

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Abu terbang (*fly ash*) yang merupakan salah satu jenis limbah padat sisa proses pembakaran di PLTU yang memiliki kandungan logam yang beragam dan didominasi oleh oksida logam seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Kandungan oksida besi dan alumina dapat menjadi suatu potensi pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan baku dalam pembuatan koagulan. Sintesis koagulan tersebut dilakukan melalui proses ekstraksi (*leaching*) dengan menggunakan pelarut asam untuk mengikat ion besi ataupun aluminium yang merupakan kation komposisi utama dari bahan koagulan (Nurwenda dkk., 2017) .

Dalam penerapannya, proses pembuatan koagulan sintetis padat dari *fly ash* dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi (*leaching*) dengan penggunaan larutan asam. Dalam pembuatan sintesis koagulan dari *fly ash* ini, proses ekstraksi (*leaching*) dilakukan dengan menggunakan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Penggunaan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lebih dipilih karena kemampuannya yang dapat menghancurkan kerapatan pada lapisan permukaan *fly ash* yang berbentuk rantai *glassy* rapat dan stabil, sehingga dapat lebih mudah dalam proses pengikatan ion dalam *fly ash* (Susilo & Sulistyawati, 2019). Proses kemudian dilanjutkan dengan alkalisasi, yaitu proses pereaksian dengan kalium hidroksida (KOH) untuk meningkatkan nilai pH koagulan. Terakhir, koagulan diuapkan dengan tujuan untuk membentuk koagulan berfasa padat sebagai produk akhir. Berikut adalah ringkasan penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini:

**Tabel 2.1.** Ringkasan Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
1.	Fetriyeni (2013)	Mengetahui potensi lempung sebagai koagulan dalam pengolahan air gambut.	Melalui proses ekstraksi menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , lempung dapat dijadikan sebagai koagulan cair yang mampu meningkatkan kualitas air gambut.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jenis bahan baku yang digunakan</li> <li>- Lama waktu proses kalsinasi</li> <li>- Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>- Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>- Waktu proses ekstraksi</li> <li>- Suhu proses ekstraksi</li> <li>- Penambahan proses alkalisasi</li> <li>- Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> </ul>
2.	Moerdiyanti dkk. (2014)	Mengetahui potensi pengolahan limbah padat lumpur (LPL) PDAM menjadi produk koagulan dalam bentuk tawas cair.	Dengan biaya yang lebih ekonomis, tawas cair dapat dihasilkan dari <i>recovery</i> aluminium melalui metode asidifikasi menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> yang mampu diterapkan dalam pengolahan air baku dilihat dari penyisihan kekeruhannya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jenis bahan baku yang digunakan</li> <li>- Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>- Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>- Waktu proses ekstraksi</li> <li>- Penambahan proses alkalisasi</li> <li>- Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>- Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>

No.	Nama Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
3.	Safutra dkk. (2017)	Mengetahui potensi penggunaan limbah abu layang sebagai bahan baku pembuatan koagulan cair untuk pengolahan air gambut	Limbah abu layang ( <i>coal fly ash</i> ) dapat dijadikan sebagai koagulan pada pengolahan air gambut karena mampu meningkatkan kualitas air gambut.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>- Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>- Waktu proses ekstraksi</li> <li>- Suhu proses ekstraksi</li> <li>- Penambahan proses alkalisasi</li> <li>- Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>- Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>
4.	Nurwenda dkk. (2017)	Mengetahui efektivitas pengolahan air gambut menggunakan koagulan cair yang diekstraksi menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	Dengan proses ekstraksi menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,02 mol pada suhu 80°C selama 2 jam, koagulan cair yang dihasilkan mampu menurunkan parameter warna dan kekeruhan yang sesuai dengan baku mutu air bersih yang berlaku.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jenis bahan baku yang digunakan</li> <li>- Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>- Suhu proses ekstraksi</li> <li>- Waktu proses ekstraksi</li> <li>- Penambahan proses alkalisasi</li> <li>- Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>- Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>

No.	Nama Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
5.	Aida dkk. (2018)	Mengetahui kondisi optimal dalam proses ekstraksi pembuatan koagulan dari <i>fly ash</i> dan kemampuannya dalam melakukan proses penjernihan air	<i>Fly ash</i> dapat dijadikan sebagai koagulan karena mampu melakukan proses koagulasi dilihat dari hasil penurunan kadar kekeruhan ( <i>turbidity</i> ) selama <i>jar test</i> dengan proses ekstraksi menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>– Ukuran partikel <i>fly ash</i> sebagai bahan baku</li> <li>– Suhu proses kalsinasi</li> <li>– Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Waktu proses ekstraksi</li> <li>– Suhu proses ekstraksi</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> </ul>
6.	Susilo dan Sulistyawati (2019)	Mengetahui kemampuan larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dalam aktivasi abu layang batu bara dan kondisi optimum proses aktivasi dalam proses pembuatan koagulan dari <i>fly ash</i> , serta efektivitasnya dalam aplikasi di proses pengolahan limbah cair industri pulp dan kertas	Dengan menggunakan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2 M pada rasio 1:5 dan pemanasan 250°C selama 1 jam, koagulan cair yang dihasilkan mampu meningkatkan kualitas limbah cair pulp dan kertas dilihat dari parameter COD, TSS, warna, kekeruhan, dan konduktivitasnya.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Waktu proses ekstraksi</li> <li>– Suhu proses ekstraksi</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>– Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>

No.	Nama Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
7.	Forminte dkk. (2020)	Mengetahui potensi sintesis koagulan dari <i>fly ash</i> dengan penggunaan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dan karakteristiknya, serta efektivitasnya dalam proses pengolahan air limbah.	Sintesis koagulan <i>fly ash</i> yang dihasilkan mengandung kompleks koagulan berbasis aluminium besi sulfat dan mampu menyisihkan kadar TSS mencapai 84% dengan penggunaan dosis 60 mg/L.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>– Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Waktu proses ekstraksi</li> <li>– Suhu proses ekstraksi</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>– Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>
8.	Abidin dan Leksono (2021)	Memanfaatkan <i>fly ash</i> batu bara yang dihasilkan dari utilitas batu bara menjadi koagulan sebagai bahan masukan dalam unit <i>effluent treatment</i> pengolahan air bersih.	Hasil pengolahan <i>fly ash</i> dari unit utilitas batu bara PT. Petrokimia Gresik menjadi koagulan dengan pencampuran H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dalam rasio 1:2 mampu menurunkan kadar turbiditas dan TSS air limbah TK 6616 mencapai 98,68% dan 97,41%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> <li>– Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>

No.	Nama Peneliti	Tujuan	Hasil	Perbedaan
9.	Pangestu (2021)	Memfaatkan <i>red mud</i> untuk dijadikan sebagai koagulan dalam proses pengolahan air sungai Kapuas.	Koagulan yang dihasilkan dalam proses ekstraksi <i>red mud</i> dengan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> mampu memperbaiki kualitas air sungai Kapuas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Jenis bahan baku yang digunakan</li> <li>– Konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk proses ekstraksi</li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Jenis air limbah yang diolah</li> </ul>
10.	Apua (2021)	Mengetahui pengaruh kondisi pada proses <i>leaching</i> , serta karakteristik dari koagulan sintesis yang dihasilkan.	Karakteristik koagulan dipengaruhi oleh waktu, konsentrasi asam sulfat, dan rasio padat/cair dalam proses <i>leaching</i> . Koagulan yang dihasilkan tersebut mampu mengandung sulfat dengan polimer aluminium, besi, magnesium, silikon dan kalsium yang dapat digunakan dalam proses pengolahan air limbah.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proses preparasi <i>fly ash</i></li> <li>– Rasio ekstraksi (<i>fly ash</i> terhadap pelarut H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</li> <li>– Waktu proses ekstraksi</li> <li>– Suhu proses ekstraksi</li> <li>– Penambahan proses alkalisasi</li> <li>– Pembuatan produk koagulan dalam berbentuk padat</li> </ul>

Unsur kebaruan penelitian dapat terlihat dari adanya perbedaan metode penelitian ini dengan penelitian-penelitian terdahulu. Pada penelitian ini, proses sintesis koagulan tidak hanya dilakukan melalui proses ekstraksi melainkan adanya penambahan proses alkalisasi setelahnya. Proses alkalisasi dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan koagulan dengan nilai pH yang tidak terlalu asam sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pH pada air

limbah selama pengaplikasiannya dalam proses koagulasi. Selain itu, dihasilkannya produk koagulan berbentuk padat atau bubuk bertujuan untuk dapat lebih mempermudah dalam perhitungan dosis koagulan dan mekanisme penyimpanannya.

## 2.2. Teori-teori yang Relevan

### 2.2.1. Proses Produksi PLTU

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit yang menggunakan bahan bakar batu bara dalam proses produksi listriknya. Batu bara diproses sebagai media untuk mengubah air menjadi uap selama proses pembakaran berlangsung di ketel uap atau *boiler* (Riana, 2020). Secara garis besar, konversi energi yang terdapat dalam proses produksinya adalah mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Proses konversi energi pada PLTU Cilacap berlangsung melalui tiga tahapan, yaitu antara lain (Pardede, 2020):

1. Mengubah bahan bakar (energi kimia) menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan bersuhu tinggi.
2. Mengubah energi panas (uap) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Dalam sistem operasionalnya, proses utama dalam PLTU terdiri atas *coal handling system*, *boiler*, turbin, generator, dan sistem pendingin. Batu bara yang dibawa oleh kapal maupun truk pengangkut akan disalurkan menuju boiler melalui *coal handling system*. Di dalam *boiler* kemudian akan terjadi proses pembakaran batu bara yang akan menghasilkan energi panas untuk memanaskan air dalam pipa-pipa *boiler* menjadi uap dengan temperatur dan tekanan tinggi. Uap tersebut selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel langsung dengan generator yang akan menghasilkan energi listrik. Selama melewati turbin, uap tersebut akan kehilangan tekanan dan suhunya sehingga menjadi uap bertekanan dan bertemperatur rendah yang akan masuk ke dalam kondensor sebagai sistem pendingin. Dalam kondensor, uap akan berubah menjadi air yang kemudian akan dipompakan kembali menuju *boiler* untuk dipanaskan kembali (Wibowo dan Windarta, 2020).

Sebagai proses utama dalam siklus produksi di PLTU, sistem pembakaran dengan batu bara di *boiler* akan menghasilkan 2 jenis limbah berupa abu sisa pembakaran, yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*) atau biasa



disebut sebagai FABA. Persentase komposisi FABA yang dihasilkan setiap proses produksi secara umum adalah terdiri dari 80% *fly ash* dan 20% sisanya berupa *bottom ash* (Aida dkk., 2018).

### 2.2.2. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah material sisa hasil proses pembakaran bahan bakar berupa batu bara dalam sistem operasional produksi listrik di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). *Fly ash* terbentuk dari adanya proses gasifikasi dan transformasi dari material organik dan bahan mineral dalam batu bara selama proses pembakaran (Susilo dan Sulistyawati, 2019), dimana pembentukan *fly ash* terjadi karena adanya mineral-mineral dalam batu bara yang tidak mudah terbakar seperti silika (Si), aluminium (Al), dan besi (Fe) (Tualeka, 2016)

*Fly ash* memiliki karakteristik material yang kompleks dan termasuk dalam fase kristalin dan amorf (Rouf dan Bagastyo, 2020). Karakteristik dan sifat dari *fly ash* bergantung pada komposisi dan kandungan mineral pada batu bara yang digunakan dalam sistem pembakarannya. Selain itu, komposisi kandungan mineral pada *fly ash* juga ditentukan dari sistematika proses pembakaran dan bahan tambahan yang digunakan selama proses pembakaran berlangsung (Haryanti, 2014).

**Tabel 2.2.** Komposisi *Fly Ash* berdasarkan Jenis Batu Bara

Senyawa	Jenis Batu Bara		
	<i>Bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>
SiO <sub>2</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	10-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	14-40
MgO	0-5	1-6	3-10
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
LOI	0-15	0-3	0-5

Sumber: (E. Yunita, 2017)

*Fly ash* berukuran sangat halus seperti serbuk dan berbentuk bola padat berongga. Ukuran partikel *fly ash* dapat bervariasi, mulai dari 11-25  $\mu\text{m}$  maupun 40–150  $\mu\text{m}$  dengan kerapatan berkisar 2100-3000  $\text{kg}/\text{m}^3$ . *Fly ash* bersifat hidrofobik atau tahan air dengan karakteristik warna abu-abu hingga hitam bergantung pada jumlah kandungan karbon yang terdapat di dalamnya. Semakin terang warna *fly ash*, maka semakin rendah kandungannya (Haryanti, 2014).

Menurut *American Standard Testing and Material* (ASTM C 618), *fly ash* terbagi atas 2 kelas, yaitu kelas F dan kelas C. Pembagian tersebut didasarkan atas komposisi dan kandungan dari *fly ash*, khususnya dari jumlah kadar kalsium, silika, aluminium, dan besinya. Secara garis besar, penggolongan tersebut dapat didasarkan juga dari jenis batu bara yang digunakan selama proses pembakarannya karena komposisi kandungan *fly ash* bergantung pada jenis batu baranya. *Fly ash* kelas F adalah jenis abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara antrasit maupun bituminous yang mempunyai sifat pozzolanik dengan kadar kapur rendah, yaitu di bawah 10%. Adapun total komposisi silika, alumina, dan besinya dapat mencapai  $\geq 70\%$ . Sedangkan *fly ash* kelas C berasal dari penggunaan jenis batu bara lignit atau sub-bituminous yang mempunyai sifat pozzolanik dan *self-cementing*, yaitu dapat mengeras apabila bereaksi dengan air. Kadar kapur dari *fly ash* kelas C sendiri umumnya lebih dari 20% dengan jumlah total kandungan silika, alumina, dan besi mencapai  $\geq 50\%$  (Rouf dan Bagastyo, 2020).

### **2.2.3. Besi dan Besi Oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )**

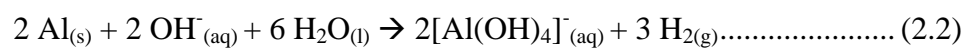
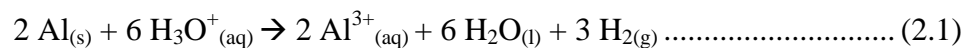
Besi adalah unsur logam transisi yang memiliki peran fisiologis penting bagi makhluk hidup, baik tanaman, hewan, maupun manusia dan banyak digunakan dalam segala aspek kehidupan. Kelimpahannya dalam bumi tergolong relatif banyak karena menempati urutan kedua setelah Al dan urutan keempat sebagai unsur yang paling banyak ditemukan di kerak bumi setelah unsur O, Si, dan Al. Besi termasuk dalam unsur yang cukup reaktif dan mudah teroksidasi menghasilkan Fe(III)oksida hidrat, yaitu karat yang tidak sanggup melindungi

karena sifatnya yang mudah hancur dan membiarkan permukaan logam yang baru tetap terbuka (Sriatun dkk., 2012).

Logam besi dapat bereaksi dengan baik pada pelarut asam mineral yang akan menghasilkan senyawa dengan valensi 2 maupun 3 bergantung pada jenis dan kondisi pelarutnya. Larutan asam sulfat pekat dapat mengoksidasi besi menjadi ion besi bervalensi 3 ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Reaksi dengan larutan asam klorida akan membentuk ion bervalensi 2 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan menghasilkan gas hidrogen. Sedangkan dengan larutan asam nitrat pekat, reaksinya akan menghasilkan lapisan oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dapat menghambat reaksi lebih lanjut. Adapun ion  $\text{Fe}^{2+}$  dapat teroksidasi dengan mudah menjadi ion  $\text{Fe}^{3+}$  apabila terdapat oksigen yang cukup. Di alam, besi jarang ditemukan sebagai unsur bebas. Melainkan seringkali ditemukan dalam bentuk mineral oksidanya, yaitu berupa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), maupun siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). (Syamsidar, 2013).

#### **2.2.4. Aluminium dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )**

Aluminium merupakan salah satu unsur logam yang banyak ditemukan di alam, baik dalam kerak bumi maupun terkandung pada batuan seperti felspar dan mika. Dengan titik leleh yang cukup tinggi, yaitu sekitar  $660^\circ\text{C}$ , aluminium umumnya terlihat berwarna putih dan mengkilat. Logam aluminium juga digolongkan sebagai logam amfoter yang mampu bereaksi dengan asam maupun basa. Dengan pelarut asam kuat, aluminium mampu membebaskan gas hidrogen, sedangkan reaksi dengan basa kuat akan membentuk senyawa aluminat dan gas hidrogen berdasarkan persamaan reaksi berikut (Farida, 2018):



Dalam bentuk oksidanya, aluminium hanya didapati sebagai senyawa alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang dapat diklasifikasikan dalam dua bentuk anhidrat yaitu  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Umumnya, alumina yang banyak ditemukan di kerak bumi maupun batuan berada dalam bentuk senyawa aluminosilikat hasil reaksi gabungan dengan unsur lain, seperti silikon dan oksigen. Alumina sendiri tidak mampu bereaksi maupun larut dalam air dikarenakan struktur padatnya yang terlalu kuat walaupun masih mengandung ion oksida. Sebagai senyawa amfoter

yang mengandung ion oksida, alumina mampu bereaksi dengan baik pada pelarut asam maupun basa (Farida, 2018).

#### **2.2.5. Kalsinasi**

Proses kalsinasi adalah proses pemanasan dengan suhu atau temperatur tinggi yang ditetapkan berdasarkan tujuan dari proses kalsinasi. Selama proses kalsinasi dapat terjadi reaksi dekomposisi yang akan melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksidan sehingga menghasilkan oksida dengan kemurnian yang tinggi. Kalsinasi dapat menguraikan senyawa-senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida serta membentuk fase kristal (Lisdawati, 2015).

Dengan menggunakan suhu berkisar antara 200-800°C, kalsinasi mampu melakukan pemisahan senyawa dengan ikatan kompleks menjadi senyawa sederhana akibat pemanasan pada suhu tinggi (Wati, 2012). Energi panas tersebut akan menyebabkan merenggangnya ikatan kimia antar molekul sehingga ikatan akan terurai dan terputus pada suhu tertentu (Wardiana dkk., 2019).

#### **2.2.6. Ekstraksi**

Merupakan proses pemecahan dan penguraian dua zat atau lebih melalui reaksi kimia dengan bantuan pelarut yang berbeda fasa dan tidak akan saling bercampur. Dengan tidak melibatkan perubahan fasa, proses ekstraksi sendiri dapat berjalan tanpa energi (Sugiarto, 2015). Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi dalam proses ekstraksi, yaitu antara lain (Richardson dkk., 2001):

a. Ukuran partikel

Proses ekstraksi dapat berjalan lebih mudah apabila ukuran partikelnya semakin kecil. Semakin kecil ukuran partikel tersebut akan mampu meningkatkan laju perpindahan zat dalam proses ekstraksi.

b. Zat pelarut (*Solvent*)

Zat pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksi harus disesuaikan dengan jenis zat yang akan dipisahkan dan memiliki nilai viskositas yang cukup rendah sehingga mampu memudahkan dalam sirkulasinya.

c. Temperatur

Bersamaan dengan tingginya temperatur atau suhu yang digunakan dalam proses ekstraksi, laju perpindahan zat juga akan mengalami peningkatan.

d. Pengadukan fluida

Pengadukan yang dilakukan selama proses ekstraksi juga mampu memberikan pengaruh terhadap laju ekstraksi. Pengadukan mampu meningkatkan proses difusi yang akan menaikkan laju transfer material atau zat dari permukaan partikel ke pelarut.

### 2.2.7. Ekstraksi Padat-Cair (*Leaching*)

Ekstraksi padat-cair adalah salah satu jenis ekstraksi berdasarkan jenis fasa yang digunakan dalam prosesnya. Dikenal dengan istilah *leaching*, ekstraksi padat-cair melibatkan matriks padatan dan pelarut dalam bentuk cairan. Dengan prinsip dasar berupa pemisahan zat yang terkandung dalam kompleks padatan oleh pelarut jenis tertentu yang mampu melarutkan zat tersebut, *leaching* digolongkan sebagai proses yang bersifat fisik. Hal tersebut dikarenakan komponen yang terlarut akan dikembalikan lagi dalam keadaan semula tanpa mengalami perubahan kimia (Sugiarto, 2015).

### 2.2.8. Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )

Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) merupakan jenis asam mineral (anorganik) yang tergolong kuat dan mampu larut dalam air. Asam sulfat termasuk dalam senyawa yang bersifat korosif dan memiliki ciri sebagai larutan tidak berwarna. Reaksi penambahan air pada asam sulfat dapat menyebabkan kondisi mendidih dan mampu membahayakan sehingga reaksi pelarutan asam sulfat pekat perlu dilakukan dengan menambahkan asam sulfat pekat ke dalam air, bukan sebaliknya. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat asam sulfat yang dapat menjadi zat pengering yang baik (Aura & Zainul, 2019). Asam sulfat mampu beraksi dengan baik dalam membentuk logam sulfat encer yang juga akan menghasilkan gas hidrogen (Putri dkk., 2019). Karenanya, asam sulfat seringkali digunakan dalam proses ekstraksi (*leaching*) untuk mengikat logam yang terdapat dalam suatu material, seperti besi, aluminium, nikel, tembaga, dan jenis logam lainnya.

### **2.2.9. Alkalisasi**

Merupakan proses penurunan tingkat keasaman dalam larutan dengan menambahkan suasana basa menggunakan larutan alkali. Proses alkalisasi ini telah digunakan secara luas dalam berbagai rangkaian proses dengan tujuan untuk menetralisasi larutan asam dan meningkatkan pH larutan. Alkalisasi akan mengubah ikatan hidrogen yang terdapat dalam suatu senyawa dan digantikan dengan ikatan  $-OH$  (Pradana dkk., 2017). Pada koagulan, kandungan basa yang cukup dapat menambah gugus hidroksil dalam air selama proses pengolahan sehingga penurunan pH air yang terjadi tidak terlalu signifikan (Rahimah dkk., 2018).

### **2.2.10. Koagulan**

Koagulan adalah bahan yang ditambahkan untuk membantu terjadinya proses koagulasi karena mampu memberikan efek destabilisasi terhadap partikel koloid (Rouf dan Bagastyo, 2020). Terganggunya stabilisasi terjadi karena koagulan yang larut dalam air akan menempel pada permukaan koloid dan mengubah muatan listriknya, serta mengendap bersama koloid sebagai flok sehingga akan berkurang jumlahnya (Moelyo, 2012). Koagulan umumnya bermuatan positif yang mampu mengalami gaya tarik menarik dengan koloid bermuatan negatif dalam air limbah sehingga membentuk gumpalan flok (Suherman dan Sumawijaya, 2013). Koagulan digunakan dalam proses pengolahan secara kimiawi dan mampu melakukan proses penjernihan dan peningkatan kualitas air sehingga banyak digunakan dalam sistem proses pengolahan air maupun air limbah. Jenis koagulan yang umum dimanfaatkan adalah berasal dari logam besi atau aluminium, seperti *aluminium sulfate* ( $Al_2(SO_4)_3$ ) atau sering dikenal sebagai tawas, *poly aluminium chloride* (PAC), *ferric sulfate* ( $Fe_2(SO_4)_3$ ), *ferrous sulfate* ( $FeSO_4$ ), dan *ferric chloride* ( $FeCl_3$ ).

### **2.2.11. Pengolahan Air Limbah**

Air limbah merupakan sisa dari suatu usaha maupun kegiatan yang berada dalam wujud cair. Umumnya air limbah memiliki berbagai kandungan zat pencemar yang mampu memberikan dampak negatif apabila dibuang secara langsung ke lingkungan. Penyesuaian kondisi air limbah dapat dilakukan melalui

proses pengolahan dengan metode dan teknik tertentu. Pengolahan air limbah adalah tindakan untuk mereduksi konsentrasi, volume, dan sifat bahaya dalam air limbah dengan menggunakan proses pengolahan secara fisika, kimia, maupun biologi sehingga kualitas airnya dapat memenuhi persyaratan tertentu (Fitriyanti, 2015). Pengolahan secara fisika merupakan jenis pengolahan air limbah dengan menggunakan mekanisme fisik, meliputi penyaringan (*screening*), flotasi, filtrasi, maupun transfer gas. Pengolahan secara kimia adalah jenis pengolahan dengan memanfaatkan reaksi kimia melalui penambahan bahan-bahan kimia guna mendegradasi kandungan pencemar dalam air limbah. Contohnya adalah melalui proses netralisasi, koagulasi, flokulasi. Berbeda dengan pengolahan secara kimia yang menggunakan bahan kimia dalam prosesnya, pengolahan secara biologi sendiri memanfaatkan aktivitas biologi atau mikroorganisme untuk mengurai kandungan pencemar organik dalam air limbah.

#### **2.2.12. Proses Koagulasi**

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid yang tersuspensi dalam suatu air limbah dengan menggunakan bantuan koagulan (Syaiful dkk., 2015). Partikel koloid dalam suatu air limbah terdiri atas fase pendispersi dan terdispersi yang memiliki gaya saling tolak menolak (zeta potensial) dengan ukuran partikel sangat kecil ( $10^{-6}$ - $10^{-3}$  mm) sehingga tidak mampu mengendap secara alamiah (Rouf dan Bagastyo, 2020). Prinsip dasar dalam proses koagulasi adalah timbulnya gaya tarik menarik antar ion-ion negatif berupa partikel koloid dengan ion-ion positif yang terkandung dalam koagulan. Pertemuan tersebut akan menyebabkan kedua ion saling mendekat dan mengurangi gaya tolak menolak antar partikel (gaya *repulsion*) akibat adanya interaksi elektrostatis, gaya *van der waals*, maupun pengadukan. Kondisi tersebut akan menyebabkan kondisi partikel koloid menjadi tidak stabil dan mengalami pembentukan flok yang dapat mengendap secara gravitasi (Rosariawari dan Mirwan, 2013). Tahapan proses pembentukan flok tersebut terdiri atas 4 tahap yang meliputi tahap destabilisasi partikel koloid, pembentukan partikel koloid, penggabungan mikro flok, dan pembentukan makro flok (Radityaningrum dan Caroline, 2017).

Proses koagulasi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan berkaitan dengan kualitas hasil proses pengolahan maupun efektivitas proses pengolahan. Berikut ini adalah faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas proses koagulasi:

1. Jenis koagulan

Setiap koagulan memiliki karakteristik dan kemampuan tertentu dalam melakukan pengikatan maupun penyisihan partikel-partikel koloid, dimana penentuan jenis koagulan tersebut harus disesuaikan dengan kondisi air limbah yang akan diolah.

2. Dosis koagulan

Untuk mencapai titik optimal dalam proses pengolahan air limbah secara koagulasi, dilihat dari kualitas hasil pengolahan, diperlukan kadar optimum dosis penambahan koagulan.

3. pH air

pH air selama proses pengolahan perlu disesuaikan dengan pH optimum koagulan dalam melakukan proses pengolahan. Hal tersebut dikarenakan setiap koagulan memiliki karakteristik tertentu yang dapat mempengaruhi kinerja proses pengolahannya. (Nuranto dan Ali, 2018)

### **2.2.13. Air Limbah Batu Bara**

Air limbah batu bara merupakan jenis limbah cair yang dihasilkan dari adanya air yang mengalami kontak dengan batu bara yang ditimbun. Batu bara yang ditimbun dan berkontak dengan air hujan tersebut akan membentuk limpasan air asam yang mengandung suspensi batu bara halus (Fitriyanti, 2015). Air yang mengalami kontak dengan batu bara akan melarutkan partikel maupun material yang dikandung oleh batu bara, termasuk mineral-mineral pengotor yang mungkin terdapat di dalamnya. Hal tersebut menyebabkan timbulnya parameter-parameter pencemar dengan konsentrasi tinggi yang meliputi nilai *total suspended solid* (TSS) dan kandungan logam-logam berat dengan nilai pH rendah (Putra dkk., 2017).

Sebagian besar kandungan zat padat tersuspensi (TSS) dalam air limbah batu bara adalah berupa partikel batu bara tersuspensi termasuk bahan-bahan



organik tertentu yang mampu menyebabkan kekeruhan air, bersifat tidak dapat larut dan tidak mampu mengendap secara alami. Adanya kandungan pencemar logam-logam berat dalam air limbah batu bara sendiri disebabkan oleh mineral-mineral pengotor batu bara, terutama mineral sulfida. Mineral sulfida yang bereaksi dengan air dan udara tidak hanya menyebabkan timbulnya kandungan pencemar logam berat dalam air limbah, melainkan juga menjadi penyebab dalam turunnya karakteristik pH dalam air limbah batu bara yang bersifat asam (Putra dkk., 2017). Persyaratan kualitas air limbah batu bara dari sistem pembangkit listrik tenaga termal atau PLTU sendiri diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal.

**Tabel 2.3.** Baku Mutu Kualitas Air Limbah Batu Bara di PLTU

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1.	pH	-	6-9
2.	TSS	mg/L	100
3.	Minyak dan Lemak	mg/L	10
4.	Klorin Bebas (Cl <sub>2</sub> )	mg/L	0,5
5.	Kromium total (Cr)	mg/L	0,5
6.	Tembaga (Cu)	mg/L	1
7.	Besi (Fe)	mg/L	3
8.	Seng (Zn)	mg/L	1
9.	Phospat (PO <sup>4-</sup> )	mg/L	10

Sumber : PerMenLH No. 8 Tahun 2009

#### **2.2.14. Jar Test**

*Jar test* adalah percobaan berskala laboratorium yang menggambarkan proses pengolahan air limbah secara kimia melalui proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan jenis koagulan ataupun flokulan tertentu. *Jar test* dapat digunakan sebagai metode untuk menentukan koagulan atau bahan kimia sejenis yang cocok untuk pengolahan air limbah jenis tertentu serta dosis yang diperlukan supaya diperoleh kualitas air hasil pengolahan yang paling optimal (Moelyo,

2012). Metode ini juga dapat menentukan kondisi pH dan kecepatan pengadukan untuk memprediksi kondisi proses yang dibutuhkan pada pengolahan air sebenarnya (Nugraheni dkk., 2014).