

## **PENYEBARAN TOTAL SULFUR PADA MATERIAL PAF/NAF DAN ASOSIASINYA TERHADAP LINGKUNGAN PENGENDAPAN PEMBAWA LAPISAN BATUBARA DI DAERAH MABU'UN, KECAMATAN WARU, KABUPATEN TABALONG, KALIMANTAN SELATAN**

Eduardus Bonar Luseno, Heru Sigit Purwanto, C. Danisworo  
Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta  
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283  
Telp. (0274) 486403, 486733 ; Fax. (0274) 487816 ; Email: geoupn@indosat.net.id

**Sari** - Daerah penelitian secara administrasi berada di daerah Mabu'un, Kecamatan Waru, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis daerah penelitian berada di 115°26'30" BT - 115°29'15" BT dan 2°12'30"LS - 2°10'45"LS UTM WGS 1984 (*Universal Transverse Mercator*), sedangkan secara astronomis berada koordinat UTM N 9754250 - N 9759750 dan E 326500 - E 332500. Luas daerah telitian 3 km x 3,5 km dengan skala 1:12.500.

Metode penelitian yang digunakan adalah berupa pemetaan geologi permukaan (*Surface Mapping*) dengan pengambilan data langsung di lapangan. Beberapa analisis yang dilakukan antara lain: struktur geologi, profil, *Measured Section* serta analisa petrografi yang ditunjang oleh analisa PIMA (*Portable Infra red Mineral Analyser*) didukung oleh data sekunder dari perusahaan berupa data kualitas batubara (data kalori dan data total sulfur).

Pola pengaliran yang berkembang pada daerah penelitian adalah subdendritik yang di kontrol oleh struktur homoklin dengan topografi landai - miring. Satuan bentukasal pada daerah penelitian diklasifikasikan menjadi empat bentuk asal yaitu antropogenik terdapat bentuklahan lahan tambang (H1), bentukasal Denudasional terdapat bentuklahan lahan rusak (D1), bentukasal Fluvial terdapat bentuklahan Dataran Fluvial (F1) dan Rawa (F2) dan bentukasal struktural terdapat bentuklahan Perbukitan Homoklin Bergelombang Lemah (S1). Stratigrafi daerah penelitian dikelompokkan menjadi empat satuan batuan tak resmi. Dari tua ke muda yaitu Satuan batupasir-karbonan Warukin atas, Satuan batupasir-kuarsa Warukin atas, Satuan batulempung Warukin atas dan Endapan takterkonsolidasi endapan aluvial. Struktur geologi daerah penelitian berupa kekar *cleat* batubara, kekar pada batupasir-kuarsa yang semua berarahkan relatif Baratlaut - Tenggara, serta struktur homoklin.

Daerah telitian disusun oleh Satuan batupasir-karbonan Warukin atas diendapkan di lingkungan *Upper Delta Plain-Fluviatil* dengan sublingkungan *channel*, Satuan batupasir-kuarsa Warukin atas diendapkan di lingkungan *Upper Delta Plain-Fluviatil* dengan sublingkungan *channel* yang berangsur menjadi *levee* dan serta Satuan batulempung Warukin atas diendapkan di lingkungan *Transisional Lower Delta Plain* dengan sublingkungan *Interdistributary bay*.

**Kata – kata kunci** : Subdendritik, Analisa PIMA, total sulfur, struktur homoklin, *cleat* batubara, kekar, *channel*, *levee*, *interdistributary bay*.

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Genesa batubara merupakan proses yang kompleks dengan lingkungan pengendapannya yang khas. Informasi yang mencakup daerah lingkungan pengendapan dari batubara adalah dari kondisi litologi penyusun dari *overburden*nya, mineral yang terkandung serta unsur-unsur kimia yang terjadi, namun secara genesa ilmiah itulah yang mendatangkan kasus baru, yaitu mengenai kemunculan air asam tambang.

Berkaitan secara langsung dari mekanisme, aktifitas serta kondisi lingkungan diendapkannya material tersebut, ditunjang dengan kondisi yang tersingkap ke permukaan akan mengakibatkan kontak langsung dengan unsur udara atmosfer yaitu Oksigen (O<sub>2</sub>) dan air hujan yang membawa unsur kimia air meteorik (H<sub>2</sub>O) menjadi ikatan kimia yang membentuk komposisi air asam tambang.

#### **Maksud & Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah mengetahui model pengendapan suatu endapan batubara untuk memprediksi karakter dari *overburden* pembawa lapisan pembawa batubara pada daerah eksplorasi sehingga mengetahui hubungan antara genesa *overburden* batubara dengan material pembawa potensi air asam tambang (PAF), sehingga bisa membangun model lingkungan pengendapan lapisan batubara yang berdasarkan hubungan genetik dari data yang tersedia.

#### **Lokasi & Akses Daerah Penelitian**

Lokasi Penelitian ini dilakukan di area tambang Waru PIT 1 pada salah satu kuasa pertambangan milik PT. Adaro Indonesia. Jarak Ibukota Kabupaten Tabalong sekitar 30 km dari Kota Tanjung dan dapat di tempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat selama ± 1jam.

Daerah telitian terletak di daerah Waru, Kecamatan Mabu'un, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan (sekitar 230 km ke arah Timur Laut dari Kota Banjarmasin) dan daerah telitian terletak pada koordinat UTM N

9754250 – N 9759750 dan E 326500 – E 332500, secara geografis terletak pada 115°26'30" BT - 115°29'15" BT dan 2°12'30"LS - 2°10'45"LS UTM WGS 1984 dengan luasan 3 x 3,5 Km dengan skala 1:12.500.

### Hasil Penelitian

Analisis data lapangan maka didapatkan hasilnya dalam bentuk peta geologi yang merangkum dari peta lintasan dan lokasi pengamatan, peta geomorfologi (berserta pola pengaliran didalamnya) serta tabel analisa total sulfur dan sebaran dari distribusinya ditunjang oleh data hasil pengamatan laboratorium petrografi dan PIMA (*Portable Infrared Mineral Analyser*) untuk didapatkan lingkungan pengendapan lapisan pembawa batubara secara detail.

### METODE

Metode yang digunakan dalam melakukan suatu penelitian ini dengan pengambilan data lapangan meliputi : data geologi lapangan, data sekunder yang berupa data total sulfur dari *seam* batubara serta total sulfur pada *overburden* batubara di daerah telitian yang melawati lintasan MS. sehingga dapat membuat model lingkungan pengendapan dan model geologi batubara pada daerah telitian yang ditunjang dengan metode melihat sumber dari mineral sekunder yang terbentuk dari hasil pelapukan kimiawi. Untuk menentukan karakteristik *overburden* maka diperlukan aspek fisik, kimia serta kombinasinya yang mencirikan proses pembentukannya. Penentuan karakteristik *overburden* ini sangat penting untuk mengetahui distribusi total sulfur serta asosiasinya dengan mineral lempung didalamnya.

### GEOMORFOLOGI POLA PENGALIRAN

Pada daerah telitian terdapat satu pola pengaliran ubahan yaitu subdendritik. Pola pengaliran subdendritik merupakan perkembangan dari pola pengaliran dendritik yang membentuk percabangan menyerupai ranting pohon dimana anak sungai berbentuk tidak teratur.

Pola pengaliran ini berkembang akibat pengaruh topografi yang miring serta litologi penyusunnya. Terlihat sebagai anak atau cabang sungai mengalir searah dengan kemiringan lapisan batuan (sungai *reséken*) menurut A.D. Howard, 1967.

### STADIA EROSI

Pada daerah telitian memiliki topografi yang datar- miring, memiliki sungai yang sempit dan musiman, serta memiliki lembah berbentuk "U". dipengaruhi oleh faktor iklim, relief (kelerengan), Perubahan tersebut menyebabkan terjadinya perubahan topografi yang akhirnya membentuk topografi seperti sekarang.

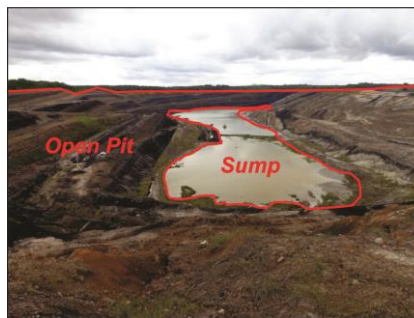
Dari faktor-faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa sungai pada daerah telitian merupakan stadia dewasa yang dicirikan dengan kemampuan untuk mengikis alurnya. Daerah telitian didominasi oleh proses endogen yaitu berupa adanya pengangkatan. Kemudian daerah telitian tersebut mengalami proses pengikisan atau erosi yang dikontrol adanya variasi litologi dan struktur yang berkembang.

### SATUAN BENTUK LAHAN BENTUKASAL ANTROPOGENIK

Bentukasal Antropogenik adalah morfologi yang dibentuk oleh serangkaian proses yang terjadi yang berhubungan dengan aktifitas manusia didalamnya. Bentuk asal tersebut dapat dilihat secara spesifik melalui kenampakan yang berpola dan mempunyai tujuan tertentu yang dapat diinterpretasi melalui peta topografi,

#### Bentuklahan Lahan Tambang

Satuan bentuklahan ini menempati 15% dari total keseluruhan daerah penelitian. Berada pada relief topografi bergelombang berlereng miring dengan bentuk lembah U-V. Morfostruktur pasif dengan litologi berbutir halus dan memiliki resistensi yang sedang- lemah. Morfostruktur aktif berupa aktifitas penambangan.



**Gambar 1.** Kenampakan satuan Bentuklahan Lahan Tambang. (Arah foto relatif ke Selatan)

Morfodinamis yang berkembang berupa proses erosi dan aktifitas manusia. Produk dari satuan bentuklahan ini adalah *open pit* dan *sump* (Gambar 1.)

### **BENTUKASAL DENUASIONAL**

Bentukasal Denudasional adalah morfologi yang dibentuk oleh serangkaian proses yang terjadi yang berhubungan dengan proses pelapukan dan atau penelanjangan.

Proses denudasional adalah bentuklahan yang terjadi akibat proses-proses pelapukan, erosi, gerak massa batuan dan proses pengendapan yang terjadi karena agradasi atau degradasi.

#### **Bentuklahan Lahan Rusak**

Satuan bentuklahan ini menempati 15% dari total keseluruhan daerah penelitian. Morfografi satuan ini berupa lereng dan bukit. Morfostruktur aktif berupa aktifitas penambangan. Berada pada relief topografi bergelombang dengan bentuk lembah "U".

Morfodinamis yang berkembang berupa proses erosi dari aktifitas manusia. Produk dari satuan bentuklahan ini adalah hutan kliring. (Gambar 2.)



**Gambar 2.** Kenampakan satuan Bentuklahan Lahan Rusak. (Arah foto relatif ke Utara)

### **BENTUKASAL FLUVIAL**

Bentukasal Fluvial merupakan bentuk asal yang disebabkan kombinasi proses pelapukan, *mass wasting*, dan erosi oleh air permukaan. Bentuk asal fluvial pada daerah penelitian berupa dataran fluvial dan rawa.

#### **Bentuklahan Dataran Fluvial**

Satuan bentuklahan ini menempati 20% dari total keseluruhan daerah penelitian. Morfostruktur pasif dengan litologi berbutir halus dan memiliki resistensi yang lemah. Morfodinamis yang berkembang berupa proses erosi, pelapukan. Produk dari satuan bentuklahan ini adalah hutan tropis (Gambar 3.)



**Gambar 3.** Kenampakan satuan Bentuklahan Dataran Fluvial. (Arah foto relatif ke Selatan)

#### **Bentuklahan Rawa**

Satuan bentuklahan ini menempati 5% dari total keseluruhan daerah penelitian (Gambar 4.) Morfodinamis yang berkembang berupa proses erosi, pelapukan dan transportasi. Produk dari satuan bentuklahan ini adalah rawa.



**Gambar 4.** Kenampakan satuan Bentuklahan Rawa. (Arah foto relatif ke Selatan)

### BENTUKASAL STRUKTURAL

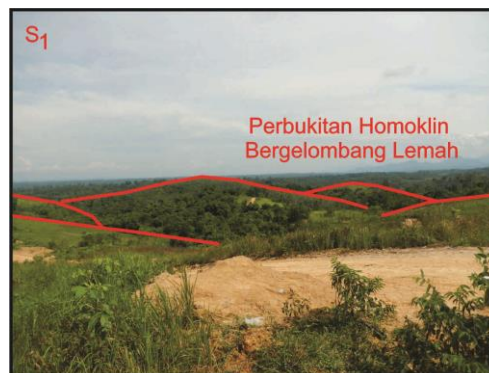
Pengaruh struktur geologi dapat dilihat dari pola kelurusan sungai, lereng, pola kedudukan lapisan batuan, zona hancuran, dan offset lapisan batuan. Bentuk lahan yang berasal dari bentuk asal struktural pada daerah penelitian adalah perbukitan struktural bergelombang lemah

#### **Bentuklahan Perbukitan Homoklin Bergelombang Lemah**

Satuan bentuklahan ini menempati 45% dari total keseluruhan daerah penelitian. Morfografi satuan ini berupa perbukitan. (Gambar 5.)

Morfodinamis yang berkembang berupa proses erosi dan pelapukan. Berada pada relief topografi bergelombang dengan bentuk lembah U-V. Morfostruktur pasif dengan litologi berbutir halus dan memiliki resistensi yang sedang.

Produk dari satuan bentuklahan ini adalah bukit-bukit yang menjadi mayoritas penyusun daerah telitian, dengan sungai yang mengalir berupa pola pengaliran ubahan yaitu subdendritik.



**Gambar 5.** Kenampakan satuan Bentuklahan Perbukitan Homoklin Bergelombang Lemah. (Arah foto relatif ke Timur)

### STRATIGRAFI

Berdasarkan dari aspek tersebut, maka daerah penelitian dapat dibagi menjadi empat satuan batuan/endapan. Urutan satuan batuan/endapan mulai dari yang tertua adalah satuan batupasir karbonan Warukin-atas, satuan batupasir kuarsa Warukin-atas, satuan batulempung Warukin-atas, dan satuan endapan alluvial (Tabel 1.).

#### **Satuan batupasir-karbonan Warukin atas**

Satuan Batupasir karbonan ini menunjukkan adanya struktur sedimen yang khas didominasi berupa *flaser*, dimana *sand* lebih dominan daripada *mud*. Ukuran butir pada satuan ini berkisar antara pasir sedang-lempung. Litologi yang hadir diantaranya adalah batupasir kuarsa, batupasir karbonan, batupasir, batubara dan batulempung. Satuan ini tersingkap baik di daerah bukaan lahan tambang di Mabu'un (Gambar 6.)

Fasies pengendapan yang merupakan peciri dari fasies pengendapan *Upper Delta Plain-Fluviatil*. Satuan ini diendapkan pada sub-lingkungan channel yang merupakan peciri dari lingkungan *Upper Delta Plain- Fluvial* (J.C.Horne et al, 1978). Satuan Batupasir karbonan ini menempati 15% dari luas total daerah penelitian.



**Gambar 6.** Singkapan Batupasir-karbonan Warukin Atas. (Arah foto relatif ke Tenggara)

### Satuan batupasir-kuarsa Warukin atas

Berdasarkan ciri-ciri di lapangan ditemukan setempat-setempat ditemukan perselingan batupasir kuarsa dan batubara dengan tebal yang bervariasi dengan *floor* dan *roof* umumnya berupa batulempung. Pada satuan ini cukup banyak dijumpai kenampakan silang siur dan *flaser*. (Gambar 7.)

Berdasarkan pengamatan di lapangan, penyusun satuan batupasir-kuarsa Warukin ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut : Batupasir kuarsa, umumnya terdiri dari mineral kuarsa; matriks pecahan batubara; semen silika; warna; putih kekuningan sampai keabu-abuan; ukuran butir sangat halus sampai sedang (1/16 – 1/2 mm); struktur sedimen yang dijumpai : laminasi sejajar, silang siur dan *climbing ripple*

Berdasarkan analisis profil pada LP 1 dan data MS di Selatan maupun Utara *Endwall* pit Wara I didapatkan fasies pengendapan yang merupakan peciri dari fasies pengendapan *Upper Delta Plain* (Allen and Chambers, 1998).

Satuan ini diendapkan pada sub-lingkungan *channel* dan *levee* yang merupakan penciri dari lingkungan *Upper Delta Plain- Fluvial* (J.C.Horne, 1978).



**Gambar 7.** Singkapan Batupasir-karbonan Warukin Atas. (Arah foto relatif ke Tenggara)

### Satuan Batulempung Warukin Atas

Secara umum litologi penyusun satuan lithostratigrafi ini berupa batulempung dengan struktur masif dan laminasi serta setempat-setempat ditemukan perselingan antara batupasir kuarsa *convolute*, batulanau dan beberapa seam batubara. Aspek data fisik dilihat dari pengamatan di lapangan, penyusun satuan batulempung Warukin ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut : Batulempung, berwarna abu-abu sampai hitam; ukuran butir lempung (<1/256 mm) komposisi berupa mineral lempung, semen silika, kadang terdapat pecahan batubara, struktur sedimen yang dijumpai secara umum masif dan beberapa dijumpai struktur laminasi.

Berdasarkan data MS di Selatan maupun Utara *Endwall* pit Wara I didapatkan fasies pengendapan yang merupakan peciri dari fasies pengendapan *Transitional Lower Delta Plain*. Satuan ini diendapkan pada sub-lingkungan *interdistributary bay* (J.C.Horne et al, 1978). (Gambar 8.)



Gambar 8. Singkapan Batulempung Warukin Atas. (Arah foto relatif ke Utara)

**Satuan Endapan Aluvial Endapan Takterkonsolidasi**

Endapan itu belum mengalami kompaksi yang tertransportasi oleh media air serta didominasi oleh tekstur berukuran lempung dan lumpur. (Gambar 9.)

Endapan ini berumur Holosen dan proses yang bekerja masih berlangsung sampai saat ini. Hubungan stratigrafi antara endapan aluvial dengan satuan batulempung Warukin atas yang berada di bawahnya adalah tidak selaras.



Gambar 9. Singkapan Endapan Aluvial

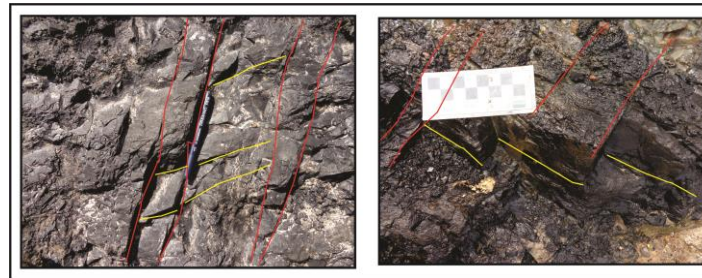
Tabel 1. Stratigrafi Daerah Penelitian

| Umur Geologi |              | FORMASI      | SIMBOL SATUAN | No. <i>Secam</i> | SATUAN BATUAN dan HUBUNGAN STRATIGRAFI | LINGKUNGAN PENGENDAPAN                                      | TEBAL    | PEMERIAN   |
|--------------|--------------|--------------|---------------|------------------|--|---|----------|--|
| ZAMAN        | KALA         |              |               |                  |  |   |          |  |
| KUATER       | HOLOSEN      |              |               |                  | Endapan Aluvial                        | Darat   | 0 -20 m  | Menempati 5 % dari total luasan daerah penelitian. Disusun oleh material lepas dengan aneka sumber seperti rawa terendam air kurang lebih 1-2 meter, <i>sump</i> dan alur-alur liar yang teraliri air dari efek morfologinya. Material ini berupa rombakan batuan dari ukuran lempung hingga pasir kasar berwarna coklat tua hingga merah orange.  |
| TERSTER      | MIOSEN AKHIR | WARUKIN ATAS |               | W320             | Batulempung Warukin atas               | <i>Interdistributary bay Transitional Lower Delta Plain</i> | 1043,8 m | Menempati 60 % dari luasan daerah penelitian. Satuan ini tersusun atas perselingan antara batulempung bersifat sideritik dengan batulempung karbonan dan batubara serta sisipan batupasir ukuran halus. Fasies yang berkembang adalah endapan di daerah <i>lower delta plain</i> (batas pasang air laut di <i>fluvial deposit</i> ). Diendapkan secara beda fasies melidah terhadap satuan batuan dibawahnya satuan batuan batupasir kuarsa dan tidak selaras dengan endapan aluvial diatasnya.  |
|              |              |              |               | W310             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W221             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W210             | Batupasir-kuarsa Warukin atas          | <i>levee Upper Delta Plain Fluvial</i>                      | 537,5 m  | Menempati 20 % dari luasan daerah penelitian. satuan ini tersusun oleh perselingan antara batupasir kuarsa dan batupasir bersifat sideritik, batulempung dan batubara dengan tebal 20-30m. Fasies yang berkembang adalah endapan fasies <i>upper delta plain fluvial sistem</i> . Dicirikan dengan kehadiran pasir <i>unsemented</i> yang menjadi ciri khas dari endapan <i>levee</i> yang mempunyai struktur melensa. Struktur yang berkembang adalah <i>cross lamination</i> , perlapisan dan <i>convolute</i> .   |
|              |              |              |               | W100             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W111             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W112             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W113             |  |   |          |  |
|              |              |              |               | W114             |  |   |          |  |
|              |              |              |               |                  | Batupasir-karbonan Warukin atas        | <i>Channel Upper Delta Plain Fluvial</i>                    | 437,5 m  | Menempati 15 % dari luasan daerah penelitian. satuan ini tersusun oleh perselingan antara batupasir karbonan dan batupasir bersifat sideritik, batulempung dan batubara dengan ketebalan yang relatif tipis (<1meter). Pada beberapa tempat ada sisipan batupasir karbonan dan batupasir kuarsa. Fasies yang berkembang adalah endapan fasies <i>upper delta plain fluvial sistem</i> . Dicirikan dengan kehadiran sisipan batubara yang tipis (<1meter) menjadi ciri khas dari endapan <i>channel</i> . Struktur yang berkembang adalah <i>cross lamination</i> dan perlapisan. |

## STRUKTUR GEOLOGI

Struktur geologi yang didapatkan di daerah penelitian berupa kekar yang berada di singkapan batuan dan *cleat* yang berada di batubara.

### *Cleat*



**Gambar 10.** Kenampakan *cleat* batubara di lapangan

Setelah dilakukan analisis, secara umum *face cleat* pada daerah telitian berarah relatif barat laut-tenggara. Sedangkan perubahan arah *face cleat* pada zona-zona tertentu, mengindikasikan bahwa adanya perubahan kedudukan *seam* batubara walau tidak signifikan yang dipengaruhi oleh proses pensesaran maupun perlipatan pada kondisi regional di sekitar daerah telitian.

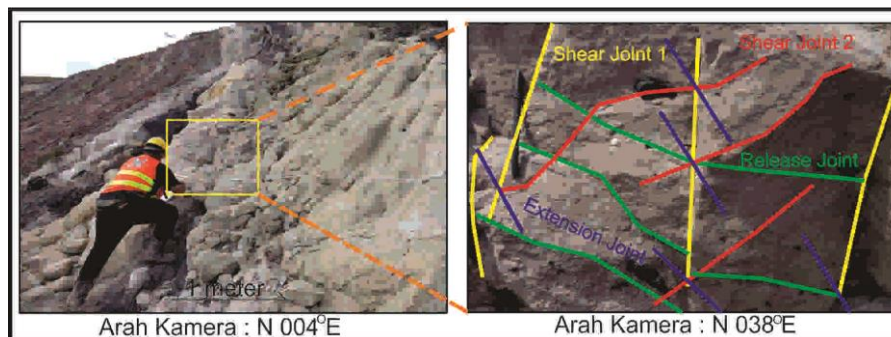
Pada kondisi dilapangan, ada beberapa material pengisi cleat-cleat seperti mineral pirit yang berbentuk serbuk dan amber. (Gambar 10.)

### Kekar

Berdasarkan hasil analisa stereografis dengan metode diagram kontur, maka didapatkan nilai arah umum kedudukan *shear joint 1* adalah  $N106^{\circ}E/72^{\circ}$  dan *shear joint 2* adalah  $N360^{\circ}E/65^{\circ}$ . (Gambar11.)

Berdasarkan analisa dari kedua *shear joint*, didapatkan nilai *extension joint*  $N322^{\circ}E/85^{\circ}$  dan nilai *release joint*  $N053^{\circ}E/57^{\circ}$ . Tegasan utama  $\alpha_1$  memiliki nilai  $33^{\circ}/N326^{\circ}E$ , nilai  $\alpha_2$   $56^{\circ}/N133^{\circ}E$ , nilai  $\alpha_3$   $04^{\circ}/N229^{\circ}E$ .

Dari hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa tegasan utama yang berkembang pada daerah penelitian relatif arah Baratlaut – Tenggara



**Gambar 11.** Kenampakan kekar pada batupasir-kuarsa

### Struktur Homoklin

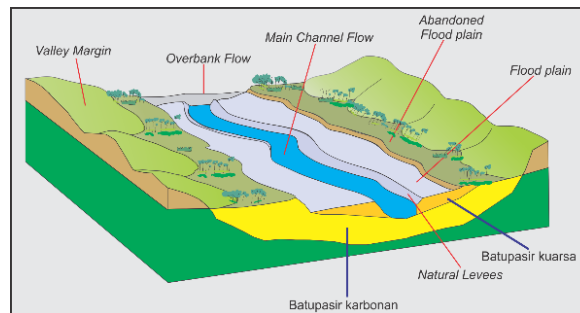
Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran kedudukan perlapisan batuan di daerah telitian yang secara umum mempunyai jurus relatif berarah timur laut-barat daya dan kemiringan (*dip direction*) searah yaitu ke arah tenggara dengan besaran dip rata-rata antara  $25^{\circ}$  –  $50^{\circ}$  (Gambar 12.)



**Gambar 12.** Kenampakan struktur homoklin di Pit

## SEJARAH GEOLOGI

Sejarah geologi daerah penelitian diawali pada Kala Miosen Tengah dengan diendapkannya satuan batupasir-karbonan di bagian *upper Delta Plain* sublingkungan *Channel*, Bersamaan saat material tersebut mengalami proses pengendapan dan pembusukan, timbul material-material sedimen dari belakangnya yang ikut terakumulasi ditempat itu (Gambar 13.)

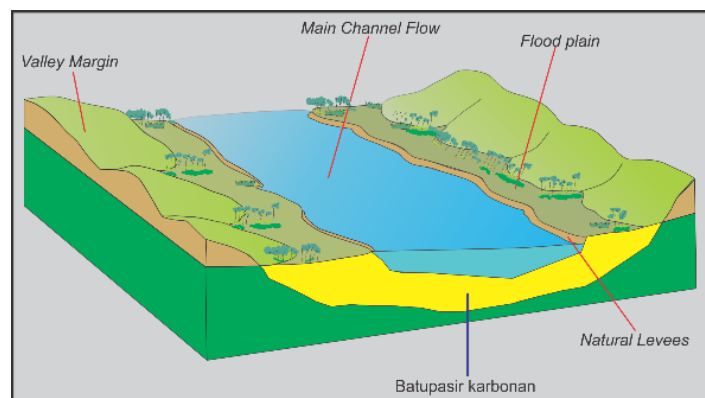


**Gambar 13.** Channel Upper Delta Plain-Fluviatil (Penulis,2014)

Dalam mekanisme sedimen fluviatil, dimana kondisi *delta plain* sangat jarang ditemukan adanya aktivitas dari gelombang laut yang sangat besar namun arus sungai dominan.

Ciri khas lingkungan pengendapan *channel* adalah disusun oleh batupasir sedang – batupasir kasar, ditemukan struktur sedimen berupa *climbing ripples* dibagian atas dan silang siur dibagian bawah dan setempat ditemukan endapan batupasir-batulempung yang mempunyai sifat sideritik ( $\text{FeCO}_3$ ).

Setelah itu diendapkan satuan batupasir kuarsa dengan hasil interpretasi terbentuk pada lingkungan pengendapan *upper delta plain-fluviatil* pada sublingkungan pengendapan sebagian kecil *channel* kemudian berangsur ke lingkungan *levee*. (J.C.Horne,1978). Setempat ditemukan endapan batupasir-batulempung yang mempunyai sifat sideritik ( $\text{FeCO}_3$ ), diinterpretasikan sifat ini timbul berdasarkan akibat reaksi kimia pada material penyusun yang berupa oksida besi yang notabene berasal dari lingkungan darat, kontak dengan unsur laut yang kental dengan komposisi karbonat ( $\text{CO}_3$ ), walau hanya setempat penyebarannya dan tidak stabil akibat aktifitas pasang surut air laut hal ini cukup logis karena pada saat itu memang peristiwa regresi yang terjadi (Gambar 14.)



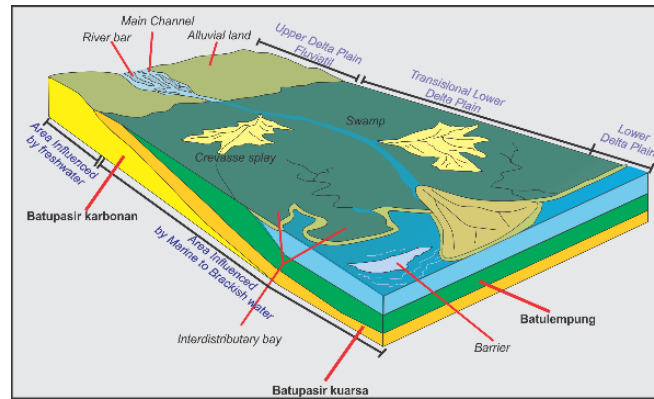
**Gambar 14.** Levee Upper Delta Plain-Fluviatil (Penulis,2014)

*Levee* adalah dataran yang terbentuk di sepanjang aliran sungai akibat bermigrasinya sungai. Apabila terjadi banjir, maka dataran tersebut akan menerima luapan banjir beserta materialnya.

Sungai stadia dewasa mengendapkan sebagian material yang terangkut saat banjir pada sisi kanan dan kiri sungai. Seiring dengan proses yang berlangsung secara menerus tersebut, maka akan terbentuk akumulasi sedimen yang tebal, sehingga akhirnya membentuk *levee*. Setelah itu diendapkan satuan batulempung dengan hasil interpretasi terbentuk pada lingkungan pengendapan *Transisional lower delta plain* pada sublingkungan pengendapan *interdistributary bay*. (J.C.Horne,1978). (Gambar 15.)

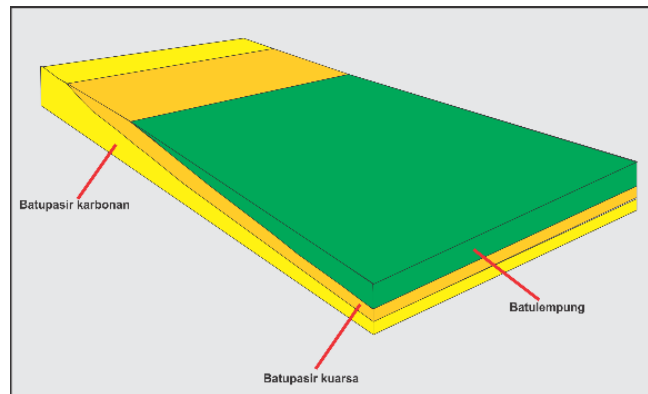
Terlihat jelas pada satuan batuan ini diendapkan dekat sekali dengan air muka air laut, yang hanya dibatasi oleh tingkat kedalaman yang masih relatif dangkal dan gelombang laut yang masih relatif stabil, namun komposisinya saat diendapkan sudah terkena pengaruh air laut yang berlangsung hingga miosen akhir





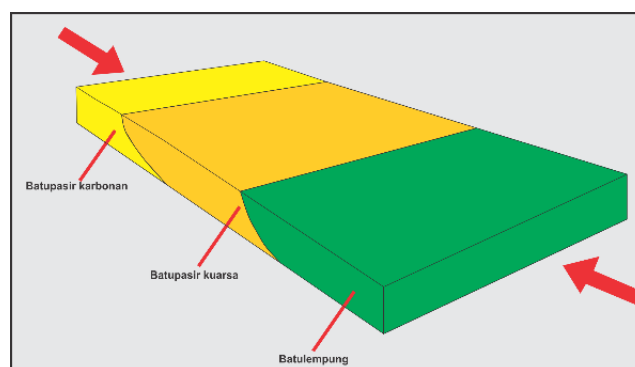
**Gambar 15.** *Interdistributary bay Transisional Lower Delta Plain* (Penulis,2014)

Pada daerah telitian setelah terendapkan satuan batulempung Warukin atas, muncul pengangkatan secara tektonik yang membuat kondisi air laut yang surut, sehingga suplai airlaut berkurang, dimulai dari fase ini tidak terjadi pengendapan (Gambar 16.)



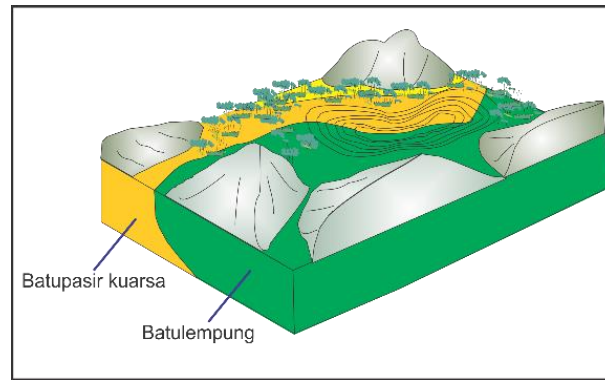
**Gambar 16.** Fase pengangkatan daerah telitian (Penulis,2014)

Dilanjutkan dengan fase lapisan-lapisan tersebut terdeformasi karena aktifitas tektonik yang bekerja, hal inilah yang membuat perubahan dip yang signifikan menjadi sekitar  $30^{\circ}$  sampai  $70^{\circ}$  aktifitas dicekungan ini memang terkenal fluktuaktif dan aktif dalam pengangkatan perlipatan maupun pensesaran, sehingga muncul dengan posisi yang sudah terdeformasi (Gambar 17.)



**Gambar 17.** Fase terangkat dan terdeformasi (Penulis,2014)

Proses tektonik yang terjadi pada kala itu, hal mengakibatkan berkembangnya struktur lipatan mayor post-depositional berarah Timurlaut - Baratdaya yang ada di geologi regional daerah telitian diikuti pula dengan terbentuknya struktur kekar yang merupakan struktur penyerta saat terbentuknya struktur lipatan antiklin.



Gambar 18. Kondisi sekarang (Penulis, 2014)

Pada Holosen sampai sekarang (Resen) terjadi proses eksogen pada daerah penelitian. Proses geologi seperti pelapukan, erosi, transportasi dan sedimentasi yang terus berlangsung mengakibatkan terbentuknya bentang alam dan endapan rawa yang tampak hingga sekarang (Gambar 18.).

**IDENTIFIKASI TOTAL SULFUR**

Identifikasi material PAF/NAF menjadi pengaruh tersendiri dari kehadiran total sulfur di daerah penelitian, sehingga perlu dirunut dulu asal muasalnya serta perhitungannya menurut data sekunder yang ada di perusahaan (Tabel 2.)

Tabel 2. Total sulfur seam batubara

| Section A-A' | Section B-B' |                         |
|--------------|--------------|-------------------------|
| 0,89         | 0,85         |                         |
| W320         | W320         |                         |
| 2,27         | 0,95         |                         |
| w310         | w310         |                         |
| 0,84         | 0,85         |                         |
| Wc           | Wc           |                         |
| 0,71         | 1,86         |                         |
| Wc           | W221         | Satuan batulempung      |
| 0,71         | 2,46         |                         |
| W221         | W210         | Satuan batupasir-kuarsa |
| 2,02         | 0,076        |                         |
| W210         | W100         | Seam batubara           |
| 0,123        | 0,076        |                         |
| W100         | W111         |                         |
| 0,044        | 0,085        |                         |
| W111         | W112         |                         |
| 0,030        | 0,077        |                         |
| W112         | W113         |                         |
| 0,109        | 0,060        |                         |
| W113         |              |                         |
| 0,184        |              |                         |

Data-data dari tabel lampiran akan dirangkum berdasarkan total sulfurnya dari marker kehadiran batubara. Data bor yang diberikan terdapat 7 titik berdasarkan yang dilewati oleh lokasi MS, sehingga dapat terwakili antara data permukaan dengan data bawah permukaan (Tabel 3)

Tabel 3. Total sulfur di daerah Penelitian

| Nama Seam<br>PIT. Wara 1 | Total Sulfur<br>(TS_adb)<br>(wt %) | Total Sulfur<br>(TS_adb)<br>(wt %) |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| W320                     | 0,28                               | 0,22                               |
| W310                     | 0,30                               | 0,24                               |
| W300                     | 0,23                               | 0,19                               |
| W220                     | 0,27                               | 0,21                               |
| W210                     | 0,23                               | 0,19                               |
| W120                     | 0,12                               | 0,10                               |
| W110                     | 0,11                               | 0,09                               |
| W100                     | 0,11                               | 0,09                               |
| W111                     | 0,13                               | 0,18                               |

Satuan batulempung
  Satuan batupasir kuarsa

Kehadiran kombinasi antara lapisan pembawa batubara yang berpotensi membawa air asam tambang dengan kondisi yang sudah terekspos serta mengalami proses-proses eksternal, mempunyai ciri adalah mempunyai tingkat keasaman yang tinggi ( $< \text{pH } 5$ ), airnya keruh, berwarna gelap, dan jika dalam batuan akan memperlihatkan struktur *Yellow Boy* (Gambar 19& 20).

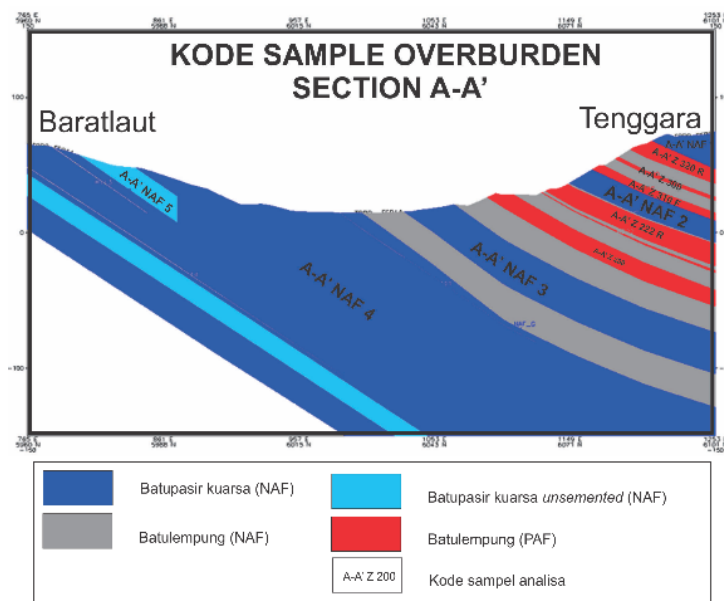


Gambar 19. Akumulasi air asam tambang di pit



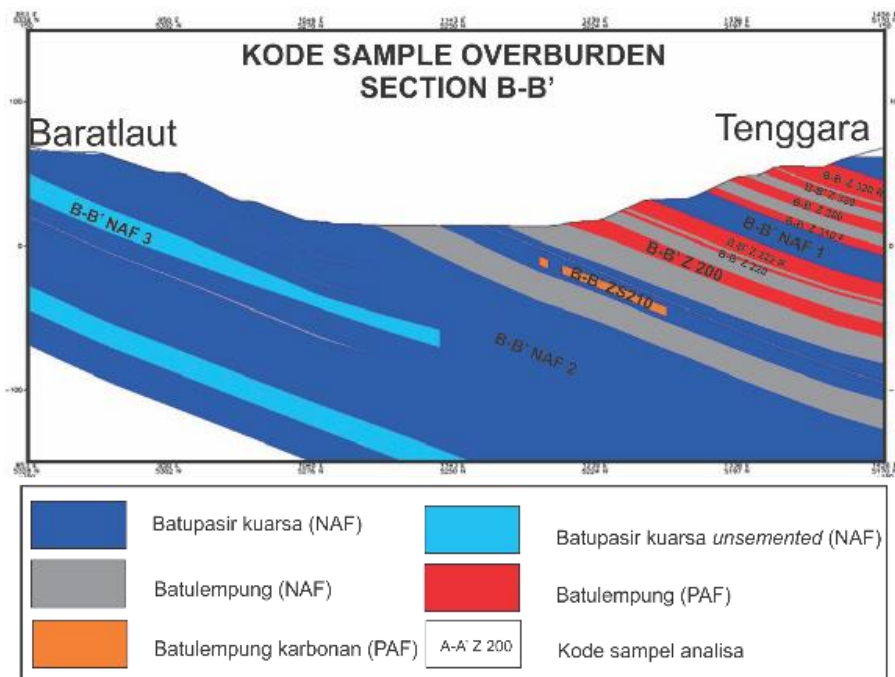
Gambar 20. Singkapan *Yellow boy*

Setelah masuk data total sulfur *overburden* maupun total sulfur tiap *seam* batubara, penulis membagi tiap-tiap *overburden* tersebut menjadi klasifikasi material yang termasuk PAF atau termasuk NAF, dengan komparasi data bor (Gambar 21 & 22).



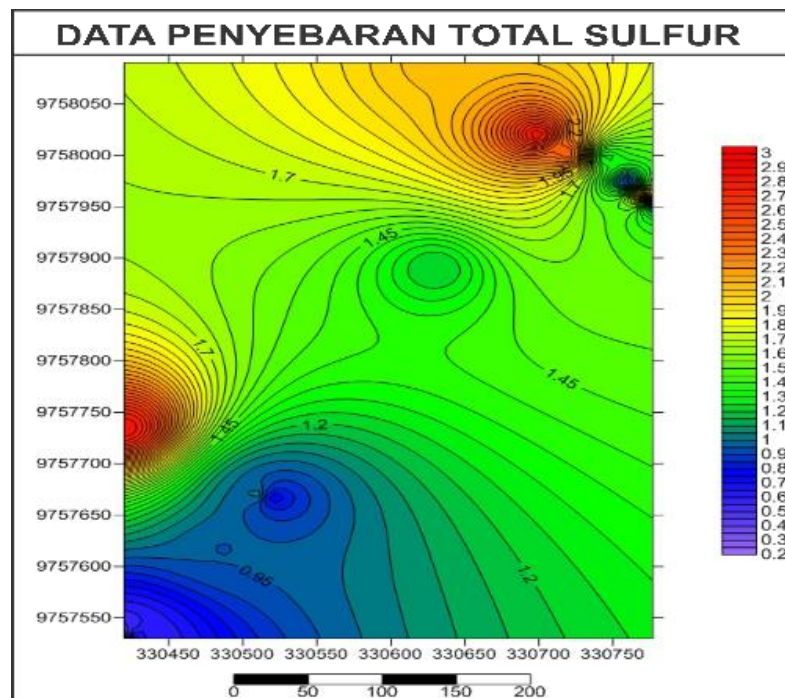
Gambar 21. Penampang A-A' dari material PAF/NAF

Dari data yang dapat dispesifikasi tersebut, maka langkah selanjutnya identifikasi secara lapangan untuk pengambilan sampel batuan dari data-data di atas. Distribusi sulfur banyak bervariasi secara lateral maupun vertikal. Pada umumnya kandungan sulfur tinggi di bagian atas lapisan batubara dan di bagian bawah lapisan batubara. Dari hasil data sekunder perusahaan yang ditunjang dengan menggunakan *channel sampling*.

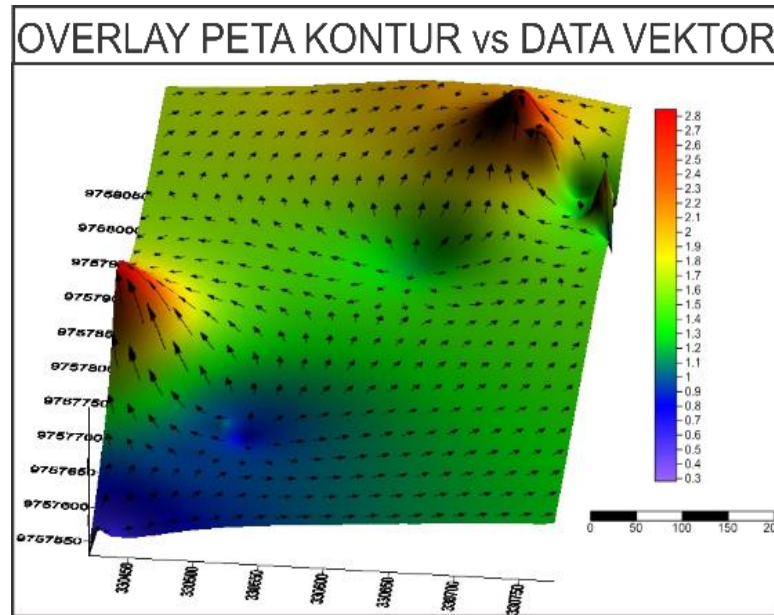


Gambar 22. Penampang A-A' dari material PAF/NAF

Distribusi penyebaran total sulfur, akhirnya didapatkan hasil setelah di sintesakan menggunakan *Software Surfer 11*, dari titik-titik pengamatan yang dilaksanakan dalam pengujian serta penyebaran secara langsung di lapangan dengan parameter satuan batuan yang ada di dalam PIT yaitu satuan batupasir-kuarsa dan satuan batulempung, maka didapatkan hasilnya sebagai berikut (Gambar 23 dan Gambar 24) :



Gambar 23. Data penyebaran total sulfur



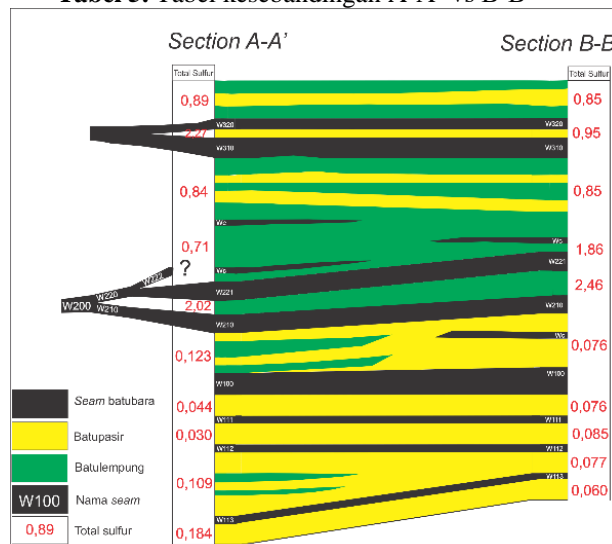
Gambar 24. Arah (Vector) dari kecenderungan distribusi total sulfur

Dari kedua gambar diatas dapat di analisa bahwa kehadiran total sulfur itu mempunyai kecenderungan untuk berada pada satuan batuan lempung yang litologinya tepat berada di antara *roof* dan *floor* batubara, kecenderungannya akan terlihat mengarah ke secara dominan semakin ke arah Tenggara. Hipotesis ini didukung dari rangkuman data total sulfur yang berada pada lapisan pengapit di tiap-tiap *seam* batubara, mengalami perbedaan yang signifikan pada satuan batupasir-kuarsa dengan batulempung Pada satuan batupasir kuarsa Warukin atas, memiliki kecenderungan mempunyai konsentrasi total sulfur yang relatif rendah, grafik mencolok nilai prosentase total sulfur terlihat pada batupasir yang memiliki sisipan nodul-nodul siderite yang tidak menerus, konsentrasi terendah berada pada batupasir kuarsa yang *unsemented* (lihat tabel 4 & 5)

Tabel 4. Tabel kualitas batubara daerah telitian

| Coal Series | Total Moisture | Ash Content | Total Sulfur | Nilai Kalori | HGI |
|-------------|----------------|-------------|--------------|--------------|-----|
| W320        | 43,25          | 4,24        | 0,11         | 3593         | 64  |
| W310        | 40,40          | 2,39        | 0,21         | 3878         | 53  |
| W221        | 39,64          | 4,04        | 0,35         | 3923         | 58  |
| W210        | 39,03          | 2,39        | 0,2          | 4065         | 63  |
| W100        | 38,23          | 2,33        | 0,12         | 4124         | 67  |

Tabel 5. Tabel kesebandingan A-A' vs B-B'



**ASOSIASI KEHADIRAN MINERAL LEMPUNG TERHADAP LINGKUNGAN PENGENDAPAN**

Dari hasil analisa PIMA (Tabel 6.) yang dilakukan berdasarkan keberagaman mineral serta distribusinya yang dijumpai pada daerah telitian memberikan gambaran bahwa mineral lempung sangat mudah sekali mengalami perubahan-perubahan yang signifikan, fase terbentuknya biasanya diakibatkan karena adanya proses pelapukan dari batuan vulkanik yang bersifat asam, dan di fase sekunder terbentuknya biasanya karena akibat terkontaminasi air laut yang mengandung sulfat sekunder yang masuk melalui celah/rongga dari tubuh batuan itu sendiri.

Mineral lempung dapat berubah-ubah dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu, perubahan iklim, temperatur dan tekanan, sehingga menghasilkan asosiasi mineral lempung yang khas. Grafik distribusi serta asosiasinya terlampir.

**Tabel 6.** Asosiasi daerah telitian

| Kode sample | Asosiasi Mineral                         |   |
|-------------|--|---|
| A-A' Z-200  | Kaolinite<br>Monmorilonite               |   |
| B-B' Z-222  | Kaolinite<br>Monmorilonite<br>Dickite    |   |
| A-A' Z-310F | Kaolinite<br>Halloysite                  |   |
| A-A' Z-300  | Kaolinite                                |   |
| B-B' Z-200  | Kaolinite<br>Halloysite<br>Monmorilonite |   |
| B-B' Z-300  | Kaolinite<br>Halloysite<br>NH Alunite    | Kelompok Mineral Lempung<br>Kaolinite $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| B-B' Z-220  | Kaolinite<br>Halloysite                  | Kelompok Mineral Lempung<br>Smectite                      |
| B-B' Z-320  | Kaolinite<br>Halloysite<br>Gypsum        | Kelompok Mineral sulfat<br>Alunite $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$  |
| B-B' Z-310F | Monmorilonite<br>Kaolinite               | Kelompok mineral sulfat<br>( $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$ )     |

**HUBUNGAN KEHADIRAN SULFUR DENGAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN.**

Secara regional, kandungan sulfur dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan. Kandungan sulfur di *Transisional Lower Delta Plain* akan lebih tinggi dibandingkan dengan di lingkungan *Upper Delta Plain-Fluviatil*, karena bila pada proses pematubaraan berlangsung tiba-tiba ada endapan *interdistributary bay* yang menutupi endapan gambut, maka bakteri-bakteri yang ada di dalam batubara akan mati, salah satu penyebab mengapa sulfur terkonsentrasi di bagian lapisan batubara antara kontak *roof* maupun *floor* yang masing-masing mempunyai kandungan sulfur tersendiri. Sulfur akan terikat dengan mineral-mineral yang berasal dari sublingkungan pengendapan tersebut.

**KESIMPULAN**

1. Dampak dari lingkungan pengendapan terhadap *overburden* lapisan batubara yaitu berupa kandungan dari aspek kimiawi kandungan mineral lempung yang spesifik serta total sulfur yang dikandung menyebabkan terjadinya pengkayaan unsur-unsur kimia sulfida yang berpotensi sebagai pembawa air asam tambang.
2. Pada daerah telitian terbentuk oleh proses siklus transgresi dan regresi, maka dari itu interpretasinya adalah semakin ke Tenggara (ke litologi yang lebih muda) akan memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi yang ditinjau dari litologi yang memiliki fraksi halus dan keterdapatn nodul sideritik dan serbuk mineral pirit dan kandungan mineral lempung yang berasosiasi dengan lingkungan *marine*.

**DAFTAR PUSTAKA**

Asminco Exploration and Mining., 1999, *Adaro Resources Report*, PT.Adaro Indonesia (*unpublish*).

Brahmantyo, B dan Bando., 2006, Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang, *Jurnal Geoaplika* (2006) Volume 1, Nomor 2, hal. 071 – 078.

Cassagrande, D.J., 1987, *Sulphur in peat and coal; in coal and coal bearing strata*, U.K. Geology Society, p 33-38.

Diessel, C.F.K., 1992, *Coal Bearing Depositional System*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg.

Heryanto, R. dan Sanyoto P., 1994, *Peta Geologi Regional Lembar Amuntai, Kalimantan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.

- Horne, J.C. Ferm, J.C, Caruccio, F.T, and Baganz, B.P., 1978, *Depositional Models in Coal Exploration and Planning in Appalachian Region*, AAPG Buletin 62:2379-2411, Department of Geology, University of South Carolina, America.
- Howard A.D., 1967, *Drainage Analysis in Geologic Interpretation*. A Summation, AAPG Bull, Vol. 51, p. 2246-2259.
- Kuncoro, P. B., 1996, *Model Pengendapan Batubara Untuk Menunjang Eksplorasi Dan Perencanaan Penambangan*, Program Pascasarjana, ITB, Bandung.
- Ross, C., 1984, *Geology of Coal*, Hutchinsons Ross Publishing Company.
- Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996: Sandi Stratigrafi Indonesia, dipublikasikan oleh Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta.
- Satyana, A.W. and Silitonga, P.D., 1994, Tectonic Reversal in East Barito Basin, South Kallmantan : *Consideration of the Types of Inversion Structures and Petroleum System Significance*, Proceedings Indonesian Petroleum Association 23<sup>rd</sup> Annual Convention, IPA94-1.1-027.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, The Hague
- Van Zuidam, R.A., 1983, *Guide to Geomorphology Aerial Photographic Interpretation and Mapping*, ITC, Enschede The Netherlands.
- Verstappen, H., 1985. *Applied Geomorphology : Geomorphological Surveys for Environmental*. Amsterdam : Elsevier. xi + 473 pp.
- Williams, H., Turner F. J., and Gilbert C. H., 1954. *Petrography an Introdution to the Study of Thin Sections*. W. H. Freeman and Company, San Fransisco.