K. D, 2001).

#### 3. Karbon dan Grafen



Karbon dan material grafen telah menunjukkan potensi sebagai elektrolit support dalam berbagai aplikasi elektrokimia. Karbon memiliki konduktivitas elektronik yang tinggi dan juga dapat memfasilitasi pergerakan ion dalam elektrolit padat. Grafen, dengan konduktivitas listrik yang sangat baik dan luasnya permukaan spesifik, dapat meningkatkan konduktivitas ionik dan memperbaiki kinerja elektrokimia. Penggunaan material karbon dan grafen sebagai elektrolit support dalam superkapasitor (Suryanti, 2019).

#### 4. Komposit Elektrolit

Komposit elektrolit terdiri dari kombinasi dua atau lebih material yang berbeda, seperti oksida ionik dengan polimer, oksida ionik dengan karbon, atau oksida ionik dengan nano-partikel konduktor. Komposit ini memanfaatkan keunggulan masing-masing material untuk meningkatkan konduktivitas ionik dan stabilitas mekanik. Pengembangan komposit elektrolit berbasis oksida ionik dengan bahan tambahan untuk aplikasi sel bahan bakar (Raharjo & Ramli Wan Daud, 2008).

#### **2.1.10 Bioetanol**

Bioetanol adalah salah satu jenis biofuel yang dipandang sebagai alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbarui. Bioetanol adalah cairan biokimia yang dihasilkan melalui proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan mikroorganisme (Mensah et al., 2021). Bioetanol juga dapat dijelaskan sebagai bahan kimia yang dihasilkan dari bahan pangan yang kaya akan pati, seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu. Sebagai salah satu bahan bakar dari minyak nabati, bioetanol memiliki karakteristik yang mirip dengan minyak premium (Elkelawy et al., 2019; Mensah et al., 2021; Prasad et al., 2019).

Tinjauan pustaka tentang bioetanol sebagai elektrolit dapat dikaitkan dengan peranannya dalam mempengaruhi perilaku korosi pada bahan logam yang digunakan dalam industri otomotif. Bioetanol, seperti yang telah dijelaskan dalam penelitian sebelumnya, merupakan salah satu jenis biofuel yang diproduksi melalui proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat. Bioetanol memiliki sifat yang memungkinkannya bertindak sebagai elektrolit dalam lingkungan yang cocok,

seperti dalam campuran bahan bakar dengan kadar etanol yang bervariasi. Dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis terdahulu, bioetanol dan campurannya dengan bensin dievaluasi terhadap pengaruhnya terhadap bahan logam yang umum digunakan dalam pembuatan suku cadang otomotif (Baena et al., 2021).

Dalam penelitian tersebut, elektrokimia EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) digunakan untuk mengevaluasi respons bahan logam terhadap lingkungan bioetanol. Hasil EIS menunjukkan adanya dua lengkungan kapasitif pada diagram untuk semua bahan logam yang dievaluasi. Lengkungan frekuensi tinggi terkait dengan respons dielektrik dari campuran bahan bakar, sedangkan lengkungan kedua menunjukkan karakteristik dan aktivitas antarmuka logam/bahan bakar (Baena et al., 2021). Hasil analisis menunjukkan bahwa ketahanan transfer ( $R_t$ ) yang diperoleh dari lengkungan kedua EIS menunjukkan kemungkinan korosi pada tembaga dan baja karbon dalam semua campuran bahan bakar yang dievaluasi, sedangkan baja tahan karat dan timah menunjukkan perilaku anti-korosi yang baik dengan nilai  $R_t$  yang tinggi (Baena et al., 2021). Timah menunjukkan nilai resistansi transfer muatan tertinggi, diikuti oleh baja tahan karat, baja karbon, dan tembaga.

Dari penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa bioetanol dan campurannya dengan bensin dapat berperan sebagai elektrolit dalam pengaruh korosi pada bahan logam yang digunakan dalam industri otomotif. Dalam konteks ini, pemahaman tentang sifat elektrolit bioetanol dan pengaruhnya terhadap interaksi dengan bahan logam menjadi penting dalam pengembangan material yang tahan terhadap korosi untuk aplikasi otomotif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

#### **2.1.11 Parameter Surfaktan dan Fosfat pada Air Limbah *Laundry***

Surfaktan dan fosfat merupakan dua komponen yang seringkali ditemukan dalam air limbah dari industri laundry. Kedua bahan ini dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Dalam konteks air limbah laundry, surfaktan dan fosfat dapat berasal dari deterjen dan produk pembersih yang digunakan dalam proses pencucian tekstil.

Surfaktan atau disebut juga agen pemulsifikasi adalah senyawa yang memiliki kemampuan untuk mengurangi tegangan permukaan air, sehingga memungkinkan air dapat meresap lebih baik ke dalam serat tekstil dan membantu mengangkat kotoran (ICSA, 2023). Meskipun surfaktan berperan penting dalam proses pencucian, keberadaannya dalam jumlah besar dalam air limbah dapat menyebabkan pencemaran air dan merugikan lingkungan. Surfaktan yang bersifat non-biodegradable dapat bertahan lama di lingkungan dan membahayakan organisme hidup.

Fosfat seringkali ditemukan dalam deterjen sebagai agen pelembut air. Fosfat dapat memberikan efek yang positif dalam proses pencucian dengan mengikat ion-ion logam seperti kalsium dan magnesium, yang dapat mengurangi efektivitas deterjen. Namun, masalah utama terkait dengan fosfat dalam air limbah adalah kemampuannya untuk menyebabkan eutrofikasi di perairan. Fosfat dapat menjadi sumber nutrisi bagi alga, sehingga memicu pertumbuhan alga yang berlebihan dan mengakibatkan penurunan kualitas air (Fried et al., 2003). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji dampak surfaktan dan fosfat dalam air limbah *laundry*. Kadar surfaktan yang tinggi dalam air limbah dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme di perairan (Badmus et al., 2021).

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Elektrokoagulasi dengan Elektroda Aluminium**

Aluminium adalah unsur kimia dengan nomor atom 13. Aluminium adalah logam berat, tetapi keberadaannya hanya 8% di permukaan bumi (B. N. , & A. S. A. Jati, 2015b). Di antara logam yang biasa digunakan sebagai elektroda, aluminium menempati posisi paling kiri. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium sangat reaktif dan mudah memancarkan elektron.

### **2.2.2 Fungsi Masing – Masing Alat**

#### **a. Elektrokoagulasi**

Elektrokoagulasi berfungsi mengendapkan kontaminan, menurunkan konsentrasi lebih rendah dari yang bisa dicapai dengan pengendapan kimiawi sehingga menetralkan muatan partikel dan ion, serta dapat

menggantikan dan/atau mengurangi penggunaan bahan kimia lain seperti garam dan polimer (MUSLIM, 2020).

b. Elektrolit *Support*

Elektrolit *support* meningkatkan konduktivitas larutan elektrolitik, yang memungkinkan aliran arus listrik yang lebih baik (TEGUH SUPRIANTO, 2018). Dengan adanya konduktivitas yang baik, energi listrik dapat didistribusikan secara efisien ke dalam larutan, memungkinkan proses elektrokoagulasi yang efektif.

### 2.2.3 Keuntungan Masing – Masing Alat

a. Keuntungan Elektrokoagulasi

Kelebihan dari proses pengolahan limbah dengan metode elektrokoagulasi adalah (Budiany Rachmawati, 2014):

- Flok yang dihasilkan elektrokoagulasi ini sama dengan flok yang dihasilkan koagulasi biasa
- Lebih cepat mereduksi kandungan koloid/partikel yang paling kecil, hal ini disebabkan pengaplikasian listrik kedalam air akan mempercepat pergerakan mereka di dalam air, dengan demikian akan memudahkan proses
- Gelembung-gelembung gas yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi ini dapat membawa polutan ke atas air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan
- Mampu memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi, dikarenakan tidak dipengaruhi temperatur, tidak memerlukan pengaturan pH, serta tidak perlu menggunakan bahan kimia tambahan.

b. Elektrolit *Support*

Penambahan elektrolit *support* pada proses elektrokoagulasi memberikan beberapa keuntungan yang signifikan. Berikut ini adalah beberapa keuntungan utama yang dikaitkan dengan penggunaan elektrolit *support* (Huang, 2001):

- Meningkatkan Efisiensi Koagulasi: Penambahan elektrolit *support* dapat meningkatkan efisiensi koagulasi dalam proses elektrokoagulasi. Elektrolit *support* yang ditambahkan dapat membantu meningkatkan reaksi elektrokimia yang terjadi dan mempercepat pembentukan koagulan. Hal ini memungkinkan partikel-partikel terlarut atau tersuspensi untuk lebih mudah menggumpal dan mengendap, meningkatkan efisiensi penghilangan zat-zat terkontaminasi dari larutan.
- Memperluas Rentang Aplikasi: Penambahan elektrolit *support* juga memungkinkan penyesuaian dan pengoptimalan proses elektrokoagulasi untuk berbagai jenis air limbah dan kondisi operasional yang berbeda. Dengan menggunakan elektrolit *support* yang tepat, seperti berbagai jenis garam atau senyawa elektrolit, dapat memperluas rentang aplikasi elektrokoagulasi dan meningkatkan kinerja proses dalam menghilangkan berbagai jenis polutan dari air limbah.
- Stabilisasi pH: Beberapa elektrolit *support* juga berfungsi sebagai buffer, membantu menjaga dan mengendalikan pH larutan selama proses elektrokoagulasi. Stabilisasi pH yang efektif dapat mempengaruhi aktivitas koagulasi dan pengendapan partikel, serta mencegah terjadinya fluktuasi pH yang berlebihan yang dapat mengganggu efisiensi proses.
- Mengoptimalkan Konduktivitas: Penambahan elektrolit *support* juga membantu meningkatkan konduktivitas larutan elektrolitik, yang sangat penting dalam proses elektrokoagulasi. Konduktivitas yang lebih tinggi memfasilitasi aliran arus listrik yang lebih baik dan penyebaran energi listrik yang merata dalam larutan, meningkatkan efisiensi koagulasi dan pengendapan partikel.

#### **2.2.4 Mekanisme Proses yang Terjadi**

Saat elektrolit ditambahkan ke dalam larutan pada proses elektrokoagulasi, terjadi beberapa proses kunci yang memengaruhi hasil koagulasi dan pengendapan

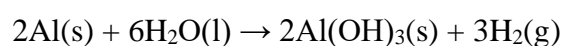
partikel (Huang, 2001). Elektrolit mengalami disosiasi di mana senyawa elektrolit terpecah menjadi ion-ion bermuatan positif (kation) dan negatif (anion). Sebagai contoh, ketika natrium klorida (NaCl) digunakan sebagai elektrolit pendukung, NaCl terurai menjadi ion natrium (Na<sup>+</sup>) dan ion klorida (Cl<sup>-</sup>). Ion-ion ini meningkatkan konduktivitas larutan elektrolitik, memungkinkan aliran arus listrik yang lebih lancar melalui larutan. Hal ini memastikan distribusi energi listrik yang merata dalam larutan untuk mencapai efek elektrokoagulasi yang optimal.

Proses selanjutnya adalah reaksi elektrokimia yang terjadi di antara elektroda-elektroda yang digunakan dalam elektrokoagulasi. Elektroda yang berfungsi sebagai anoda melepaskan ion-ion positif (kation), sedangkan elektroda yang berfungsi sebagai katoda melepaskan ion-ion negatif (anion) ke dalam larutan elektrolitik. Ion-ion yang dilepaskan ini berinteraksi dengan partikel-partikel terlarut atau tersuspensi dalam larutan, membentuk koagulan yang diperlukan untuk proses penggumpalan dan pengendapan partikel.

Selain itu, penambahan elektrolit support juga dapat mempengaruhi pH larutan elektrolitik. Beberapa elektrolit support juga berfungsi sebagai buffer, yang membantu menjaga dan mengendalikan pH larutan selama proses elektrokoagulasi. Stabilisasi pH yang efektif sangat penting dalam mempengaruhi aktivitas koagulasi dan pengendapan partikel, serta mencegah fluktuasi pH yang berlebihan yang dapat mengganggu efisiensi proses.

Dalam elektrokoagulasi, elektroda aluminium biasanya digunakan sebagai elektroda aktif untuk menghasilkan koagulan aluminium hidroksida ( $Al(OH)_3$ ) yang membantu penggumpalan dan pengendapan partikel dalam larutan. Proses elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium melibatkan beberapa tahapan utama, termasuk reaksi elektrokimia dan mekanisme koagulasi.

Pada elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium, saat arus listrik diterapkan pada larutan, reaksi elektrokimia terjadi pada permukaan elektroda aluminium. Elektroda aluminium teroksidasi, melepaskan ion aluminium ( $Al_3^+$ ) ke dalam larutan. Reaksi elektrokimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dalam reaksi di atas, elektroda aluminium (Al) teroksidasi dan bereaksi dengan air ( $H_2O$ ) membentuk hidroksida aluminium ( $Al(OH)_3$ ) dan gas hidrogen ( $H_2$ ).

Ion aluminium ( $Al_3^+$ ) yang terbentuk dari elektroda aluminium bergerak ke sekitar larutan dan bereaksi dengan ion hidroksida ( $OH^-$ ) yang ada di dalam larutan. Reaksi ini menghasilkan pengendapan koagulan aluminium hidroksida ( $Al(OH)_3$ ) yang membantu mengumpulkan partikel-partikel terlarut atau tersuspensi ke dalam flok yang lebih besar. Flok ini kemudian dapat diendapkan atau dihilangkan dari larutan.

### 2.2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No .	Judul Penelitian	Tahun	Nama Penulis	Varibel Penelitian	Kesimpulan
1	Pemanfaatan Air Larutan Garam Sebagai Kabel Penghantar Listrik Pengganti Tembaga	2019	(Syafitra Rezki et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa garage</li> <li>• Daya Listrik (watt)</li> </ul>	<p>Air larutan garam dapat menjadi alternatif kabel penghantar listrik yang lebih murah dan ramah lingkungan. Namun, perlu diingat bahwa daya hantar listriknya lebih rendah dan membutuhkan perlindungan ekstra untuk mencegah</p>

					korosi dan kebocoran.
2	Integrasi Proses Elektrokoagulasi - Elektrooksidasi sebagai Alternatif dalam Pengolahan Limbah Cair Batik Zat Warna Naftol	2016	(Hidayat, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerapatan Arus</li> <li>• Jenis electrode yang digunakan (Al)</li> <li>• Waktu kontak</li> </ul>	Integrasi EK-EO merupakan alternatif yang efektif dalam mengolah limbah cair batik zat warna naftol. Meskipun membutuhkan biaya dan energi yang lebih tinggi, metode ini menawarkan efisiensi pengolahan yang lebih tinggi dan ramah lingkungan.
3	Pengaruh Jenis Elektrolit <i>Support</i> pada Penurunan Logam Cr dalam Limbah dengan Menggunakan	2019	(Rahmaning Amelia et al., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jenis elektrolit support yang diuji adalah NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,</li> </ul>	Penambahan elektrolit support NaCl dapat meningkatkan efisiensi penyisihan



	Metode Elektrokoagulasi			<p>Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, NaBr, dan NaI.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tegangan</li> <li>• Waktu kontak</li> </ul>	<p>logam Cr dalam limbah dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Waktu dan tegangan optimal untuk proses elektrokoagulasi adalah 180 menit dan 20 volt.</p>
4	Pengaruh pH dan Konsentrasi Elektrolit dalam Elektrokoagulasi Limbah Surfaktan	2020	(Rusdi et al., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suhu air limbah</li> <li>• Waktu kontak</li> <li>• Elektrolit yang digunakan (NaCl)</li> </ul>	<p>Metode elektrokoagulasi dapat digunakan untuk menyisahkan surfaktan dalam limbah dengan efisiensi yang tinggi. pH optimal untuk proses elektrokoagulasi adalah 2 dan konsentrasi elektrolit Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></p>

					optimal adalah 7 mM. Waktu dan tegangan optimal untuk proses elektrokoagulasi adalah 60 menit dan 10 volt.
5	<i>On the controversial effect of sodium sulphate as supporting electrolyte on electrocoagulation process: A review</i>	2011	(Gheraout & Gheraout, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jenis elektrolit pendukung yang digunakan dalam proses EC, seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaCl.</li> <li>• Volume elektrolit</li> </ul>	<p>Penggunaan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai elektrolit pendukung dalam proses EC dapat menjadi alternatif yang lebih murah dibandingkan NaCl, namun efektivitasnya tergantung pada polutan dan kondisi operasi tertentu.</p> <p>Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami</p>

					mekanisme pengaruh $\text{Na}_2\text{SO}_4$ dan mengembangkan strategi optimasi penggunaannya dalam berbagai aplikasi pengolahan air limbah.
--	--	--	--	--	--