

Pengaruh Mineral Sekunder Sulfat Hasil Oksidasi Pirit Terhadap Nilai Total Sulfur Pada Batubara Formasi Haloq dan Serpih Karbonan Formasi Batuayau Cekungan Kutai Atas

(Effect of Secondary Sulphate Mineral the results of Oxidation Pyrite against Value Total Sulfur In Coal Formation Haloq and carbonaceous shale Formation Batuayau On the Kutai Basin)

Annisa¹

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Abstract

Four samples of coal and two samples of carbonaceous shales at the Latest Eosen age were studied about the minerals contains relative to height of average sulphur values. The sulphur in coal Haloq formation samples are code HBG-1102 (3,55% adb), MMH- 0504 (0,95% adb), MMH- 05021 (0,91% adb), MDG-0703 (0,7% adb) and the sulphur in carbon shale Batuayau formation samples are code MRH-0806 (0,35% adb) and MRH-0801 (3,25% adb). The two group of rock samples contain high sulphur with average 1,53% (adb) in Haloq formation and 1,78% (adb) in Batuayau formation. Analysis proximate, ultimate, and x-ray diffraction (XRD) were used for determine the coal compositions, the value of carbon (C), hidrogen (H), oxygen (O), Nitrogen (N), and sulphur (S), and expectation of minerals in coal. The results of XRD were showed mineral *zaherite*, quartz, *caolinite*, *beidelite* were transformed from *smectite*, and mineral *nacrite* were transformed from *caolinite*. *Melanterite* and *magnesiocopiate* were secondary mineral of sulphate were indicated formed from oxidation pyrite influence. The presence of *Melanterite* and *magnesiocopiate* were indicated as caution of the highest average sulphur value in coal and carbonaceous shale samples.

Keywords: *melanterite*, *magnesiocopiate*, sulfur, XRD

1. Pendahuluan

Batubara dapat tersusun atas bahan-bahan organik dan non organik, dengan kandungan bahan organik pada batubara dapat mencapai lebih dari 75 %. Bahan organik ini disebut *maceral* (*maceral*) yang berasal dari sisa tumbuhan dan telah mengalami berbagai tingkat dekomposisi serta perubahan sifat fisik dan kimia baik sebelum ataupun sesudah tertutup oleh lapisan di atasnya, sedangkan bahan anorganik disebut mineral atau *mineral matter*. Kehadiran mineral dalam jumlah tertentu akan mempengaruhi kualitas batubara terutama parameter abu, sulfur dan nilai panas sehingga dapat membatasi penggunaan batubara.

Selama ini diasumsikan bahwa tingginya kandungan sulfur pada batubara disebabkan adanya kontribusi besar dari mineral pirit (FeS_2). Untuk lebih mengetahui apakah hanya mineral pirit yang memiliki kontribusi terbesar terhadap kandungan sulfur dalam batubara maka diperlukan analisis tambahan untuk mengetahui keberadaan mineral lainnya dalam batubara.

* Korespodensi Penulis: (Annisa) Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

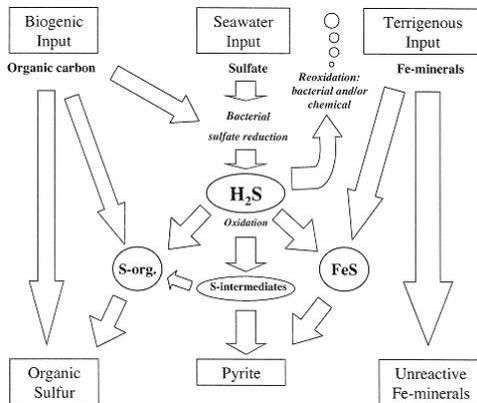
E-mail: nisa.iffin@gmail.com/annisa@unlam.ac.id

Tinjauan Pustaka

Sulfur terdapat dalam bentuk inorganik maupun organik dalam batubara. Sulfur inorganik banyak ditemui dalam bentuk senyawaan sulfida (piritik) dan kadang sulfat. Sulfur organik adalah unsur atau senyawa sulfur yang terikat dalam rantai hidrokarbon material organik. Terdapat berbagai cara terbentuknya sulfur dalam gambut diantaranya adalah berasal dari pengaruh lapisan pengapit yang terendapkan dalam lingkungan laut (Horne dkk, 1978), pengaruh air laut selama proses pengendapan tumbuhan (Casagrande dkk., 1977), proses mikrobial dan perubahan pH (Casagrande, 1987 dalam Whateley, 1994 dalam Widayat, 2005)., mengatakan pembentukan dan keberadaan sulfur pada batubara dan gambut dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Secara umum batubara sulfur rendah (<1%) mengandung lebih banyak sulfur organik dibanding sulfur piritik.
- Batubara sulfur tinggi berasosiasi dengan batuan tanah penutup yang berasal dari endapan laut.
- Kandungan sulfur pada batubara umumnya paling tinggi pada bagian atas (*roof*) dan pada bagian dasar (*floor*) lapisan batubara. Proses paling penting dalam pembentukan unsur dan senyawa sulfur adalah reaksi reduksi

sulfat oleh aktivitas bakteri. Berikut adalah skema yang menunjukkan urutan proses pembentukan sulfur dalam batubara dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Pembentukan sulfur dalam batubara (Suits dan Arthur, 2000)

Terdapat tiga jenis sulfur yang terdapat dalam batubara, yaitu :

1. Sulfur Piritik

Pirit dan markasit adalah mineral sulfida yang paling umum dijumpai pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama (FeS₂) tetapi berbeda pada sistem kristalnya. Pirit berbentuk isometrik sedangkan Markasit berbentuk orthorombik (Taylor dkk, 1998). Pirit (FeS₂) merupakan mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur piritik (Mackowsky, 1943 dalam Taylor dkk, 1998).

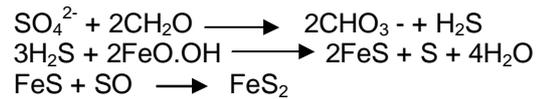
Berdasarkan genesanya, pirit pada batubara dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Pirit singenetik, 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).
2. Pirit epigenetik, yaitu pirit yang terbentuk setelah proses pembatubaraan. Pirit jenis ini biasanya terendapkan dalam kekar dan rekahan pada batubara serta biasanya bersifat masif. (Mackowsky, 1968; Gluskoter, 1977; Frankie dan Howe, 1987). Umumnya pirit jenis ini dapat diamati sebagai pirit pengisi rekahan pada batubara.

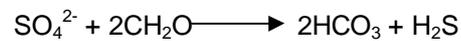
Pirit dapat terbentuk sebagai hasil reduksi sulfur primer oleh mineral yang mengandung Fe. Bentuk pirit hasil reduksi ini biasanya framboidal dengan sumber sulfur yang tereduksi kemungkinan terdapat dalam material yang terendapkan bersama batubara. Terbentuknya pirit epigenetik sangat berhubungan dengan frekuensi rekahan karena kation-kation yang terlarut (dalam hal ini ion Fe) akan terbawa ke dalam batubara oleh aliran air tanah melalui *cleat*

tersebut dan selanjutnya bereaksi dengan sulfur yang telah tereduksi untuk kemudian membentuk pirit (Demchuk, 1987).

Pembentukan pirit epigenetik sangat dipengaruhi oleh ketersediaan sulfur primer yang telah tereduksi, ion besi dan tempat yang cocok bagi pembentukannya (Casagrande dkk, 1987). Persamaan umum pembentukan pada pirit (Leventhal, 1983; Berner, 1984 dalam Taylor, 1998) adalah :



Sulfat di atas umumnya berasal dari sedimen laut dangkal yang selanjutnya akan direduksi oleh senyawa karbon organik menjadi hidrogen sulfida dengan reaksi kimia sebagai berikut :



Hidrogen sulfida yang terbentuk selanjutnya dioksidasi oleh *goethite* (FeO.OH), atau hidrogen sulfida yang terbentuk dapat mereduksi *ferric iron* menjadi *ferrous iron*. Oksigen seringkali mampu menembus sedimen anaerob dan mengoksidasi hidrogen sulfida menjadi unsur sulfur. Proses oksidasi sulfur ini dapat juga berlangsung dengan media *ferric iron*. Berikut persamaan reaksinya :



Selain terbentuknya pirit, unsur sulfur tersebut dapat juga bereaksi dengan sulfida membentuk polisulfida, yang selanjutnya akan diperlukan untuk proses pembentukan pirit. Larutan polisulfida ini dapat bereaksi dengan FeS atau Fe₃S₄ untuk membentuk pirit. Proses terbentuknya sulfur piritik ini sangat dipengaruhi oleh kondisi pH, yaitu semakin tinggi harga pH maka akan mempercepat reaksi karena dalam suasana basa akan banyak ion besi yang terlepas. Disamping itu unsur sulfur atau polisulfida juga bisa bereaksi dengan komponen organik batubara membentuk senyawa sulfur organik.

Pirit framboidal berasosiasi dengan batuan penutup yang terendapkan pada lingkungan laut sampai payau. Gambut yang mengandung sulfur tinggi (dalam bentuk pirit framboidal) terbentuk pada lingkungan pengendapan yang dipengaruhi oleh transgresi air laut atau payau, kecuali apabila terdapat dalam batuan sedimen yang cukup tebal dan terendapkan sebelum fase transgresi (Taylor dkk, 1998).

2. Material dan Metode Penelitian

Contoh diperoleh dari singkapan (*outcrop*) dengan cara *channel sampling* pada dua formasi yaitu Formasi Batupasir Haloq dan Formasi Batuayau. Contoh berjumlah enam terdiri empat contoh batubara pada Formasi Batupasir Haloq dan dua contoh serpih karbon pada Formasi Batuayau.

Selanjutnya contoh direduksi ukurannya dan dibagi menjadi dua yaitu untuk arsip dan analisis. Bagian contoh yang akan dianalisis proksimat, ultimat dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

a. Analisis Proksimat

Batubara terdiri dari campuran heterogen senyawa-senyawa organik dan sejumlah material inorganik dalam bentuk kelembaban dan mineral. Komposisi komponen organik alamiah tergantung pada jenis-jenis dan bagian tumbuhan pembentuknya pada awal masa pengambilan. Komponen batubara dapat dianalisis melalui berbagai macam jenis analisis, salah satunya adalah analisis proksimat.

Analisis proksimat merupakan analisis untuk menentukan komposisi utama batubara yang terdiri dari empat jenis yaitu kelembaban/lengas (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), kandungan abu (*ash content*).

b. Analisis Ultimat

Analisis ultimat digunakan untuk penentuan jumlah unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), Nitrogen (N), dan sulfur (S). Kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen digunakan untuk menilai karakteristik pengkokasan, gasifikasi, dan likuifaksi batubara. Sedangkan kandungan nitrogen dan sulfur menunjukkan potensi pencemaran yang dapat ditimbulkan dari pemanfaatan batubara tersebut.

c. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Analisis XRD merupakan metode yang memberikan informasi mengenai jenis mineral yang terdapat dalam suatu contoh batubara.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis proksimat menunjukkan kandungan *ash* yang tinggi pada Formasi Batuayau hal tersebut disebabkan contoh yang dianalisis adalah serpih karbon sementara total sulfur memiliki rerata kandungan sulfur yang tinggi yaitu 1,53% (adb) pada Formasi Haloq dan 1,78% (adb) pada Formasi Batuayau (Tabel 1).

Hasil analisis *x-ray diffraction* mengindikasikan bahwa mineral-mineral yang terdapat pada contoh batubara terbentuk secara singenetik maupun epigenetik (Tabel 2).

Keberadaan mineral-mineral pada contoh batubara daerah penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Kuarsa (SiO_2)

Kuarsa merupakan salah satu mineral oksida yang paling dominan terdapat dalam batubara (Taylor dkk., 1998). Berdasarkan teksturnya, kuarsa dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu butiran kuarsa klastik berbentuk bulat apabila terendapkan oleh media air, berbentuk menyudut apabila terendapkan oleh media angin dan berbentuk kristal halus apabila terbentuk dari larutan setelah pengendapan batubara. Ranton (1982), menjelaskan bahwa kuarsa terbentuk secara singenetik dan jarang ditemukan sebagai mineral epigenetik.

2. Kaolinit ($\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$)

Kaolinit umumnya terdapat secara singenetik yang terkonsentrasi pada bidang perlapisan, tersebar pada vitrinit sebagai pengisi rekahan. Umumnya terdapat sebagai mineral utama yang terbentuk akibat adanya aksi air atau angin yang membawa material detrital ke dalam cekungan pengendapan batubara. Distribusi mineral lempung dalam batubara dikendalikan oleh kondisi kimia rawa (Bustin, 1989).

Terbentuknya mineral lempung pada tahap kedua (*secondary*) umumnya dihasilkan oleh adanya transformasi dari lempung fase pertama. Asosiasi mineral lempung pada lapisan batubara berupa inklusi halus yang tersebar dan sebagai pita-pita lempung. Keterdapatannya mineral kaolinit pada contoh penelitian sebagai mineral yang terbentuk secara singenetik

3. *Nacrite* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)

Nacrite atau *Aluminium Silicon Oxide Hydrate* merupakan salah satu sub grup dari mineral kaolinit. Sub-grup mineral kaolinit biasanya terbentuk dari produk pelapukan, diagenesis dan aktivitas hidrothermal.

Nacrite terbentuk dengan waktu yang relatif singkat pada suhu tertentu oleh presipitasi larutan dalam pori yang diduga sebagai hasil dari evaporasi pada permukaan yang telah terekspos. Keterdapatannya mineral *nacrite* merupakan transformasi dari mineral kaolinit yang terbentuk secara singenetik pada lingkungan yang mengalami oksidasi.

4. *Beidellite* ($\text{Na}_0.3\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Beidellite atau *Sodium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate* merupakan subgroup dari *smectite*, spesies dari mineral lempung (*clay*). Mineral *beidellite* terbentuk pada fase kedua (*secondary*) dari transformasi mineral lempung yang terbentuk pada fase pertama. Keterdapatannya mineral *beidellite* pada contoh penelitian sebagai mineral yang terbentuk secara singenetik pada lingkungan yang mengalami oksidasi.

5. *Kutnohorite, Magnesian* ($\text{Ca}(\text{Mn},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$)

Kutnohorite, magnesian atau *Calcium Manganese Carbonat* merupakan mineral grup dolomit ($\text{Ca}, \text{Mg} \text{CO}_3$). Mineral dolomit salah satu dari spesies mineral karbonat yang sering

ditemukan dalam batubara terbentuk baik pada fase syngenitik maupun fase epigenetik (Diessel, 1992).

Kutnohorite, magnesian umumnya Ca dan Mn tersubstitusi oleh Mg dan Fe²⁺ dan terendapkan pada sedimen *manganiferous*. Berdasarkan penjelasan tersebut diduga kuat bahwa *kutnohorite, magnesian* yang terdapat pada contoh batubara terbentuk pada fase epigenetik.

6. *Zaherite* (Al₁₂ (SO₄)₅ (OH)₂₆ ·20H₂O)

Zaherite atau *Aluminum Sulfate Hydroxide Hydrate* merupakan produk alterasi dari mineral *natroalunite* (hasil sulfidasi hidrothermal). *Natroalunite* (NaAl₃(SO₄)₂(OH)₆) adalah mineral ubahan dari *alunite* (KAl₃[(OH)₃[SO₄]), apabila

unsur kalium digantikan oleh natrium dalam jumlah yang banyak maka alunite disebut *natroalunite*. Berdasarkan penjelasan tersebut diduga kuat bahwa keberadaan mineral *zaherite* dalam batubara merupakan mineral yang tertransportasi ke dalam cekungan terbentuknya batubara.

7. *Melanterite* (Fe +2SO₄ ·7H₂O) dan *Magnesiocopiapite* (MgFe₄ +3(SO₄)₆ (OH)₂ ·20H₂O)

Melanterite dan *magnesiocopiate* merupakan mineral-mineral sulfat sekunder. Mineral sulfat sekunder terbentuk dari garam logam terhidrasi merupakan produk dari penguapan air asam sulfat yang terbentuk dari pelapukan oksidatif Fe-Sulfida dan mineral sulfida lainnya.

Tabel 1. Hasil analisis proksimat dan analisis ultimat

Kode Contoh	TM %ar	IM %adb	A %adb	VM %adb	FC %adb	CV Cal/g	C ^m %adb	H %adb	N %adb	S %adb	O %adb
Formasi Batupasir Haloq											
HBG-1102	??	3,06	5,22	45,1	46,7	7,487	75,2	6,49	1,18	3,55	8,33
MMH 0504	2,61	2,23	6,19	39,9	51,7	7,542	76,5	6,22	1,38	0,95	8,73
MMH 05021	2,68	2,22	3,37	42	52,4	7,851	79,3	6,48	1,48	0,91	8,46
MDG0703	1,72	1,62	2,66	43,9	51,8	8,113	82,2	6,53	1,7	0,7	6,26
Formasi Batu Ayau											
MRH 0806	9,42	2,49	63,3	18,8	15,4	2,260	24,9	3,18	0,51	0,31	7,82
MRH 0801	7,54	2,45	70,2	14,4	12,9	1,568	18,1	2,53	0,41	3,25	5,44
Keterangan:											
TM: Total Moisture	VM: Volatile Matter	C: Carbon	S: Sulfur								
IM: Inherent Moisture	FC: Fixed Carbon	H: Hydrogen	O: Oxygen								
A: Ash	CV: Calorific Value	N: Nitrogen									

Tabel 2. Hasil analisis X-ray Diffraction

Mineral	Rumus Kimia	Sistem Kristal	Kelas Mineral	Nama
Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
HBG-1102 Melanterite	Fe +2SO ₄ ·7H ₂ O	Monoclinic	Sulfat	Iron Sulfate Hydrate
Zaherite-18A	Al ₁₂ (SO ₄) ₅ (OH) ₂₆ ·20H ₂ O	Triclinic	Sulfat	Aluminum Sulfate Hydroxide Hydrate
MMH 0504 Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
Kaolinite#1VTAIRG	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	Triclinic	Lempung	Aluminum Silicate Hydroxide
MMH 05021 Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
Kaolinite#1VTAIRG	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	Triclinic	Lempung	Aluminum Silicate Hydroxide
MDG 0703 Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
natroalunite, Magnesian	Ca (Mn, Mg) (CO ₃) ₂	Rhombohedral	Karbonat	Calcium Manganese Carbonat
Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
kaolinite#1VTAIRG	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	Triclinic	Lempung	Aluminum Silicate Hydroxide
delite-12A	Na _{0.3} Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·2H ₂ O	Hexagonal	Lempung	Sodium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate
Quartz	SiO ₂	Hexagonal	Silikat	Silicon Oxide
Magnesiocopiapite	MgFe ₄ +3 (SO ₄) ₆ (OH) ₂ ·20H ₂ O	Triclinic	Sulfat	Magnetic Iron Sulfat Hydroxode Hydrate
Nacrite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Monoclinic	Lempung	Aluminium Silicon Oxide Hydrate

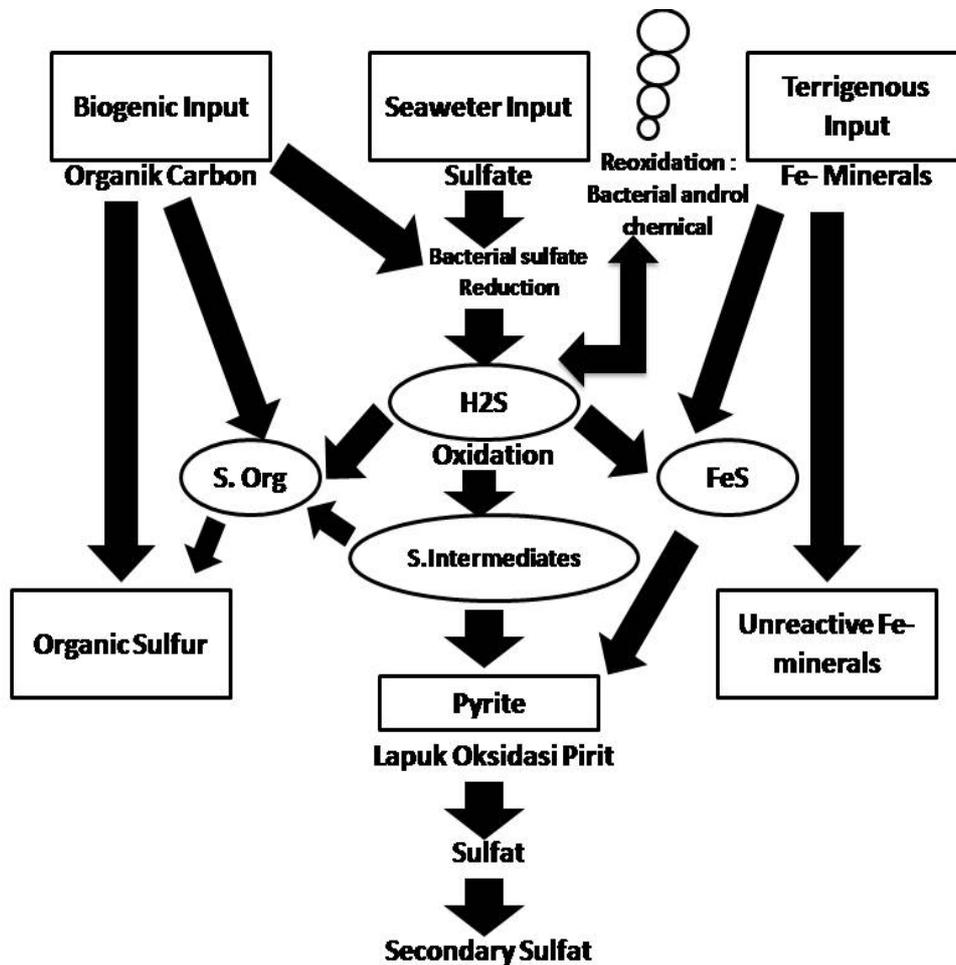
Hubungan Kandungan Sulfur dengan Sulfat Sekunder

Sulfat dalam batubara umumnya ditemui dalam bentuk sulfat besi, kalsium, dan barium. Kandungan sulfat tersebut biasanya rendah sekali atau tidak ada kecuali jika batubara telah terlapukkan dan beberapa mineral pirit teroksidasi menjadi sulfat. Proses terbentuknya pirit dalam batubara sangat erat kaitannya dengan kelimpahan besi reaktif (*geothite*) yang dibawa oleh aliran air (Suits dan Arthur, 2000).

Gambar 2 menunjukkan invasi air laut yang banyak mengandung sulfat, kemudian sulfat

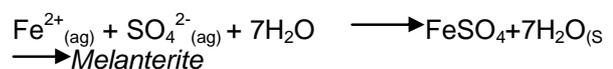
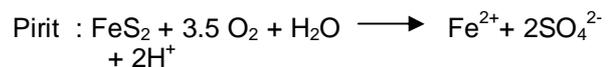
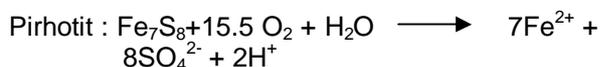
tersebut mengalami reaksi reduksi oleh material organik menjadi hidrogen disulfida (H₂S).

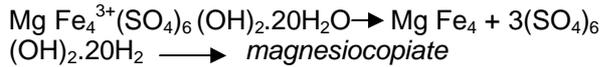
Reaksi sulfida akan menghasilkan bentuk sulfat organik atau piritik yang tergantung dari komposisi kimiawi. Jika komposisi kimia air banyak mengandung besi reaktif seperti mineral *geothite* (FeOOH) maka akan terjadi presipitasi pirit. Sebaliknya apabila komposisi kimia air sedikit mengandung besi reaktif maka hidrogen sulfida akan bereaksi dengan materi organik membentuk sulfur organik. Pirit yang mengalami oksidasi ataupun pelapukan akan menjadi sulfat dan sulfat sekunder.



Gambar 2. Diagram pembentukan sulfur dalam batubara (Dimodifikasi dari Suits & Arthur, 2002 dalam idayat 2005).

Mineral sulfat sekunder terbentuk dari garam logam terhidrasi merupakan produk dari penguapan air asam sulfat yang terbentuk dari pelapukan oksidatif Fe-Sulfida dan mineral sulfida lainnya. Berikut persamaan reaksinya :





Jumlah asam yang diproduksi 2 mol H+ pada permol pirhotit, sebanding dengan jumlah asam yang dihasilkan oleh oksidasi pirit. Oksidasi dari pirhotit pada komposisi ini merupakan produk dari *ferric iron* (Hammarstromdkk., 2004)

Pirit (FeS₂) merupakan mineral yang memberikan kontribusi besar terhadap

kandungan sulfur dalam batubara, atau lebih dikenal dengan sulfur piritik (Mackowsky, 1943 dalam Taylor dkk., 1998), namun dalam penelitian ini ditemukan bahwa hadirnya mineral sulfat sekunder hasil oksidasi dari pirit masih memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap tingginya persentasi total sulfur. Hal ini dibuktikan adanya korelasi antara keterdapatan mineral sulfat sekunder dengan hasil analisa total sulfur (Tabel 3).

Tabel 3 Pengaruh mineral sulfat sekunder terhadap kandungan sulfur

Kode Contoh	Analisa XRD		Analisa Komposisi Kimia Sulfur (%Adb)	
	Mineral	Chemical Formula		
HBG-1102	Quartz	SiO ₂	3.25	3.55
	Melanterite	Fe + 2SO ₄ ·7H ₂ O		
MMH 0504	Zaherite	Al ₁₂ (SO4) ₅ (OH) ₂₆ ·20H ₂ O	0,95	
	Quartz	SiO ₂		
MMH 05021	Kaolinite	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	0,91	
	Quartz	SiO ₂		
MDG 0703	Kaolinite	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄	0,7	
	Quartz	SiO ₂		
MRH 0806	Kutnohorite, Magnesian	Ca (Mn, Mg) (CO ₃) ₂	0,31	
	Quartz	SiO ₂		
MRH 0801	Kaolinite	Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₄		
	Beidellite	NaO.3Al ₂ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·2H ₂ O		
	Quartz	SiO ₂		
	Magnesiocopiapite	MgFe ₄ +3 (SO ₄) ₆ (OH) ₂ ·20H ₂ O		
	Nacrite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄		

4. Kesimpulan

Melanterite dan *magnesiocopiate* merupakan mineral hasil oksidasi pirit (FeS₂) dan pirhotit (Fe_(1-x)S), sumber utama dari Fe terhadap pengandapan mineral sulfat melalui beberapa proses yaitu oksidasi, hidrolisis dan penguapan. Hadirnya mineral sulfat sekunder seperti *Melanterite* dan *magnesiocopiate* masih memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap tingginya persentasi total sulfur. Hal ini dibuktikan adanya korelasi antara keterdapatan mineral sulfat sekunder dengan hasil analisa total sulfur.

Daftar Pustaka

Bustin, R.M. (1989): *Coal Petrology, Its principles, method, and application*, Geological Association of Canada (Reprint Edition).
 Casagrande, D.J., Siefert, K., Berschinski, C., dan Sutton, N. (1977): Sulfur in peat-forming system of the Okefenokee swamp and Florida

everglades : Origins of sulfur in coal, *Geochimica et Cosmochimica*, 44, 161-167
 Demchuk, T.D., 1992. Epigenetic pyrite in a low-sulphur, sub-bituminous coal from the central Alberta Plains. *International Journal of Coal Geology* 21, pp.187–196.
 Diesel C.F.K., 1992, *Coal Bearing Depositional System*, Springer Verlag, Berlin. P.137-158.
 Frankie, K.A., Hower, J.C., 1987. Variation in pyrite size, form, and microlithotype association in the Springfield (No.9) and Herrin No.11) Coals, *Clean Coal Technology* 22 Western Kentucky. *International Journal of Coal Geology* 7, pp.349–364.
 Gluskoter, H.J, Ruch, R.R, Miller, W.G, Cahill, R.A, Dreher, G.B and Kuhn, J.K., 1977. Trace Elements in Coal Occurrence and Distribution. *Illionis State Geological Survey, Circular* 499, Urbana, IL 61801.
 Hammarstrom J.M., Seal R.R., Meier A.L., dan Kornfeld J.M. (2004): Secondary sulfate minerals associated with acid drainage in the eastern US: recycling of metals and acidity in surficial environments, *USGS*, 215, 407–431.

- Horne, J. C., Ferm, J.C., Caruccio, F. T. & Baganz, B. P.1978. Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian region. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 62, 2379-2411.
- Mackowsky, M.T.H. (1982): Minerals and trace elements occuring in coal, *dalam* Stach, E., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., dan Teichmuller, R., *Textbook of Coal Petrology*, GebrüderBorntraeger, Berlin.
- Ranton J.J., 1982, Mineral matter in coal In Meyer.
- Suit, S.N. dan Arthur M.A. (2000): Sulfur diagenesis and partitioning in Holocene Peru Shelf and upper slope sediments, *Chemical Geology*, **163**, 219-234.
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Robert, P. dan Littke, R. (1998): *Organic Petrology*. Berlin, Stuttgart: GebrüderBorntraeger
- Widayat, A.H. (2005): Hubungan interpretasi fasies dan lingkungan pengendapan batubara dengan variasi sulfur seam R dan Q, Sub-Cekungan Berau, Cekungan Tarakan, Kalimantan Timur, Tesis Magister, Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.