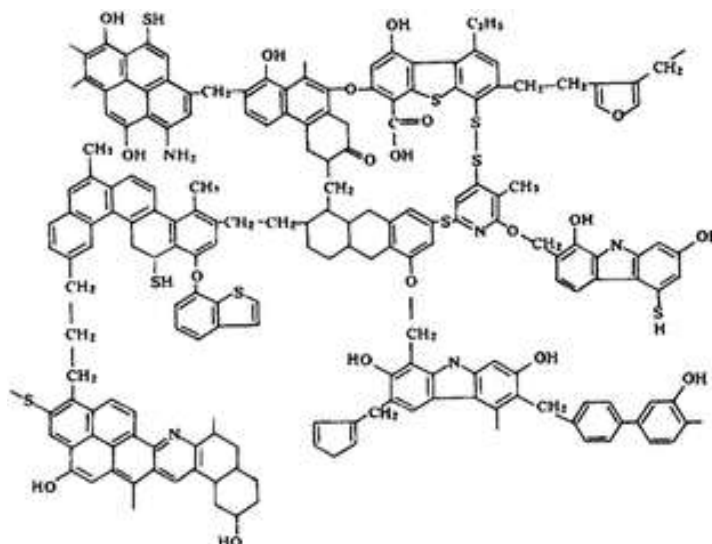


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

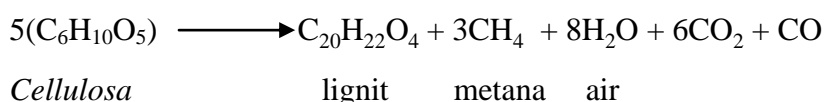
### 2.1 Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang berasal dari batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen (Anonim, 2016). Batubara memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit.



Gambar 1. Rumus Bangun Batubara  
(USGS dalam Chapter II, 2016)

Menurut Sukandarrumidi (2006) reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut :



Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu adalah masa pembentukan batubara yang paling produktif

dimana hampir seluruh deposit batu bara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk.

Pada Zaman Permian, kira-kira 270 juta tahun yang lalu, juga terbentuk endapan-endapan batu bara yang ekonomis di belahan bumi bagian selatan, seperti Australia, dan berlangsung terus hingga ke Zaman Tersier (70 - 13 juta tahun yang lalu) di berbagai belahan bumi lain (Krevelen, 1993).

Terdapat dua teori yang menjelaskan proses pembentukan batubara yaitu :

1. Teori *Insitu*, teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentukan lapisan batubara, terbentuknya di tempat dimana tumbuh-tumbuhan asal batubara itu berada. Dengan demikian segera setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi, tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalificatio*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran yang luas dan merata dengan kualitas yang baik, karena abunya relatif kecil. Batubara yang terbentuk menurut teori *Insitu* terdapat di Muara Enim, Sumatera Selatan.
2. Teori *Drift*, Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat asalnya. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati terbawa oleh arus air dan berakumulasi di suatu tempat. Batubara yang terbentuk menurut Teori ini terdapat di Mahakam Purba, Kalimantan Timur.

Dalam penyusunannya batubara diperkaya dengan berbagai macam polimer organik yang berasal dari antara lain karbohidrat, lignin, dll. Namun komposisi dari polimer-polimer ini bervariasi tergantung pada spesies dari tumbuhan penyusunnya.

a. Lignin

Lignin merupakan suatu unsur yang memegang peranan penting dalam merubah susunan sisa tumbuhan menjadi batubara. Sementara ini susunan molekul umum dari lignin belum diketahui dengan pasti, namun susunannya dapat diketahui dari lignin yang terdapat pada berbagai macam jenis tanaman. Sebagai contoh lignin yang terdapat pada rumput mempunyai susunan p-koumaril alkohol

yang kompleks. Pada umumnya lignin merupakan polimer dari satu atau beberapa jenis alkohol. Hingga saat ini, sangat sedikit bukti kuat yang mendukung teori bahwa lignin merupakan unsur organik utama yang menyusun batubara.

b. Karbohidrat

Gula atau monosakarida merupakan alkohol polihiruk yang mengandung antara lima sampai delapan atom karbon. Pada umumnya gula muncul sebagai kombinasi antara gugus karbonil dengan hidroksil yang membentuk siklus hemiketal. Bentuk lainnya muncul sebagai disakarida, trisakarida, ataupun polisakarida. Jenis polisakarida inilah yang umumnya menyusun batubara, karena dalam tumbuhan jenis inilah yang paling banyak mengandung polisakarida (khususnya selulosa) yang kemudian terurai dan membentuk batubara.

c. Protein

Protein merupakan bahan organik yang mengandung nitrogen yang selalu hadir sebagai protoplasma dalam sel makhluk hidup. Struktur dari protein pada umumnya adalah rantai asam amino yang dihubungkan oleh rantai amida. Protein pada tumbuhan umumnya muncul sebagai steroid, lilin.

d. Material Organik Lain

Material organik lain diantaranya resin, tannin, alkaloida, porphirin, hidrokarbon, dan Konstituen Tumbuhan yang Inorganik (Mineral). Selain material organik yang telah dibahas diatas, juga ditemukan adanya material inorganik yang menyusun batubara. Secara umum mineral ini dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu unsur mineral inheren dan unsur mineral eksternal. Unsur mineral inheren adalah material inorganik yang berasal dari tumbuhan yang menyusun bahan organik yang terdapat dalam lapisan batubara. Sedangkan unsur mineral eksternal merupakan unsur yang dibawa dari luar kedalam lapisan batubara, pada umumnya jenis inilah yang menyusun bagian inorganik dalam sebuah lapisan batubara.

Dalam pemanfaatannya, batubara harus diketahui terlebih dulu kualitasnya. Hal ini dimaksudkan agar spesifikasi mesin atau peralatan yang memanfaatkan batubara sebagai bahan bakarnya sesuai dengan mutu batubara yang akan

digunakan, sehingga mesin-mesin tersebut dapat berfungsi optimal dan tahan lama. Secara umum, parameter kualitas batubara yang sering digunakan adalah kalori, kadar kelembaban, kandungan zat terbang, kadar abu, kadar karbon, kadar sulfur, ukuran, dan tingkat ketergerusan, di samping parameter lain seperti analisis unsur yang terdapat dalam abu ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dll), analisis komposisi sulfur (*pyritic sulfur*, *sulfate sulfur*, *organic sulfur*), dan titik leleh abu (*ash fusion temperature*).

### 2.1.1 Material Pembentuk Batubara

Jenis-jenis tumbuhan pembentuk batubara dan umurnya menurut Diessel (1981) adalah sebagai berikut (Wahyudiono, 2003) :

- a. *Algae*, dari Zaman Pre-kambrium hingga *Ordovisium* dan bersel tunggal. Sangat sedikit endapan batu bara dari perioda ini.
- b. *Silofita*, dari Zaman Silur hingga *Devon* Tengah, merupakan turunan dari *algae*. Sedikit endapan batu bara dari perioda ini.
- c. *Pteridofita*, umur *Devon* Atas hingga Karbon Atas. Materi utama pembentuk batu bara berumur Karbon di Eropa dan Amerika utara. Tetumbuhan tanpa bunga dan biji, berkembang biak dengan spora dan tumbuh di iklim hangat.
- d. *Gymnospermae*, kurun waktu mulai dari Zaman Permian hingga Kapur Tengah. Tumbuhan heteroseksual, biji terbungkus dalam buah, semisal pinus, mengandung kadar getah (*resin*) tinggi. Jenis *Pterydospermae* seperti *gangamopteris* dan *glossopteris* adalah penyusun utama batubara Permian seperti di Australia, India dan Afrika.
- e. *Angiospermae*, dari Zaman Kapur Atas hingga kini. Jenis tumbuhan modern, buah yang menutupi biji, jantan dan betina dalam satu bunga, kurang bergetah dibanding gimnospermae.

### 2.1.2 Klasifikasi Batubara

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam beberapa kelas yaitu:

#### a. Lignit

Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu. Sifat batubara jenis lignit :

1. Warna hitam, sangat rapuh
2. Nilai kalor rendah, kandungan karbon sedikit
3. Kandungan air tinggi
4. Kandungan abu banyak
5. Kandungan sulfur banyak (Sukandarrumidi, 1995)

#### b. Sub-Bituminus

Batubara jenis ini merupakan peralihan antara jenis lignit dan bituminus. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bituminus ini merupakan batubara tingkat rendah.

#### c. Bituminus

Batubara jenis ini merupakan batubara yang berwarna hitam dengan tekstur ikatan yang baik. Sifat batubara jenis bituminus:

1. Warna hitam mengkilat, kurang kompak
2. Nilai kalor tinggi, kandungan karbon relatif tinggi
3. Kandungan air sedikit
4. Kandungan abu sedikit
5. Kandungan sulfur sedikit

#### d. Antrasit

Antrasit merupakan batubara paling tinggi tingkatan yang mempunyai kandungan karbon lebih dari 93% dan kandungan zat terbang kurang dari 10%. Antrasit umumnya lebih keras, kuat dan seringkali berwarna hitam mengkilat seperti kaca (Yunita, 2000). Sifat batubara jenis antrasit :

1. Warna hitam sangat mengkilat, kompak
2. Nilai kalor sangat tinggi, kandungan karbon sangat tinggi
3. Kandungan air sangat sedikit
4. Kandungan abu sangat sedikit
5. Kandungan sulfur sangat sedikit

### 2.1.3 Sulfur Dalam Batubara

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang terbentuk dari batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pematubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen (Wikipedia,2016).

Sulfur telah bergabung dalam sistem pengendapan batubara sejak batubara tersebut masih dalam bentuk endapan gambut. Gambut di Indonesia terbentuk pada suatu lingkungan pengendapan yang disebut *raised swamp*, yaitu di daerah dimana curah hujan tahunan lebih besar dari evaporasi tahunannya. Pada kondisi seperti ini, gambut akan menghasilkan batubara dengan kandungan sulfur yang rendah karena hanya mendapat pasokan 'makanan' dari air hujan. Sulfur dalam batubara didapatkan dalam bentuk mineral sulfat, mineral sulfida dan material organik.

Gambut mengandung semua bentuk sulfur yang didapatkan dalam batubara termasuk sulfur piritik, sulfat dan organik. Kandungan sulfur yang ditemukan pada gambut dapat memprediksikan kuantitas sulfur yang ada dalam batubara. Menurut Casagrande et al. (1987) gambut yang berada di bawah pengaruh air laut umumnya mengandung kadar sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan gambut air tawar. Sulfat merupakan reaktan yang menentukan tingkat kuantitas sulfur piritik dan sulfur organik dalam gambut.

Sulfur adalah salah satu komponen dalam batubara, yang terdapat sebagai sulfur organik maupun anorganik. Umumnya komponen sulfur dalam batubara terdapat sebagai sulfur *syngenetik* yang erat hubungannya dengan proses fisika dan kimia selama proses penggambutan (Meyers, 1982) dan dapat juga sebagai sulfur *epygenetik* yang dapat diamati sebagai pirit pengisi *cleat* pada batubara

akibat proses *presipitasi* kimia pada akhir proses pematubaraan (Mackowsky, 1968).

Terdapat 3 (tiga) jenis sulfur yang terdapat dalam batubara, yaitu :

#### 1. Sulfur Pirit

Pirit dan markasit merupakan mineral sulfida yang paling umum dijumpai pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama ( $\text{FeS}_2$ ) tetapi berbeda pada sistem kristalnya. Pirit berbentuk *isometrik* sedangkan Markasit berbentuk *orthorombik* (Taylor G.H, *et.al.*, 1998).

Pirit ( $\text{FeS}_2$ ) merupakan mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur pirit (Mackowsky, 1943 dalam Organic Petrology, 1998).

Berdasarkan genesanya, pirit pada batubara dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. Pirit *Syngenetik*, yaitu pirit yang terbentuk selama proses penggabungan (*peatification*). Pirit jenis ini biasanya berbentuk *framboidal* dengan butiran sangat halus dan tersebar dalam material pembentuk batubara (Demchuk, 1992 dalam International Journal Of Coal Geology, 1992).

b. Pirit *Epygenetik*, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pematubaraan. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar, rekahan dan *cleat* pada batubara serta biasanya bersifat masif (Mackowsky, 1968; Gluskoter, 1977; Frankie and Howe, 1987 dalam International Journal Of Coal Geology, 1992).

#### 2. Sulfur Organik

Sulfur organik merupakan suatu elemen pada struktur makromolekul dalam batubara yang kehadirannya secara parsial dikondisikan oleh kandungan dari elemen yang berasal dari material tumbuhan asal. Dalam kondisi geokimia dan mikrobiologis spesifik, sulfur inorganik dapat berubah menjadi sulfur organik (Wiser W.H, 2000).

Sulfur organik dapat terakumulasi dari sejumlah material organik oleh proses penghancuran biokimia dan oksidasi. Namun secara umum, penghancuran biokimia merupakan proses yang paling penting dalam

pembentukan sulfur organik, yang pembentukannya berjalan lebih lambat pada lingkungan yang basah atau jenuh air (A.C. Cook, 1982).

Sulfur yang bukan berasal dari material pembentuk batubara diduga mendominasi dalam menentukan kandungan sulfur total. Sulfur inorganik yang biasanya melimpah dalam lingkungan marin atau payau kemungkinan besar akan berubah membentuk hidrogen sulfida dan senyawa sulfat dalam kondisi dan proses geokimia. Reaksi yang terjadi adalah reduksi sulfat oleh material organik menjadi hidrogen sulfida ( $H_2S$ ). Reaksi reduksi ini dipicu oleh adanya bakteri *desulfovibrio* dan *desulfotomaculum* (Trudinger *et.al*, dalam Meyers, 1982).

### 3. Sulfur Sulfat

Kandungan sulfur sulfat biasanya rendah sekali atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi akan menjadi sulfat (Meyers, 1982 and Kasrai *et.al*, 1996).

Pada umumnya kandungan sulfur organik lebih tinggi pada bagian bawah lapisan, sedangkan kandungan sulfur piritik dan sulfat akan tinggi pada bagian atas dan bagian bawah lapisan batubara.

## 2.2 Batubara Indonesia

Potensi sumberdaya batu bara di Indonesia sangat melimpah, terutama di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera, sedangkan di daerah lainnya dapat dijumpai batu bara walaupun dalam jumlah kecil dan belum dapat ditentukan keekonomisannya, seperti di Jawa Barat, Jawa Tengah, Papua, dan Sulawesi.

Badan Geologi Nasional memperkirakan Indonesia masih memiliki 160 miliar ton cadangan batu bara yang belum dieksplorasi. Cadangan tersebut sebagian besar berada di Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan. Namun upaya eksplorasi batu bara kerap terkendala status lahan tambang. Daerah-daerah tempat cadangan batu bara sebagian besar berada di kawasan hutan konservasi. Rata-rata produksi pertambangan batu bara di Indonesia mencapai 300 juta ton per tahun. Dari jumlah itu, sekitar 10 persen digunakan untuk kebutuhan energi dalam negeri, dan sebagian besar sisanya (90 persen lebih) diekspor ke luar.



Di Indonesia, batu bara merupakan bahan bakar utama selain solar (*diesel fuel*) yang telah umum digunakan pada banyak industri, dari segi ekonomis batu bara jauh lebih hemat dibandingkan solar, dengan perbandingan sebagai berikut: Solar Rp 0,74/kilokalori sedangkan batu bara hanya Rp 0,09/kilokalori, (berdasarkan harga solar industri Rp. 6.200/liter). Dari segi kuantitas batu bara termasuk cadangan energi fosil terpenting bagi Indonesia. Jumlahnya sangat berlimpah, mencapai puluhan miliar ton. Jumlah ini sebenarnya cukup untuk memasok kebutuhan energi listrik hingga ratusan tahun ke depan. Sayangnya, Indonesia tidak mungkin membakar habis batu bara dan mengubahnya menjadi energis listrik melalui PLTU. Selain mengotori lingkungan melalui polutan CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> cara ini dinilai kurang efisien dan kurang memberi nilai tambah tinggi.

Batu bara sebaiknya tidak langsung dibakar, akan lebih bermakna dan efisien jika dikonversi menjadi migas sintetis, atau bahan petrokimia lain yang bernilai ekonomi tinggi. Dua cara yang dipertimbangkan dalam hal ini adalah likuifikasi (pencairan) dan gasifikasi (penyubliman) batu bara. Membakar batu bara secara langsung (*direct burning*) telah dikembangkan teknologinya secara continue, yang bertujuan untuk mencapai efisiensi pembakaran yang maksimum, cara-cara pembakaran langsung seperti: *fixed grate, chain grate, fluidized bed, pulverized*, dan lain-lain, masing-masing mempunyai kelebihan dan kelemahannya.

Di Indonesia, endapan batubara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan Tersier, yang terletak di bagian barat Paparan Sunda (termasuk Pulau Sumatera dan Kalimantan), pada umumnya endapan batu bara ekonomis tersebut dapat dikelompokkan sebagai batubara berumur *Eosen* atau sekitar Tersier Bawah, kira-kira 45 juta tahun yang lalu dan *Miosen* atau sekitar Tersier Atas, kira-kira 20 juta tahun yang lalu menurut skala waktu geologi (Fatimah dan Herudiyanto, diakses 2016).

Batubara terbentuk dari endapan sisa tumbuhan dan fosil pada iklim sekitar khatulistiwa. Beberapa diantaranya tergolong kubah gambut yang terbentuk di atas muka air tanah rata-rata pada iklim basah sepanjang tahun. Kubah gambut

terbentuk pada kondisi dimana mineral-mineral anorganik yang terbawa air dapat masuk ke dalam sistem dan membentuk lapisan batu bara yang berkadar abu dan sulfur rendah dan menebal secara lokal. Hal ini sangat umum dijumpai pada batubara *Miosen*. Sebaliknya, endapan batu bara *Eosen* umumnya lebih tipis, berkadar abu dan sulfur tinggi. Kedua umur endapan batubara ini terbentuk pada lingkungan lakustrin, dataran pantai atau delta, mirip dengan daerah pembentukan gambut yang terjadi saat ini di daerah timur Sumatera dan sebagian besar Kalimantan (Sukandarrumidi, 2006).

#### **a. Endapan batu bara Eosen**

Endapan ini terbentuk pada tatanan tektonik ekstensional yang dimulai sekitar Tersier Bawah atau Paleogen pada cekungan-cekungan sedimen di Sumatera dan Kalimantan. Ekstensi berumur Eosen ini terjadi sepanjang tepian Paparan Sunda, dari sebelah barat Sulawesi, Kalimantan bagian timur, Laut Jawa hingga Sumatera. Dari batuan sedimen yang pernah ditemukan dapat diketahui bahwa pengendapan berlangsung mulai terjadi pada Eosen Tengah. Pemekaran Tersier Bawah yang terjadi pada Paparan Sunda ini ditafsirkan berada pada tatanan busur dalam, yang disebabkan terutama oleh gerak penunjaman Lempeng Indo-Australia. Lingkungan pengendapan mula-mula pada saat Paleogen itu non-marin, terutama fluvial, kipas aluvial dan endapan danau yang dangkal.

Di Kalimantan bagian tenggara, pengendapan batu bara terjadi sekitar Eosen Tengah - Atas namun di Sumatera umurnya lebih muda, yakni Eosen Atas hingga Oligosen Bawah. Di Sumatera bagian tengah, endapan fluvial yang terjadi pada fase awal kemudian ditutupi oleh endapan danau (non-marin).<sup>[3]</sup> Berbeda dengan yang terjadi di Kalimantan bagian tenggara di mana endapan fluvial kemudian ditutupi oleh lapisan batu bara yang terjadi pada dataran pantai yang kemudian ditutupi di atasnya secara transgresif oleh sedimen marin berumur Eosen Atas.

#### **b. Endapan batu bara Miosen**

Pada Miosen Awal, pemekaran regional Tersier Bawah-Tengah pada Paparan Sunda telah berakhir. Pada Kala Oligosen hingga Awal Miosen ini terjadi

transgresi marin pada kawasan yang luas di mana terendapkan sedimen marin klastik yang tebal dan perselingan sekuen batugamping. Pengangkatan dan kompresi adalah ketampakan yang umum pada tektonik Neogen di Kalimantan maupun Sumatera. Endapan batu bara Miosen yang ekonomis terutama terdapat di Cekungan Kutai bagian bawah (Kalimantan Timur), Cekungan Barito (Kalimantan Selatan) dan Cekungan Sumatera bagian selatan. Batu bara Miosen juga secara ekonomis ditambang di Cekungan Bengkulu.

Batu bara ini umumnya terdeposisi pada lingkungan fluvial, delta dan dataran pantai yang mirip dengan daerah pembentukan gambut saat ini di Sumatera bagian timur. Ciri utama lainnya adalah kadar abu dan belerang yang rendah. Namun kebanyakan sumberdaya batu bara Miosen ini tergolong sub-bituminus atau lignit sehingga kurang ekonomis kecuali jika sangat tebal (PT Adaro) atau lokasi geografisnya menguntungkan. Namun batu bara Miosen di beberapa lokasi juga tergolong kelas yang tinggi seperti pada Cebakan Pinang dan Prima (PT KPC), endapan batu bara di sekitar hilir Sungai Mahakam, Kalimantan Timur dan beberapa lokasi di dekat Tanjungenim, Cekungan Sumatera bagian selatan.

Secara umum, batubara Indonesia mempunyai nilai kalor berkisar antara 4400-7750 kkal/kg, kandungan air antara 2-35%, kandungan abu antara 1-15%, kandungan gas terbang antara 11- 45,4%, dan kandungan sulfur kurang dari 1%. Nilai kalori yang relatif cukup tinggi serta kandungan air yang relatif rendah, seperti batubara asal Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan dan Ombilin, sehingga mempunyai nilai jual yang sangat tinggi di luar negeri untuk ekspor (Triswan, S., dkk, 2009).

Tabel 1. Kandungan Sulfur Batubara Indonesia

Lokasi/Daerah	Provinsi	Kandungan Sulfur (%)	Kategori
Teguh Persada Coal	Sumatera Barat	1,99-9,78	Tinggi
Bukit Medang, Kuantan Riau	Riau	1,35-3,02	Tinggi
Air Banai	Bengkulu	0,76-2,14	Tinggi
Murangon, Barito Utara	Kalimantan Tengah	1,07	Tinggi
Kutai Timur	Kalimantan Timur	1,20	Tinggi
Landus, Berau	Kalimantan Timur	1,20-2,20	Tinggi
Tambang Damai Sumitomo	Kalimantan Timur	1,00-2,40	Tinggi
S. Ayuh, S. Tului, Barito Selatan	Kalimantan Selatan	0,43-1,48	Kisaran lebar
Bara Pramulya Abadi	Kalimantan Selatan	0,19-1,58	Kisaran Lebar
Sumber Kurnia Buana	Kalimantan Selatan	0,60-1,39	Kisaran Lebar
Kanibungan, Bingkuang	Kalimantan Selatan	0,39-2,80	Kisaran Lebar
Nangah, Merangkai, Senaning	Kalimantan Barat	0,30-6,30	Tinggi
Boneheu, Mamuju	Sulawesi Selatan	0,82-3,50	Tinggi
Pangkep-Barru	Sulawesi Selatan	0,88-3,37	Tinggi
Bojongmanik	Banten	0,89-4,19	Tinggi

Sumber : Fatimah dan Herudiyanto, diakses 2016

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*).

Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan. Standar kandungan sulfur yangizinkan untuk digunakan di industri semen adalah sebesar 0,8 % . Sedangkan untuk batubara yang digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah sebesar 0,4 % (Tekmira, 2006).

### 2.3 Sel Elektrolisis

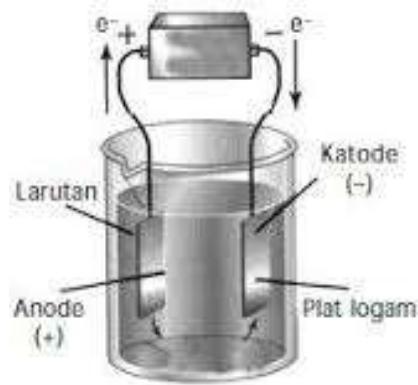
Sel Elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi redoks yang diinginkan dan digunakan secara luas di dalam masyarakat. Komponen penting yang menunjang proses elektrolisis terdiri dari reaktor elektrolisis, elektroda (katoda dan anoda), dan larutan elektrolit (Ni Made A.YA dan Wahyono Hadi, 2016).

Reaktor merupakan tempat larutan elektrolit sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses elektrolisis. Reaktor elektrolisis dapat berupa tabung yang terbuat dari kaca, *stainles steel*, dan *teflon*.

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semikonduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara) (Wikipedia, 2016). Elektroda adalah suatu sistem dua fase yang terdiri dari sebuah penghantar elektrolit (misalnya logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan) (Rivai, 1995). Elektroda positif (+) disebut anoda yang berlangsung reaksi oksidasi sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda yang berlangsung reaksi reduksi (Svehla, 1985). Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda sebab katoda memerlukan elektron dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda.

Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au).

Sedangkan larutan elektrolit adalah suatu zat terlarut yang terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik. Larutan elektrolit berfungsi sebagai penghantar arus listrik agar dapat terjadi proses elektrolisis.



Gambar 2. Sel Elektrolisis

Sumber : perpustakaan cyber, 2013.

### 2.3.1 Kaidah-Kaidah Elektrolisis

Pada katoda terjadi reaksi ion-ion positif (kation) mengikat elektron-elektron yang berasal dari sumber arus. Zat yang terbentuk dari hasil reaksi ini akan melekat pada batang katoda, kecuali jika zat yang dihasilkan berbentuk gas. Apabila zat hasil reaksi berfase gas maka akan keluar sebagai gelembung-gelembung gas di sekitar batang katoda yang selanjutnya akan bergerak ke permukaan sel elektrolisis. Dalam larutan, ion positif menuju ke katoda dan ion negatif ke anoda (Imam Rahayu, 2009).

Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Reaksi Pada Katoda

Reaksi yang terjadi pada katoda adalah reaksi reduksi ion-ion positif seperti:

- a. Ion Hidrogen ( $H^+$ )

Ion hidrogen direduksi menjadi molekul gas hidrogen.

- b. Ion-ion logam

Ion-ion logam terdiri dari dua yaitu alkali/alkali tanah, seperti  $Li^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  tidak mengalami reduksi karena  $E^\circ \text{ logam} < E^\circ \text{ air}$  maka air sebagai penggantinya yang akan mengalami reduksi. Dan Ion-ion logam selain alkali/alkali tanah, seperti  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$  akan mengalami reduksi menjadi logam.

## c. Garam

Akan tetapi, apabila leburan garam yang dielektrolisis maka ion logam penyusun garam tersebut akan direduksi menjadi logam. Contohnya,  $\text{NaCl}_{(l)}$ ,  $\text{Na}^+$  akan menjadi Na.

Sedangkan pada anoda terjadi oksidasi, ion-ion negatif akan ditarik oleh anoda. Reaksi yang terjadi pada anoda sangat dipengaruhi oleh jenis anion dan jenis elektroda yang digunakan. Jika anoda terbuat dari elektrode *inert* (elektrode yang tidak ikut bereaksi), seperti Pt, C, dan Au maka ion negatif atau air akan teroksidasi.

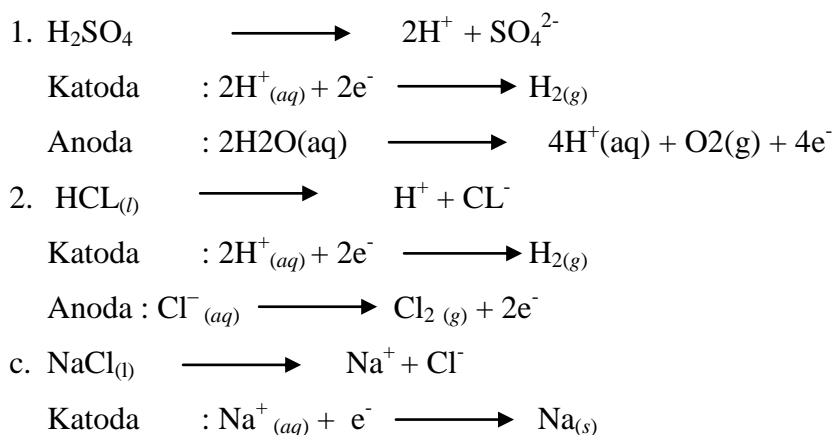
Jika anodanya terbuat dari logam lain (bukan Pt, C, atau Au) maka anoda akan mengalami oksidasi menjadi ionnya. Contohnya, jika anoda terbuat dari Ni, Ni akan teroksidasi menjadi  $\text{Ni}^{2+}$  (Imam Rahayu, 2009).

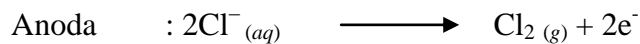
## Reaksi Pada Anoda

Reaksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi oksidasi ion-ion negatif seperti:

- Ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) akan teroksidasi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$
- Ion-ion sisa asam terdiri dari 2 yaitu ion sisa asam yang tidak mengandung oksigen (unsur halogen) dan ion sisa asam yang mengandung oksigen. Ion sisa asam yang tidak beroksigen (unsur halogen), seperti  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ , dan  $\text{I}^-$  akan teroksidasi menjadi gasnya  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{I}_2$ , dan  $\text{Br}_2$ . Sedangkan Ion sisa asam yang mengandung oksigen, seperti  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  tidak,  $\text{PO}_4^{3-}$  tidak teroksidasi. Sebagai gantinya air yang akan teroksidasi karena  $E^\circ_{\text{oks}} \text{H}_2\text{O}$  lebih besar dari sisa asam yang mengandung oksigen.

Contoh Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda :





### 2.3.2 Faktor Yang Mempengaruhi Elektrolisis

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis antara lain:

#### 1. Penggunaan Larutan Elektrolit

Misalnya  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{KOH}$  berfungsi mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kestabilan molekul air menjadi menjadi ion  $\text{H}$  dan  $\text{OH}$  yang lebih mudah di lektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan. Zat tersebut tidak mengalami perubahan yang kekal (tidak dikonsumsi dalam proses elektrolisis). Penggunaan asam sulfat sebagai katalis dalam proses elektrolisis menjadi pilihan utama dibandingkan  $\text{KOH}$ . Karena asam sulfat melepaskan  $\text{H}^+$  yang memudahkan membentuk gas hidrogen. Sedangkan  $\text{KOH}$  melepaskan  $\text{OH}^-$  yang menghambat pembentukan gas hidrogen.

#### 2. Luas permukaan

Semakin banyak luas yang semakin banyak menyentuh elektrolit maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan electron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit. Sehingga transfer electron bekerja lambat dalam mengelektrolisis elektrolit.

#### 3. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung sebuah konduktor, muatan-muatan Bergeraknya akan berpindah, menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti,  $\text{Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni}$



Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au. Semakin ke kanan maka semakin besar massa jenisnya.

4. Waktu Elektrolisis

Waktu adalah salah satu variabel dalam proses elektrolisis. Semakin lama waktu elektrolisis maka, proses elektrolisis akan berjalan dengan optimal.

5. Konsentrasi Elektrolit

Semakin besar konsentrasi suatu larutan pereaksi maka akan semakin besar pula laju reaksinya. Ini dikarenakan dengan prosentase katalis yang semakin tinggi dapat mereduksi hambatan pada elektrolit. Sehingga transfer *electron* dapat lebih cepat meng-elektrolisis elektrolit dan didapat ditarik garis lurus bahwa terjadi hubungan sebanding terhadap prosentase katalis dengan transfer elektron.

6. Kecepatan Pengadukan

Dalam literatur menyebutkan bahwa semakin cepat pengadukan pada saat elektrolisis maka proses elektrolisis akan berjalan dengan baik. Kecepatan pengadukan akan mempengaruhi laju difusi partikel larutan. Jika kecepatan pengadukan memadai, maka laju difusi partikel akan meningkat dan terjadi difusi pada batasan kecepatan tertentu. Menurut Weber pada umumnya batasan laju penyerapan difusi adalah pada kecepatan pengadukan yang tinggi.

Tabel 2. Potensial Reduksi Standar Logam

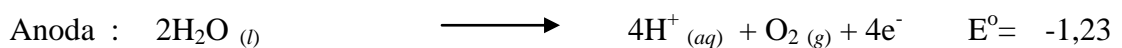
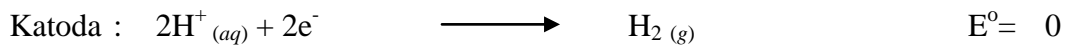
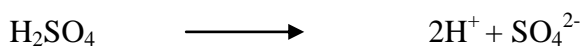
Kopel (oks/red)	Reaksi katoda (reduksi)	E°, Potensial reduksi, volt (elektroda hidrogen standar = 0)
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2,71
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	-2,37
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	-1,66
H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub>	2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0,828
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	-0,76
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	-0,44
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn	-0,14
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb	-0,13
D <sup>+</sup> /D <sub>2</sub>	2D <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → D <sub>2</sub>	-0,003
H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub>	0,000
Sn <sup>4+</sup> /Sn <sup>2+</sup>	Sn <sup>4+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn <sup>2+</sup>	+0,15
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	+0,34
I <sub>2</sub> /I <sup>-</sup>	I <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2I <sup>-</sup>	+0,54
O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	+0,68
Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup> + e <sup>-</sup> → Fe <sup>2+</sup>	+0,77
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2Hg	+0,79
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	+0,80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+0,80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → NO + 2H <sub>2</sub> O	+0,96
Br <sub>2</sub> /Br	Br <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2Br	+1,07
O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O	+1,23
Cl <sub>2</sub> /Cl <sup>-</sup>	Cl <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2Cl <sup>-</sup>	+1,36
PbO <sub>2</sub> /Pb <sup>2+</sup>	PbO <sub>2</sub> + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb <sup>2+</sup> + H <sub>2</sub> O	+1,46
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Au	+1,50
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /Mn <sup>2+</sup>	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 8H <sup>+</sup> + 5e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+1,51
HClO/CO <sub>2</sub>	2HClO + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cl <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	+1,63

(sumber: <http://perpustakaancyber.blogspot.com>, 2013)

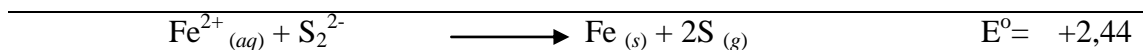
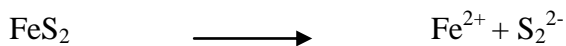
### 2.3.3 Elektrolisis Sulfur

Elektrolisis sulfur dapat menggunakan elektrolit asam sulfat dan elektroda grafit dan *stainless steall*.

Reaksi yang terjadi pada larutan elektrolit :



Reaksi yang terjadi pada sulfur :



Ukuran batubara yang dapat digunakan pada proses elektrolisis adalah 20 mesh sampai 60 mesh dan larutan elektrolit yang dapat digunakan pada proses elektrolisis batubara adalah asam sulfat (Charles T. Sweeney dan John K. Bird, 1985) dengan konsentrasi 0,1 M sampai 1 M (Xin Jing, 2009).

### 2.4. Desulfurisasi Batubara

Desulfurisasi merupakan reaksi kimia yang melibatkan pemisahan sulfur (Belerang) dari suatu molekul (Wikipedia, 2016). Desulfurisasi batubara merupakan suatu proses penurunan kadar sulfur dari batubara. Kandungan sulfur tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, menyebabkan kerusakan (korosif) dan memperpendek umur alat. Agar batubara tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka terlebih dahulu dilakukan proses desulfurisasi. Desulfurisasi batubara dibutuhkan tidak hanya untuk meminimalkan pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh emisi dari sulfur dioksida selama pembakaran, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas batubara (Ehsani, M. Resa dalam Iskak dkk, 2015)

Dalam proses penangkapan unsur 'S' atau desulfurisasi batubara dapat dilakukan dengan berbagai macam cara yang berbeda yaitu secara :

#### **2.4.1 Secara Fisika**

Menurut Ehsani, M. Resa dalam Iskak dkk, 2015 beberapa teknologi desulfurisasi secara fisika antara lain sebagai berikut:

a. Pemisahan Magnet

Dalam proses pemisahan magnet (magnetic separation) dilakukan atas perbedaan muatan listrik (paramagnetik) bahan dalam campuran. Sulfur dalam bentuk pirit ( $\text{FeS}_2$ ) memiliki sifat paramagnetik, dapat melekat pada magnet sehingga dapat dipisahkan dari campuran batubara. Metode ini sangat sederhana, sebab tidak memerlukan bahan-bahan aditif dan pereaksi kimia, hanya membutuhkan power untuk menggerakkan magnet dan mengalirkan bahan batubara. Namun metode ini agak sulit mereduksi abu batubara khususnya jenis abu yang mengandung logam-logam diamagnetik sehingga fixed carbon dan nilai kalor sulit dipertahankan.

b. Kolom flotasi

Metode ini sudah banyak digunakan secara komersial oleh industri batubara. Devisi riset empire coal company di Ohio Amerika telah merancang kolom flotasi dengan skala pilot plant, diameter 8 inchi (0,2 m) dan tinggi 30ft (9m) atau perbandingan  $L/D=45$ . Penelitian ini menyimpulkan bahwa kolom flotasi mampu memisahkan sampai 70% sulfur pirit dan 80% abu batubara.

c. Flokasi selektif

Metode ini dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengurangan kadar sulfur dari batubara dengan kolom flotasi konvensional. Prinsip pemisahan adalah dengan penambahan reagent flokulan kedalam kolom flotasi yang secara selektif mampu membentuk flok batubara sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan.

### 2.4.2 Secara Kimia

Metode desulfurisasi batubara secara kimia antara lain:

1. Menggunakan Etanol

Metode ini efektif untuk mengurangi sulfur anorganik dan sulfur organik dalam batubara, telah dikembangkan sampai tahap *pilot plant* dengan proses alir. Jenis reaktor yang digunakan berupa *fluidized bed* dan *moving bed*.

2. Oksidasi Selektif

Proses desulfurisasi dilakukan dalam reaktor fluidisasi pada suhu antara 650-800 F dengan menggunakan uap dan udara. Proses yang dikembangkan oleh Battle Columbus Devison mampu mengurangi kadar sulfur total sebesar 95% dengan kehilangan panas rata-rata sebesar 15%. Gas SO<sub>2</sub> yang dihasilkan proses ini kemudian di proses lebih lanjut dalam unit DeSO<sub>x</sub>. Oleh Palmer et al (1994) melakukan desulfurisasi batubara menggunakan oksidasi selektif dengan campuran pereaksi hidrogen peroksida dan asam asetat yang akan membentuk asam peroksi asetat secara in situ. Kelebihan pereaksi ini mampu mereduksi semua kandungan sulfur anorganik dan sebagian sulfur organik dalam batubara.

3. Menggunakan Sulfonat Triflorometan (TFMS)

Metode ini menggunakan pelarut organik(toluena) dan asam sulfonat triflorometan sebagai katalis. Metode ini dikembangkan hanya untuk mengurangi kadar sulfur organik yang sulit dipisahkan dengan metode konvensional. Proses desulfurisasi dilakukan dalam reaktor slurry pada suhu sekitar 200 C. Pada konsentrasi TFMS 45,2 % mmol/g batubara diperoleh tingkat desulfurisasi 48,7%.

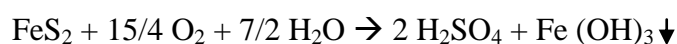
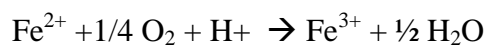
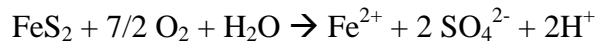
4. Menggunakan laurant Barium Klorida

Metode ini umumnya hanya efektif untuk menghilangkan sulfur anorganik terutama pirit. Reduksi sulfur organik tidak efektif dengan pereaksi ini karena BaCl<sub>2</sub> merupakan oksidator lemah. Disamping itu, sulitnya pemisahan endapan BaSO<sub>4</sub> yang terbentuk diproses ini menjadi problem lain sehingga metode ini kurang dikembangkan (Aladin, A., 2002).

5. Menggunakan Oksidator Besi Sulfat atau Besi Klorida

Metode ini cukup efektif untuk mengurangi kadar sulfur khususnya sulfur anorganik (pirit) dalam batubara. Prinsip utama desulfurisasi ini adalah dengan menggunakan reaksi oksidasi reduksi. Keuntungan proses ini adalah dengan menggunakan larutan  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , memungkinkan *direct recovery* untuk di *re use* sehingga bisa menghemat biaya produksi, tetapi laju reaksinya relatif lambat pada suhu kamar (Aladin, A., 2002).

6. Menggunakan Pereaksi Asam  $\text{H}_2\text{O}_2$  atau  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{HCl}$
- Pereaksi  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$  terbukti dapat mereduksi sulfur dalam batubara *high sulfur* pada suhu reaksi  $180^\circ\text{C}$  (Samit Mukherjee, S. Mahiuddin, and P.C Borthakur, 2001). Larutan hidrogen peroksida,  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang diencerkan ke dalam larutan encer  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 N secara kimia bereaksi dengan material sulfur yang terkandung dalam batubara. Reaksi ini berlangsung dalam suasana asam, dimana hidrogen peroksida mengoksidasi mineral-mineral sulfida (dalam bentuk pirit). Menurut Mery Marthen, 2014 reaksi nya dapat digambarkan dalam reaksi berikut:



### 2.4.3 Secara Biologi

Hidupnya bakteri pada permukaan mineral memainkan peranan yang sangat penting tidak hanya untuk hidupnya bakteri di alam. Namun juga dapat dimanfaatkan dalam industri penambangan. Salah satu bakteri yang dapat digunakan dalam industri pertambangan adalah bakteri pengoksidasi besi dan sulfur *T.ferrooxidans* (Ohmura, dkk., 1993). Pengurangan kandungan sulfur dengan metode biologi disebut biodesulfurisasi yaitu metode yang dalam prosesnya memanfaatkan organisme, yaitu bakteri. Metode ini merupakan metode yang memiliki paling banyak keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya (Kargi, 2004), namun desulfurisasi dengan metode biologi memiliki beberapa kekurangannya yaitu bakteri hanya mampu mengoksidasi sulfur dalam bentuk-

bentuk tertentu (Bos, dkk., 1985). Bakteri yang dapat digunakan dalam proses desulfurisasi, antara lain:

1. *T. ferroxidans* ( $\text{FeS}_2$ )
2. *T. thiooxidans* ( $\text{FeS}_2$ )
3. *L. ferroxidans* ( $\text{FeS}_2$ )
4. *S. acidocalderius* ( $\text{FeS}_2$ )
5. *R. spheriodes* (S-organik)

Prinsip dari proses biodesulfurisasi batubara adalah dengan mengoksidasi sulfur dalam bentuk organik dan atau anorganik yang terdapat pada batubara dengan bakteri tertentu yang digunakan. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi biodesulfurisasi batubara, yaitu suhu, kemasaman, konsentrasi sel, konsentrasi batubara, ukuran partikel, komposisi medium, penambahan partikulat dan surfaktan dan interaksi suatu bakteri dengan bakteri lain. Meningkatkan kecepatan aerasi desulfurisasi batubara juga dapat dilakukan untuk mempercepat kinerja dari bakteri tersebut (Anwar, 2002).

*T. ferroxidans* merupakan bakteri yang paling penting dalam biodesulfurisasi batubara karena dapat mengoksidasi pirit ( $\text{FeS}_2$ ) secara langsung. Walaupun begitu, proses desulfurisasi batubara hanya dengan memanfaatkan salah satu kinerja bakteri akan menghasilkan desulfurisasi yang kurang optimal. Biodesulfurisasi secara kultur gabungan dengan menggunakan berbagai bakteri dapat membuahkan hasil yang lebih baik (Rawling, 1994)

Salah satu alternatif yang paling aman dan ramah lingkungan untuk desulfurisasi batubara adalah secara mikrobiologi menggunakan bakteri *T. Ferroxidans* dan *T. Thiooxidans*. Penggunaan kombinasi kedua bakteri ini ditujukan untuk lebih mengoptimalkan desulfurisasi sulfur. Desulfurisasi menggunakan kombinasi dari kedua bakteri tersebut memiliki beberapa kelebihan dibandingkan desulfurisasi kimiawi, yaitu lebih efisien, ekonomis dan ramah lingkungan.

## 2.5 Deret Volta

Deret volta atau deret keaktifan logam adalah susunan unsur-unsur logam berdasarkan potensial elektrode standarnya. Alessandro Volta melakukan eksperimen dan berhasil menyusun deret keaktifan logam atau deret potensial logam yang dikenal dengan deret Volta sebagai berikut :

**Li K Ba Ca Na Mg Al Nu Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn (H) C Cu Ag Hg Pt Au**

Semakin kiri kedudukan logam dalam deret volta, logam akan semakin reaktif atau semakin mudah melepaskan elektron dan logam merupakan reduktor yang paling kuat. Sedangkan semakin ke kanan kedudukan logam dalam deret volta, logam kurang reaktif atau semakin sukar melepaskan elektron dan kationnya merupakan oksidator yang paling kuat. Semakin ke kiri suatu unsur dalam deret Volta, sifat reduktornya semakin kuat. Artinya, suatu unsur akan mampu mereduksi ion-ion unsur di sebelah kanannya, tetapi tidak mampu mereduksi ion-ion dari unsur di sebelah kirinya.

Logam Na, Mg, dan Al terletak di sebelah kiri H sehingga logam tersebut dapat mereduksi ion  $H^+$  untuk menghasilkan gas  $H_2$ , sedangkan logam Cu dan Ag terletak di sebelah kanan H sehingga tidak dapat mereduksi ion  $H^+$  (tidak bereaksi dengan asam).

## 2.6 Asam Sulfat

Asam sulfat,  $H_2SO_4$ , merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Zat ini larut dalam air pada semua perbandingan. Asam sulfat mempunyai banyak kegunaan dan merupakan salah satu produk utama industri kimia. Adapun sifat fisika dan kimia asam sulfat dapat dilihat pada tabel 3.



Tabel 3. Sifat Fisika dan Kimia Asam Sulfat

Sifat	Nilai
Rumus molekul	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Massa molar	98,08 gr/mol
Penampilan	Cairan higroskopis, tak berwarna
Bau	Tidak berbau
Densitas	1,84 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	10 °C (283 K)
Titik Didih	337 °C (610 K)
Kelarutan dalam air	Larut
Tekanan uap	<10 Pa pada 20°C (diabaikan)
Keasaman (pK <sub>a</sub> )	1,98 pada 25°C
Viskositas	26,7 cP (20 °C)

Sumber : Wikipedia, 2016

## 2.7 Grafit dan *Stainless Steel*

### 2.5.1 Grafit

Grafit dinamai oleh Abraham Gottlob Werner pada tahun 1789 dengan mengambil kata dari bahasa Yunani. Grafit adalah mineral yang dapat berasal dari batuan beku, sedimen, dan metamorf. Secara kimia, grafit sama dengan intan karena keduanya berkomposisi karbon, yang membedakannya adalah sifat fisik. Intan dikenal sangat keras, langka, dan transparan, sedangkan grafit agak lunak, mudah ditemukan, dan opak.

Grafit umumnya berwarna hitam hingga abu-abu tembaga, kekerasan 1 – 2 (skala Mohs), berat jenis 2,1 – 2,3, tidak berbau dan tidak beracun, serta tidak mudah larut, kecuali dalam asam hidroflorik atau aqua regia mendidih. Proses dekomposisi berlangsung lambat pada suhu 600 °C dan dalam kondisi oksida atau pada suhu 3.500 °C bila kondisi bukan oksida.

Menurut Kuzvart (1984) grafit dapat terjadi secara proses magnetik awal, kontak magmatik, hidrotermal, metamorfogenik, dan residual. Belum ditemukan daerah yang berpotensi di Indonesia. Sampai saat ini Indonesia masih mengimpor grafit. Secara alamiah, grafit ditemukan di Sri Lanka, Kanada dan Amerika Serikat. Grafit juga disebut sebagai timbal hitam.

### 2.5.2 *Stainless Steel*

*Stainless Steel* merupakan baja paduan yang mengandung minimal 10,5% Krom (Cr). Sedikit *stainless steel* mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% *ferrum* (Fe). Krom merupakan salah satu bahan paduan yang paling penting untuk mendapatkan *stainless steel* yang lebih baik. Selain itu juga dilakukan penambahan *Molibdenum* (Mo) yang bertujuan untuk memperbaiki ketahanan korosi *pitting* di lingkungan, penambahan unsur penstabil Karbida (Titanium atau Niobium) bertujuan menekan korosi batas butir pada material yang mengalami proses sensitasi, penambahan Kromium (Cr) bertujuan meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dan ketahanan terhadap oksidasi temperatur tinggi, dan penambahan Nikel (Ni) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan korosi dalam media pengkorosi netral atau lemah. Nikel juga meningkatkan keuletan dan mampu meningkatkan ketahanan korosi tegangan. Unsur Aluminium (Al) meningkatkan pembentukan lapisan oksida pada temperatur tinggi.

