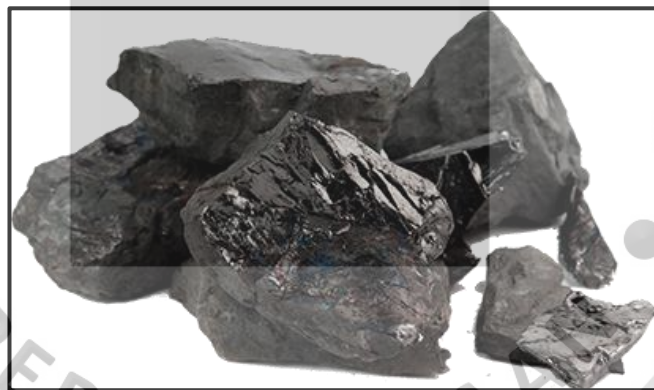


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Kandungan Batubara

Menurut undang-undang No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (UU No. 4 / 2009), Batubara adalah endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan. Batubara merupakan senyawa hidrokarbon padat yang terdapat di alam dengan komposisi yang cukup kompleks di mana terdapatnya senyawa organik dan anorganik. Bahan organik utamanya yaitu tumbuhan yang dapat ditengarai berupa jejak kulit pohon, daun, akar, struktur kayu, spora, pollen, damar, dan lain-lain (PTBA, 2014).



Sumber : PT Kideko Jaya Agung, 2018

Gambar 3. 1
Sampel Batubara

Unsur kimia anorganik dalam batubara mencakup unsur dari tanaman asal, unsur yang terikat pada molekul organik sebelum tanaman mati, maupun unsur yang terikat dalam molekul organik atau mengisi lubang antar bahan organik setelah tanaman mati menjadi gambut sampai dengan akhir diagenesis batubara (Bouska, 1981). Pada dasarnya terdapat dua jenis material yang membentuk batubara, yaitu :

1. *Combustible Material*

Merupakan senyawa organik pada batubara yang dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari :

- a. Karbon padat (*fixed carbon*)
- b. Senyawa hidrokarbon
- c. Senyawa sulfur
- d. Senyawa nitrogen, dan beberapa senyawa lainnya dalam jumlah kecil.

2. *Non Combustible Material*

Merupakan senyawa anorganik pada batubara yang tidak dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari senyawa anorganik (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , dan senyawa logam lainnya dalam jumlah yang kecil) yang akan membentuk abu/ash dalam batubara.

Batubara yang diperoleh dari hasil penambangan mengandung bahan pengotor (*impurities*). Hal ini terjadi ketika proses *coalification* dapat disebut dengan *inherent impurities* dan pada proses penambangan dapat disebut dengan *external impurities*. Ada dua jenis pengotor (*impurities*) yaitu :

1. *Inherent Impurities*

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat dalam batubara. Batubara yang sudah dibakar memberikan sisa abu. Pengotor bawaan ini terjadi bersama-sama pada proses pembentukan batubara (*Coalification*). Pengotor tersebut dapat berupa *gypsum* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *anhidrit* (CaSO_4), *pirit* (FeS_2), *silica* (SiO_2). Pengotor ini tidak mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan.

2. *Eksternal Impurities*

Merupakan pengotor yang berasal dari luar, timbul pada saat proses penambangan antara lain terbawanya tanah yang berasal dari lapisan penutup ataupun *strata*. Sebagai bahan baku pembangkit energi yang dimanfaatkan industri, mutu batubara mempunyai peranan sangat penting dalam memilih peralatan yang akan dipergunakan dan pemeliharaan alat.

3.2 Analisis Kualitas Batubara

Analisis kualitas batubara bertujuan untuk mengetahui kandungan yang terdapat di dalamnya. Dalam pemanfaatannya, batubara harus diketahui terlebih dahulu kualitasnya. Maka dari itu, penentuan kualitas batubara perlu diperhatikan beberapa hal, antara lain :

1. *Moisture Content* (Kandungan Lengas).

Lengas batubara ditentukan oleh jumlah kandungan air yang terdapat dalam batubara. Kandungan air dalam batubara dapat berbentuk air internal (*inherent moisture*), yaitu air yang terikat secara kimiawi. Jenis air ini sulit dihilangkan tetapi dapat dikurangi dengan cara memperkecil ukuran butir batubara. Jenis air yang kedua adalah air eksternal (*free moisture*), yaitu air yang menempel pada permukaan butir batubara. Batubara mempunyai sifat hidrofobik yaitu ketika batubara dikeringkan, maka batubara tersebut sulit menyerap air, sehingga tidak akan menambah jumlah air internal.

2. *Ash Content* (Kandungan Abu)

Komposisi batubara bersifat heterogen, terdiri dari unsur organik dan senyawa anorganik, yang merupakan hasil rombakan batuan yang ada di sekitarnya, bercampur selama proses transportasi, sedimentasi dan proses pembatubaraan. Abu hasil dari pembakaran batubara ini, yang dikenal

sebagai *ash content*. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan-bahan pembentuk batubara yang tidak dapat terbakar atau yang dioksidasi oleh oksigen. Bahan sisa dalam bentuk padatan ini antara lain senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_3 , Mn_3O_4 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , SO_3 , dan oksida unsur lain.

3. *Volatile Matter* (Zat Terbang)

Volatile matter adalah banyaknya zat yang hilang pada saat proses pembakaran batubara pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Setelah dilakukan dengan kadar koreksi *moisture* suhu yang digunakan 900°C dan pada rentang waktu 7 menit. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penentuan *volatile matter* ialah suhu, waktu, kecepatan, pemanasan, penyebaran butir (*size distibition*) dan ukuran partikelnya. Pada proses pembakaran batubara zat yang mudah hilang adalah Metana, Hidrokarbon, Hidrogen, CO_2 , CO , dan NO .

4. *Heating Value* (HV) (*Calorific Value*/Nilai Kalori)

● Banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan oleh batubara tiap satuan berat dinyatakan dalam kkal/kg. semakin tinggi HV, makin lambat jalannya batubara yang diumpangkan sebagai bahan bakar setiap jamnya, sehingga kecepatan umpan batubara perlu diperhatikan. Hal ini perlu diperhatikan agar panas yang ditimbulkan tidak melebihi panas yang diperlukan dalam proses industri.

5. *Sulfur Content* (Kandungan Sulfur)

Belerang yang terdapat dalam batubara dibedakan menjadi 2 yaitu dalam bentuk senyawa organik dan anorganik. Belerang dalam bentuk anorganik dapat dijumpai dalam bentuk pirit (FeS_2), markasit (FeS_2), atau dalam bentuk sulfat. Mineral pirit dan makasit sangat umum terbentuk pada

kondisi sedimentasi rawa (reduktif). Belerang organik terbentuk selama terjadinya proses *coalification* di mana proses keterbentukan yang berasal dari sulfur anorganik pada daerah marina atau payau akan berubah menjadi *hydrogen sulfide* (H_2S) oleh bakteri *desulfovibrio* dan *desulfotomaculum*. Adanya kandungan sulfur, baik dalam bentuk organik maupun anorganik di atmosfer dipicu oleh keberadaan air hujan, mengakibatkan terbentuk air asam. Air asam ini dapat merusak bangunan, tumbuhan dan biota lainnya.

3.2.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kandungan relatif zat terbang (*volatile matter*), kandungan air (*moisture content*), komponen anorganik berupa abu sebagai hasil pembakaran, dan karbon tertambat (*fixed carbon*). Analisis ini digunakan untuk mengetahui tingkat kemanfaatan batubara dalam industri pengguna batubara. Analisis proksimat mengacu pada standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Analisis proksimat antara lain sebagai berikut :

1. Kadar Air Total (*Total Moisture*)

Kadar air total terdiri dari dua jenis, di antaranya kandungan air bebas (*free moisture* atau *air dry loss*) dan kandungan air bawaan (*inherent moisture*). *Free moisture* merupakan air yang menempel di permukaan atau berada di celah rekahan batuan. *free moisture* dapat dihilangkan dengan cara mengeringkan batubara pada suhu kamar, yang kemudian sampel tersebut disebut sebagai *air dried* sampel. *Inherent moisture* adalah kandungan air yang terikat bersamaan dengan proses pematubaraan.

2. Kandungan Zat Terbang (*Volatile Matter*)

Volatile matter merupakan kehilangan senyawa pada saat batubara yang telah dihilangkan kandungan airnya, yang dipanaskan pada suhu tinggi

dan waktu tertentu. Zat terbang terdiri dari gas yang mudah terbakar seperti H_2 , CO, metan dan uap-uap yang mengembun seperti tar, juga gas CO_2 dan H_2O . Zat terbang sangat mempunyai hubungan dengan rank batubara, makin kecil zat terbang, makin tinggi rank batubara (Muchjidin, 2006).

Kandungan yang dihasilkan oleh *volatile matter* mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api yang dihasilkan oleh batubara. Hal tersebut disebabkan oleh perbandingan antara kandungan karbon tertambat (*fixed carbon*) terhadap zat terbang (*volatile matter*) atau dapat disebut dengan *fuel ratio*. Apabila dalam batubara terdapat *fuel ratio* tinggi maka kandungan karbon dalam batubara yang tidak terbakar akan semakin banyak.

3. Kadar Abu (*Ash*)

Abu pada batubara merupakan senyawa anorganik yang terkandung sejak proses pembentukan. Abu tersebut merupakan residu yang dihasilkan setelah batubara dibakar sempurna. Kualitas batubara dapat ditentukan dengan cara pembakaran bertahap. Tahap pertama dilakukan pembakaran selama 60 menit pada suhu 450° - 500° C. Dan pada tahap selanjutnya suhu dinaikkan hingga 700° - 750° selama 120 menit. Pada pembakaran batubara, terdapat limbah padat yaitu abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut *bottom ash*. Berikut merupakan penjelasannya :

a. *Fly Ash*

Fly ash batubara adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). *Fly ash* batubara mengandung unsur kimia antara lain silika

(SiO₂), alumina (Al₂O₃), fero oksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (CaO), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO₂), alkalin (Na₂O dan K₂O), sulfur trioksida (SO₃), pospor oksida (P₂O₅) dan karbon. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari fly ash adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi, metoda penyimpanan dan penimbunan (Wardani, 2008).

Tabel 3. 1
Komposisi dan Klasifikasi Fly Ash

Summary - ASTM C-618, Pozzolan				
Chemical		F	C	N
SiO + Al O + Fe O	min %	70	50	70
SO	max %	5	5	4
Moisture Content	max %	3	3	3
Loss on Ignition	max %	6	6	10
Optional Chemical				
Available Alkalies	max %	1.5	1.5	1.5
Physical				
Fineness + 325 Mesh	max %	34	34	34
Strength Activity/Cem.	min %	75	75	75
Water Requirement	max %	105	105	105
Autoclave Expansion	max %	0.8	0.8	0.8
<i>Uniformity Requirements</i>				
Density Max. Var.	max %	5	5	5
Fineness points Var.	max %	5	5	5
Optional Physical				
Multiple Factor		225	-	-
Inc. In Drying Shrinkage	max %	0.03	0.03	0.03
<i>Uniformity Requirements</i>				
A.E. Admixture	max %	20	20	20
<i>Control of ASR</i>				
Expansion, % of low alkali cement	max %	100	100	100
<i>Sulfate Resistance</i>				
Moderate exposure, 6 months	max %	0.01	0.01	0.01
High exposure, 6 months	max %	0.05	0.05	0.05

Sumber : ASTM C-618

b. *Bottom Ash*

Bottom ash merupakan abu yang diperoleh dari hasil pembakaran batubara. *Bottom ash* memiliki partikel yang lebih besar dibandingkan dengan *fly ash* sehingga abu yang dihasilkan akan tetap tertinggal. Pada hasil pembakaran, kandungan abu yang terdapat pada batubara dalam bentuk *fly ash* jumlahnya mencapai 80 persen dan dalam bentuk *bottom ash* jumlahnya mencapai 20 persen. *Bottom ash* batubara mengandung unsur kimia antara lain dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2
Komposisi *Bottom Ash*

Parameter	<i>Bottom Ash</i>
	%
Si	24,10
Al	6,80
Fe	33,59
Ca	26,30

Sumber : Faridah, 2012

4. Kadar Karbon Tertambat (*Fixed Carbon*)

Fixed carbon adalah jumlah karbon yang tersisa setelah kandungan *moisture*, *volatile matter*, dan *ash* pada batubara telah dihilangkan. Sehingga nilai karbon tertambat didapatkan dari hasil pengurangan hasil *moisture*, *volatile matter*, dan *ash*. Karbon tertambat didapatkan dari sisa penguraian dari komponen organik batubara di mana terdapat sedikit senyawa nitrogen, belerang, hidrogen, dan mungkin oksigen yang terserap atau bersatu secara kimiawi. *Fixed carbon* pada proksimat berbeda halnya dengan total karbon pada ultimat. Hal tersebut dikarenakan *fixed karbon* yang berupa kadar karbon pada temperatur *volatile matter* tidak menguap.

3.2.2 Analisis Ultimat

Analisis ultimat dilakukan dalam penentuan kadar karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S) dalam batubara. Seiring dengan

berkembangnya teknologi, analisis ultimat yang dilakukan dapat dilakukan dengan cepat dan mudah. Pada setiap kandungan yang terdapat dalam batubara, kandungan oksigen mungkin merupakan indikator yang signifikan dari sifat kimia batubara. Hal tersebut dikarenakan dalam penerapannya di pembakaran, pencairan, pengkokasan, dan untuk penentuan peringkat batubara. Dalam penentuan kandungan oksigen dilakukan secara tradisi hitungan sebagai *oxygen by different* (O driff) yaitu porsi sisa batubara setelah dikurangi kadar C, H, N dan S.

Dalam melakukan analisis ultimat saat ini sepenuhnya dilakukan oleh alat yang terhubung dengan komputer. Di mana prosedur analisis ultimat cukup dengan memasukan sampel batubara ke dalam alat dan hasil analisis akan muncul pada layar komputer. Salah satu metode standar yang digunakan dalam pengujian analisis ultimat adalah ASTM D3176-09 *Standart Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke*. Adapun juga standar pengujian lain yaitu ASTM D5373 – 13 *Standart Test Method for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis of Coal and carbon in Analysis Samples of Coal and Coke*.

1. Kadar Karbon / *Carbonate Carbondioxide*

Dalam penetapan nilai karbon dilakukan untuk mendapatkan angka yang dipergunakan sebagai pengoreksi hasil penetapan karbon. sehingga dalam pelaporannya, nilai karbon hanyalah berupa karbon organik (*organic carbon*). Penetapan *carbonate carbondioxide* tidak dilakukan pada sampel batubara dengan kualitas rendah (*brown coal dan lignite*), karena batubara tersebut bersifat asam sehingga nilai dari *carbonite caribondioxide*-nya akan kosong.

2. Kadar Oksigen

Oksigen dalam batubara merupakan komponen dari campuran organik dan anorganik pada batubara sebagai mana kandungan *moisture*.

Ketika batubara teroksidasi, oksigen dapat terbentuk sebagai oksida, hidroksida dan mineral sulfat. Seperti halnya material organik yang teroksidasi. Senyawa oksigen dalam batubara merupakan indikator penting dalam penentuan *rank coal*.

3. Kadar Nitrogen

Nitrogen dalam batubara hanya terdapat sebagai senyawa organik. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya mineral pembawa nitrogen dalam batubara akan tetapi hanya ada beberapa senyawa nitrogen pada air kapiler terutama dalam batubara muda. Pada proses pembakaran batubara, nitrogen akan diubah menjadi nitrogen oksida bersama dengan gas buangan akan bercampur dengan udara. Senyawa nitrogen yang bercampur dengan udara akan mengakibatkan polusi udara sehingga penggunaan batubara dengan nilai nitrogen rendah lebih disukai.

4. Kadar Sulfur

Sulfur merupakan zat pencemar yang dapat menimbulkan korosi dan pencemar udara. Gas sulfur oksida (SO_2) yang terbentuk dalam proses pembakaran merupakan polutan yang serius. Sulfur dalam batubara terdapat tiga bentuk yaitu *pyritic sulphur*, *sulphate sulphur* dan *organic sulphur*. Untuk mengetahui komposisi dari penyusun sulfur tersebut, dilakukannya analisis *forms of sulphur*.

a. *Pyritic Sulphur*

pyritic sulphur merupakan bagian dari *mineral-matter* yang terdapat dalam kandungan batubara yang jumlahnya dapat dikurangi dengan dilakukannya teknik pencucian.

b. *Sulphate sulphur*

Sulphate sulphur merupakan bagian dari *mineral-matter* yang keterdapatannya sering dipergunakan sebagai petunjuk bahwa batubara tersebut telah teroksidasi. Jenis sulfur ini juga dapat dikurangkan dengan dilakukannya teknik pencucian.

c. *Organic Sulphur*

Organic sulphur terdapat pada seluruh material dalam batubara dan jumlahnya tidak dapat dikurangi dengan teknik pencucian. Jenis sulfur ini dapat diketahui dengan dilakukannya analisis *forms of sulphur*, apabila nilai *organic sulphur* > 1,00 % maka sebaik apapun teknik pencucian yang digunakan, produk batubara akan tetap mengandung total sulfur >1,00%.

3.3 Klasifikasi Batubara

Klasifikasi ini dikembangkan di Amerika oleh Bureau of Mines yang akhirnya dikenal sebagai klasifikasi menurut ASTM (*Amerika Society for Testing and Material*). Klasifikasi ini berdasarkan rank dari batubara itu atau berdasarkan derajat *metamorphism*-nya atau perubahan selama *coalification* (mulai dari lignit hingga antransit). Klasifikasi batubara menurut ASTM D 388 – 12 dapat dilihat pada Tabel

3.3

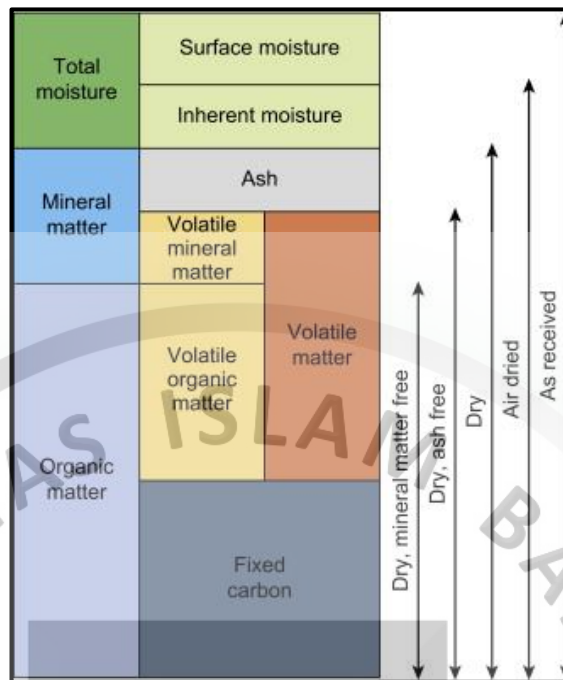
Tabel 3. 3
Klasifikasi Batubara ASTM D 388 – 12

Kelas	Grup	% Karbon Tertambat (dmmf)	% Zat terbang (dmmf)	Nilai Kalori (Btu/lb) (dmmf)	Sifat Pengelompokan
Antrasit	1. Meta Antrasit	≥ 98	< 2		tidak mengelompok
	2. Antrasit	92 – 98	2 – 8		
	3. Semi Antrasit	86 – 92	8 – 14		
Bituminus	1. Low Volatile	78 – 86	14 – 22		keadaan bisa mengelompok
	2. Medium Volatile	69 – 78	22 – 31		
	3. High Volatile A	< 69	> 31	≥ 14.000	
	4. High Volatile B	< 69	> 31	13.000 – 14.000	
	5. High Volatile C	< 69	> 31	11.500 – 13.000	
	6. High Volatile C		> 31	10.500 – 11.500	mengelompok
Sub – Bituminus	1. Sub – Bituminus A			10.500 – 11.500	tidak mengelompok
	2. Sub – Bituminus B			9.500 – 10.500	
	3. Sub – Bituminus C			8.300 – 9.500	
Lignit	1. Lignit A			6.300 – 8.300	tidak mengelompok
	2. Lignit B			< 6.300	

Sumber : ASTM D-388 - 12

Untuk menentukan rank batubara pada klasifikasi batubara ASTM D 388 - 12, diperlukan data nilai kalori (Btu/lb) (dmmf), persen zat terbang (dmmf), persen karbon tertambat (dmmf).

Dalam pengklasifikasian batubara diperlukan data pengujian analisis yang memiliki hasil dalam bentuk basis yang berbeda-beda. Basis perhitungan hasil analisa adalah dasar yang digunakan untuk menentukan nilai parameter dan menginterpretasikan nilai tersebut pada kondisi tertentu batubara. Interpretasi basis hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Sumber : Ward (1984)

Gambar 3. 2
Interpretasi Basis Hasil Analisa

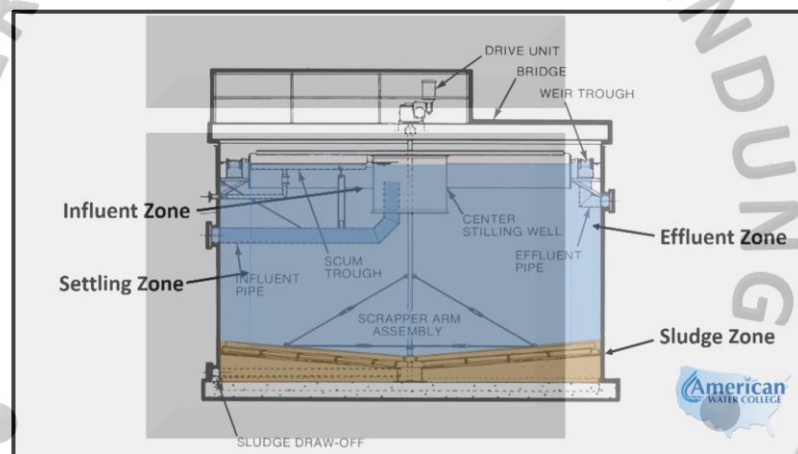
3.4 Pengelolaan Limbah Batubara

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Batubara (KEPMEN No.113/2003), Air limbah usaha dan atau kegiatan pertambangan batubara adalah air yang berasal dari kegiatan penambangan batubara dan air buangan yang berasal dari kegiatan pengolahan/pencucian batubara. Pencemar pada limbah cair batubara dapat berupa nilai pH, suhu, kandungan logam dan total padatan tersuspensi. Apabila batubara ditimbun di *stockpile* dengan jangka waktu yang lama maka akan menimbulkan dampak air asam tambang, terutama pada batubara yang memiliki kandungan belerang tinggi. Upaya pengelolaan limbah cair yang terbentuk akan dilakukan penanganan pada kolam pengendapan lumpur.

Kolam pengendapan lumpur (KPL) adalah kolam yang dibuat untuk menampung dan mengendapkan partikel air limpasan yang berasal dari lokasi

penambangan atau tempat penimbunan material sementara sebelum air tersebut dibuang menuju tempat pembuangan, seperti sungai, rawa, danau dan lain-lain (Novi, 2017). Fungsi dari kolam pengendapan lumpur yaitu untuk mengendapkan lumpur dan material padatan yang berasal dari air tambang sebelum dialirkan ke perairan umum. Kolam pengendapan lumpur terdiri atas empat bagian antara lain :

1. Zona masukan (*inlet zone*)
2. Zona pengendapan (*settlement zone*)
3. Zona endapan lumpur (*sediment zone*)
4. Zona keluaran (*outlet zone*)



Sumber : American water college, 2017

Gambar 3. 3
Zona Pengendapan Lumpur

Proses pengelolaan air limbah batubara dilakukan dengan pengendapan partikel batubara yang tersuspensi dalam air limpasan dan dilakukannya penyesuaian parameter pH, TSS, kandungan Fe dan Mn sesuai dengan batas aman baku mutu air limbah hasil pengolahan yang aman bagi lingkungan. Dalam kasus tambang terdapatnya air asam tambang sehingga di perlukannya sistem pengelolaan. Sistem pengelolaan air asam tambang dilakukan dengan dua sistem pengelolaan antara lain:

1. Sistem Pengelolaan Aktif

Sistem pengelolaan aktif yang dilakukan dalam mengelola air asam tambang melalui penambahan bahan kimia dalam proses netralisasi air asam tambang.

2. Sistem Pengelolaan Pasif

Sistem pengelolaa pasif yang dilakukan dalam mengelola air asam tambang mengandalkan kemampuan fisik alami, geokimia dan proses biologi dari sistem tersebut tanpa membutuhkan manusia dalam pengoperasiannya. Sehingga dalam pengolahan ini membutuhkan area yang relatif luas dan cenderung lebih digunakan pada sistem pengolahan aktif dan pasca tambang.

3.5 Koagulasi dan Flokulasi

Menurut Steel dan McGhee (1985), koagulasi diartikan sebagai proses kimia fisik dari pencampuran bahan kimia ke dalam aliran limbah dan selanjutnya diaduk cepat dalam bentuk larutan tercampur. Flokulasi adalah proses penambahan flokulan pada pengadukan lambat untuk meningkatkan saling hubung antar partikel yang goyah sehingga meningkatkan penyatuannya (aglomerasi).

Metcalf dan Eddy (1991), menyatakan bahwa untuk mendorong pembentukan agregat partikel, harus diambil langkah-langkah tertentu guna mengurangi muatan atau mengatasi pengaruh muatan partikel. Pengaruh muatan dapat diatasi dengan :

1. Penambahan ion berpotensi menentukan muatan sehingga terserap atau bereaksi dengan permukaan koloid untuk mengurangi muatan permukaan, atau penambahan elektrolit yang akan memberikan pengaruh mengurangi ketebalan lapisan difusi listrik sehingga mengurangi zeta potensial
2. Penambahan molekul organik berantai panjang (polimer) yang sub-bagiannya dapat diberi muatan sehingga disebut polielektrolit, hal ini menyebabkan

penghilangan partikel melalui adsorpsi dan pembuatan penghubung (*bridging*)

3. Penambahan bahan kimia yang membentuk ion-ion yang terhidrolisis oleh logam.

Menurut Hamner (1986), dua gaya yang menentukan kekokohan koloid adalah :

1. Gaya tarik menarik antar partikel yang disebut dengan gaya Van der Waals, cenderung membentuk agregat yang lebih besar
2. Gaya tolak menolak yang disebabkan oleh pertumpangtindihan lapisan tanda elektrik yang bermuatan sama yang mengakibatkan kekokohan dispersi koloid.

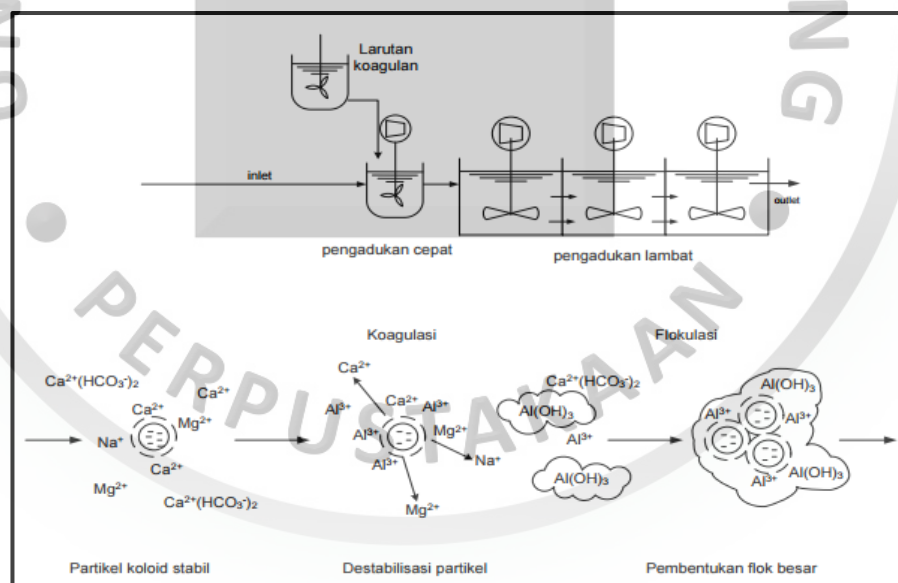
Di dalam limbah pencucian batubara umumnya banyak terdapat ion-ion bermuatan negatif. Akibat gaya saling tolak-menolak antar partikel bermuatan negatif maka partikel akan selalu stabil di dalam air. Agar partikel dapat diendapkan maka diperlukan penambahan ion positif agar partikel menjadi bermuatan netral. Jadi yang di maksud koagulasi adalah proses pengendapan dengan penambahan ion bermuatan positif.

Secara garis besar mekanisme pembentukan flok terdiri dari empat tahap, yaitu :

1. Tahap destabilisasi partikel koloid
2. Tahap pembentukan partikel koloid
3. Tahap penggabungan mikroflok
4. Tahap pembentukan mikroflok.

Pada tahapan destabilisasi partikel koloid, molekul polimer harus mengandung kelompok kimia yang dapat berinteraksi dengan permukaan partikel koloid. Pada saat terjadi kontak antara molekul polimer dengan partikel koloid, kelompok kimia pada

polimer akan terserap ke permukaan partikel meninggalkan molekul polimer yang tersisa pada larutan. Apabila pada molekul primer yang tersisa terjadi kontak terhadap partikel kedua yang memiliki permukaan absorbs yang kosong, maka akan terbentuknya ikatan. Jika partikel kedua tidak dapat berikatan, maka bagian polimer yang tersisa perlahan akan terserap pada permukaan partikel lain sehingga tidak dapat berfungsi sebagai penghubung. Dosis polimer yang berlebih akan mengakibatkan koloid menjadi stabil kembali. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung antar partikel. Pada kondisi tertentu, suatu sistem yang telah di destabilisasi dan membentuk agregat dapat menjadi stabil kembali dengan meningkatkan agitasi, akibat putusnya polimer permukaan partikel dan proses berulang antara polimer tersisa dengan permukaan partikel (Weber, 1972).



Sumber : ending, 2010

Gambar 3. 4
Proses Koagulasi Flokulasi

Menurut Benefield et al. (1982), untuk merangsang partikel koloid bergabung membentuk gumpalan yang lebih besar diperlukan dua cara, yaitu partikel harus di destabilisasikan dan dipindahkan. Destabilisasi partikel dapat dicapai melalui cara

penekanan lapisan ganda listrik, penyerapan untuk netralisasi, penjeratan pada presipitasi, dan pembentukan antar partikel.

Penekanan lapisan ganda listrik dan penetralan dikategorikan sebagai proses koagulasi, sedangkan penjeratan dan pembentukan antar partikel sebagai flokulasi. Destabilisasi partikel dengan cara penekanan dapat dicapai melalui penambahan elektrolit muatan yang berlawanan dengan muatan partikel koloid (Benefield et al., 1982). Dasar dari mekanisme ini adalah bahwa interaksi dari koagulan dengan partikel koloid terjadi karena efek elektrostatik, ion sejenis dengan partikel koloid akan saling tolak menolak, sedangkan yang muatannya berlawanan akan tarik menarik (Surdia et al., 1981).

Menurut Nathanson (1977), keberhasilan dari proses koagulasi dan flokulasi tergantung beberapa faktor di antaranya adalah dosis koagulan yang diberikan, suhu dari limbah, pH dan alkalinitas. Dosis koagulan yang diberikan disesuaikan dengan karakteristik dari air limbah yang akan ditangani. Untuk mengetahui dosis optimum koagulan dilakukan pengujian di laboratorium menggunakan peralatan yang disebut *Jartest*.

3.5.1 Mekanisme Koagulasi Secara Fisika

Mekanisme koagulasi secara fisika dapat dilihat berupa pemanasan, pengadukan dan pendinginan yang dapat dilihat sebagai berikut :

1. Pemanasan → Kenaikan suhu sistem koloid menyebabkan tumbukan antar partikel-partikel sol dengan molekul-molekul air bertambah banyak. Hal ini melepaskan elektrolit yang teradsorpsi pada permukaan koloid. Akibatnya partikel tidak bermuatan. Sampel : darah.
2. Pengadukan, sampel : tepung kanji
3. Pendinginan, sampel : agar – agar.

3.5.2 Mekanisme Koagulasi Secara Kimia

Secara kimia seperti penambahan elektrolit, pencampuran koloid yang berbeda muatan, dan penambahan zat kimia koagulan. Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan koloid bersifat netral, yaitu:

1. Menggunakan Prinsip Elektroforesis

Proses elektroforesis adalah pergerakan partikel-partikel koloid yang bermuatan ke elektrode dengan muatan yang berlawanan. Ketika partikel ini mencapai elektrode, maka sistem koloid akan kehilangan muatannya dan bersifat netral.

2. Penambahan Koloid

Dapat terjadi sebagai berikut: Koloid yang bermuatan negatif akan menarik ion positif (kation), sedangkan koloid yang bermuatan positif akan menarik ion negatif (anion). Ion-ion tersebut akan membentuk selubung lapisan kedua. Apabila selubung lapisan kedua itu terlalu dekat maka selubung itu akan menetralkan muatan koloid sehingga terjadi koagulasi. Makin besar muatan ion makin kuat daya tariknya dengan partikel koloid, sehingga makin cepat terjadi koagulasi.

3. Penambahan elektrolit

Jika suatu elektrolit ditambahkan pada sistem koloid, maka partikel koloid yang bermuatan negatif akan mengadsorpsi koloid dengan muatan positif (kation) dari elektrolit. Begitu juga sebaliknya, partikel positif akan mengadsorpsi partikel negatif (anion) dari elektrolit. Dari adsorpsi di atas, maka terjadi koagulasi. Dalam proses koagulasi, stabilitas koloid sangat berpengaruh. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi yaitu kualitas air, suhu air, jenis koagulan, koagulan aid, pH air,

jumlah garam–garam terlarut dalam air, tingkat kekeruhan air baku, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan dan dosis koagulan.

3.6 Koagulan

Koagulan adalah bahan kimia yang mempunyai kemampuan menetralkan muatan koloid dan mengikat partikel tersebut sehingga membentuk flok atau gumpalan (Hammer, 1986). Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel

Menurut Davis dan Cornwell (1991), koagulan merupakan substansi kimia yang dimasukkan ke dalam air untuk menghasilkan efek koagulasi. Ada tiga hal penting yang harus diperhatikan pada suatu koagulan, yaitu:

1. Kation bervalensi tiga (trivalen). Kation trivalen merupakan kation yang paling efektif untuk menetralkan muatan listrik koloid.
2. Tidak beracun (toksik). Persyaratan ini diperlukan untuk menghasilkan air atau air limbah hasil pengolahan yang aman.
3. Tidak larut dalam kisaran pH netral. Koagulan yang ditambahkan harus terpresipitasi dari larutan, sehingga ion-ion tersebut tidak tertinggal dalam air.

Menurut Hammer (1986), bahan kimia yang digunakan sebagai koagulan adalah kapur, alum, dan polielektrolit (organik sintesis). Polielektrolit dapat berupa kation, anion, nonionik dan Miccellaneous (Liu dan Liptak, 2000). Garam-garam besi seperti feri klorida (FeCl_3) dan besi sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dapat dipergunakan pula sebagai koagulan (Davis dan Cornwell, 1991). Koagulan yang umum dan sudah dikenal yang digunakan pada pengolahan air adalah seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. 4
Jenis-Jenis Koagulan yang Sering Digunakan

Nama Kimia	Nama Lain	Rumus Kimia	Berat Molekul	Wujud	Densitas bulk, kg/m ³	Specific Gravity	Kelarutan dalam Air, kg/m ³	Kadar Kimia %w/w	Kadar Air %w/w	pH larutan
Aluminium sulfat	Alum	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 14,3H ₂ O	599,77	Putih terang, padat	1000-1096	1,25-1,36	Sekitar 872	Al: 9,0-9,3		Sekitar 3,5
	Alum cair	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 49,6H ₂ O	1235,71	Putih atau terang- abu abu kekuningan, cair		1,30-1,34	Sangat larut	Al: 4,0-4,5	71,2-74,5	
Ferri klorida	Besi (III) klorida, Besi triklorida	FeCl ₃	162,21	Hijau-hitam, bubuk	721-962		Sekitar 719	Fe: kira2 34		
	Ferri klorin cair	FeCl ₃ · 6H ₂ O	270,30	Kuning-coklat, bongkahan	962-1026		Sekitar 814	Fe: 20,3-21,0		
		FeCl ₃ · 13,1H ₂ O	398,21	Coklat kemerahan , cair		1,20-1,48	Sangat larut	Fe: 12,7-14,5	56,5-62,0	0,1-1,5
Ferri sulfat	Besi (III) sulfat, Besi persulfat	Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 9H ₂ O	562,02	Merah-coklat, bubuk	1122-1154			Fe: 17,9-18,7		
	Ferri sulfat cair	Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 36,9H ₂ O	1064,64	Coklat kemerahan , cair		1,40-1,57	Sangat larut	Fe: 10,1-12,0	56,5-64,0	0,1-1,5
Ferro sulfat	Coppers	FeSO ₄ · 7H ₂ O	278,02	Hijau, bongkahan kristal	1010-1058			Fe: Sekitar 20		

Sumber : Qasim, dkk. 2000

1. Jenis Koagulan

Menurut Wenbin et al. (1999), pada saat ini ada dua macam koagulan yang banyak digunakan adalah koagulan anorganik dan koagulan organik. Alumunium sulfat dan poly alumunium chloride (PAC) merupakan koagulan anorganik dengan produksi terbanyak. Kesulitan pada saat proses koagulasi kadang-kadang terjadi karena lamanya waktu pengendapan dan flok yang terbentuk lunak sehingga akan mempersulit proses pemisahan. Koagulan menguntungkan proses koagulasi dengan mempersingkat waktu pengendapan dan memperkeras flok yang terbentuk. Jenis koagulan diantaranya sebagai berikut :

a. Karbon Aktif

Aktivasi karbon bertujuan untuk memperbesar luas permukaan arang dengan membuka pori-pori yang tertutup sehingga memperbesar kapasitas adsorpsi. Pori-pori arang biasanya diisi oleh hidrokarbon dan zat-zat organik lainnya yang terdiri dari persenyawaan kimia yang ditambahkan akan meresap dalam arang dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup oleh komponen kimia sehingga luas permukaan yang aktif bertambah besar. Efisiensi adsorpsi karbon aktif tergantung dari perbedaan muatan listrik antara arang dengan zat atau ion yang diserap. Bahan yang bermuatan listrik positif

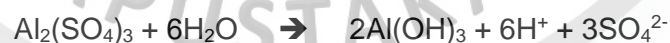
akan diserap lebih efektif oleh arang aktif dalam larutan yang bersifat basa. Jumlah karbon aktif yang digunakan untuk menyerap warna berpengaruh terhadap jumlah warna yang diserap.

b. *Activated Silica*

Merupakan sodium silicate yang telah direaksikan dengan *sulfuric acid*, *aluminium sulfate*, *carbon dioxide*, atau klorida. Sebagai koagulan aid, *activated silica* memberikan keuntungan antara lain meningkatkan laju reaksi kimia, menurunkan dosis koagulan, memperluas jangkauan pH optimum dan mempercepat serta memperkeras flok yang terbentuk. Umumnya digunakan dengan koagulan aluminium dengan dosis 7 – 11% dari dosis alum.

c. *Aluminium Sulphate* ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)

Menurut Suciastuti dan Sutrisno (1987), aluminium sulfat biasanya disebut juga sebagai tawas. Koagulan ini biasanya banyak dipakai dalam melakukan proses penjernihan air. Hal tersebut dikarenakan koagulan yang efektif untuk menurunkan kadar karbonat serta memiliki harga yang ekonomis (murah) dan mudah didapatkan di pasaran. Menurut Alaerts dan Santika (1987), alum dalam air akan mengalami proses hidrolisis menurut reaksi umum adalah sebagai berikut :



Menurut Davis dan Cornwell (1991), alum padat komersil ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) mempunyai bobot molekul 594. Komposisi alum padat terdiri 48.8 % alum (8.3% Al_2O_3) dan 51.2 % air

d. *PAC (Poly Aluminium Chloride)*

Senyawa Al yang lain yang penting untuk koagulasi adalah PAC, $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$. Menurut Echanpin (2005), PAC merupakan koagulan

anorganik yang tersusun dari polimer makromolekul yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- Tingkat adsorpsi yang kuat
- Mempunyai kekuatan lekat
- Pembentukan flok-flok yang tinggi dengan dosis kecil
- Tingkat sedimentasi cepat.

Berdasarkan keunggulan diatas, PAC memiliki tingkat penjernihan air dengan efisiensi tinggi, cepat dalam proses pengolahan air, aman dan konsumsi konsentrasi yang rendah. Ada beberapa cara yang sudah dipatenkan untuk membuat PAC yang dapat dihasilkan dari hidrolisa parsial dari aluminium klorida, seperti ditunjukkan reaksi berikut :



Senyawa ini dibuat dengan berbagai cara menghasilkan larutan PAC yang agak stabil. Berdasarkan pengamatan, pengolahan yang paling ekonomis dapat dicapai dengan menggunakan anionik polimer, walaupun padatan yang terkandung dalam air bermuatan negatif (Weber, 1972).

Menurut Hardman (2005), PAC terdiri dari berbagai jenis, yaitu sebagai berikut:

- PAC-AC

PAC yang mempunyai *basicity* yang tinggi dalam cairannya untuk proses koagulasi pada pengolahan air minum dan limbah cair.

- PAC-SP

PAC yang mempunyai *basicity* yang sedang dalam cairannya untuk proses koagulasi pada pengolahan air minum dan limbah cair.

- PAC-PW

PAC yang mempunyai *basicity* yang sedang dalam cairannya untuk proses koagulasi pada pengolahan air minum dan limbah cair dengan berbagai kondisi yang luas.

3.7 *Jar-Test*

Jar-Test adalah suatu percobaan yang berfungsi untuk menentukan dosis optimal dari koagulan yang digunakan pada proses pengolahan air bersih. *Jar-Test* merupakan proses penjernihan air dengan menggunakan koagulan, di mana koagulan akan membentuk flok-flok dengan adanya ion-ion yang terkandung dalam larutan sampel. Flok-flok ini mengumpulkan partikel-partikel kecil dan koloid yang tumbuh dan akhirnya bersama-sama mengendap.

Flok terbentuk dengan bantuan agitasi dari alat agitator. Dengan konsentrasi dan volume koagulan yang berbeda membentuk koagulan berbeda dan tentunya menghasilkan tingkat kejernihan yang berbeda. Umumnya koagulan tersebut berupa tawas, namun dapat pula berupa garam FeCl_3 atau sesuatu poly-elektrolit organis.

Efisiensi pemisahan padatan tersuspensi (koloid) dari air telah dicapai dengan aplikasi koagulan kimia seperti tawas, besi klorida, dan polielektrolit. Proses ini menyoroti mekanisme pengolahan air yang merangsang agregasi partikel tersuspensi pada flok yang dapat diendapkan dengan destabilisasi koloid yang bermuatan, dengan demikian menetralkan kekuatan yang membuat mereka terpisah.

Adapun beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam pengujian *Jar test* di antaranya :

1. Jenis koagulan
2. Dosis koagulan dan koagulan pembantu.
3. pH

4. Metode pembubuhan bahan kimia (pada atau di bawah permukaan air, pembubuhan beberapa bahan kimia secara bersamaan atau berurutan).
5. Kecepatan larutan kimia.
6. Waktu dan intensitas pengadukan cepat dan pengadukan lambat (*flokulasi*)
7. Waktu penjernihan.

