

## BATUAN SEDIMEN HALUS KELOMPOK MANDAI BERDASARKAN ANALISIS SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM)

### *FINE GRAINED SEDIMENTARY ROCKS OF THE MANDAI GROUP, BASED ON SCANNING ELECTRON MICROSCOPE ANALYSIS*

Oleh :

M. H. Hermiyanto Zajuli

Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung

#### Abstrak

Cekungan Ketungau bagian timur yang lebih dikenal dengan Sub Cekungan Mandai merupakan suatu cekungan sedimen yang terbentuk sejak awal Tersier dan terjadi bersamaan terbentuknya Cekungan Ketungau dan Cekungan Melawi, yang berada di bagian selatan daerah penelitian. Contoh batuan sedimen halus Kelompok Mandai terdiri dari batulumpur sebanyak empat contoh dan batulanau sebanyak tiga contoh batuan. Berdasarkan analisis Scanning Electron Microscope (SEM) tujuh contoh batuan sedimen halus Kelompok Mandai tersusun oleh mineral-mineral lempung bervariasi illit ( $K_{1-1.5}Al_4(Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20})(OH)_4$ ), smektit ( $(1/2Ca)_{0.7}(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20} \cdot nH_2O$ ) dan kaolinit ( $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ ). Unsur lain adalah fraksi halus dari silika atau kuarsa, felspar, dan algae (*botryococcus*). Proses diagenesis yang terjadi di daerah ini menunjukkan bahwa batuan sedimen halus Kelompok Mandai telah mengalami diagenesis kategori mesodiagenesis. Batuan sedimen halus tersebut selama pengendapannya pernah tertimbun sampai ke kedalaman dari 2500 sampai 4000 m dengan suhu 80°-120°C.

Kata kunci : Cekungan Ketungau, SEM, diagenesis, batulanau, batulumpur

#### Abstract

*The eastern part of the Ketungau basin that is generally known as the Mandai sub-basin is a sedimentary basin that had been formed since early Tertiary. Fine-grained sedimentary rocks taken from the Mandai Group comprising four samples of mudstone and three samples of siltstone. Based on Scanning Electron Microscope analysis seven samples fine sediment of the Mandai group consist of illite ( $K_{1-1.5}Al_4(Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20})(OH)_4$ ), smectite ( $(1/2Ca)_{0.7}(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20} \cdot nH_2O$ ) and kaolinite ( $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ ). Other minerals are silica or fine-grained quartz, feldspar, and algae (*botryococcus*). Diagenesis processes show that fine sediment of the Mandai group have undergone a diagenetic process within an mesodiagenetic level. Fine sediments have been buried at more than 2500 - 4000 m depth by temperature varying from 80 to 120°C.*

*Key words : Ketungau Basin, SEM, diagenesis, siltstone, mudstone*

#### Pendahuluan

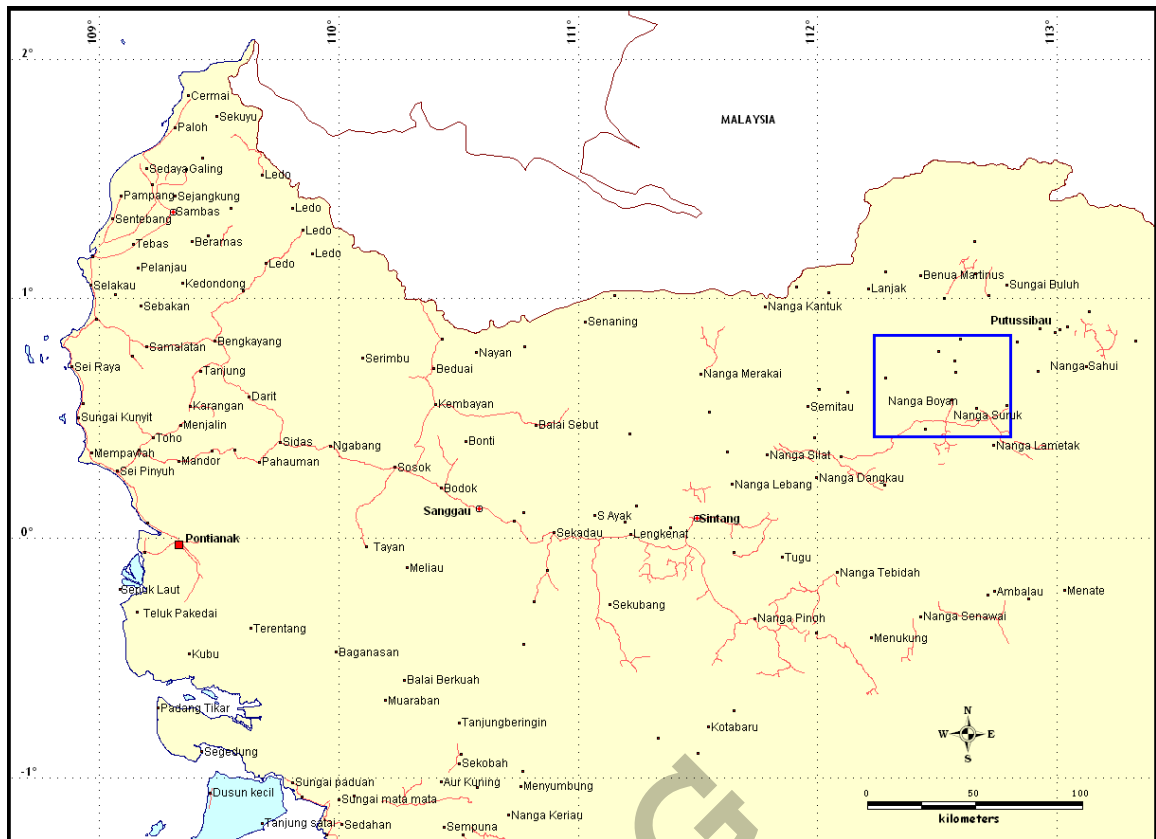
Daerah penelitian (Gambar 1) terletak di Cekungan Ketungau bagian timur di daerah Kalimantan Barat yang merupakan cekungan interkontinen yang secara tektonik merupakan bagian dari Paparan Sunda. Cekungan tersebut juga dikenal sebagai Sub Cekungan Mandai. Cekungan ini terbentuk sepanjang batas selatan kompleks. Selama Eosen Akhir dan terpisah oleh zona melange-ofiolitik Lupar- Lubok Antu dan Boyan. Beberapa sedimen laut Kapur, yang tersingkap disekitar cekungan merupakan sedimen cekungan busur depan Kapur, bagian dari Busur Schwaner.

Peta geologi skala 1:250.000 beserta laporannya yang mencakup Cekungan Ketungau yakni Peta Geologi Lembar Sintang (Heryanto dr., 1993), Lembar Nangaobat (Noya dr., 1993), Lembar Putussibau (Pieters dr., 1993), dan Lembar Pegunungan Kapuas (Surono dr., 1993) yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi digunakan sebagai acuan geologi dalam penelitian ini.

#### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran tentang karakteristik batuan sedimen halus Kelompok Mandai baik meliputi karakteristik fisik, proses diagenesis, dan implikasinya terhadap sejarah penimbunan batuan.

Naskah diterima : 26 April 2013  
Revisi terakhir : 02 Agustus 2013



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian [kotak warna biru] yang secara administratif terletak di Kabupaten Kapuas Hulu, Propinsi Kalimantan Barat.



Gambar 2. Peta geologi Cekungan Ketungau- Mandai dan sekitarnya. (modifikasi dari Pieters dr., 1993, Surono dr., 1993, Noya dr., 1993 dan Heryanto dr., 1993).

### Metoda Analisis

Metoda analisis menggunakan analisis Scanning Electron Microscope (SEM). Metode dan prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut: sebelum contoh diuji dan diamati, terlebih dahulu dipreparasi. Contoh dipotong hingga ukuran 20 mm<sup>3</sup> dan dibersihkan dari debu dengan semprotan udara secara hati-hati. Contoh ditempelkan dengan lem konduksi mengandung bubuk metal di atas tataan tembaga (stub) dan selanjutnya di lapisi secara elektrolisis dengan "emas" di dalam "vacuum evaporative coater".

Sebagaimana referensi yang dipakai dalam analisis adalah Pittman (1979), Wilson dan Pittman (1979). Sifat fisik semua contoh dapat dilihat secara tiga dimensi (3-D) hubungan butiran, matrik lempung, semen, tekstur dan struktur, jenis mineral dan konfigurasi, orientasi dan ukuran rongga-rongga hingga berukuran mikron.

### Stratigrafi

#### Kelompok Mandai

Nama Kelompok Mandai merupakan nama baru yang diambil dari nama Sungai Mandai oleh Pieters drr. (1993) di lembar Putussibau. Penyebaran kelompok ini di selatan dan timur Cekungan Mandai dari dataran Kecamatan Danau. Ketebalannya mencapai 1000 m - 2700 m.

Secara umum Kelompok Mandai terdiri dari tiga fasies (Hermiyanto dan Suyono, 2009) yaitu :

#### 1. Fasies batulumpur

Kelompok Mandai ini terdiri dari perselingan batulanau, batulumpur, dan batupasir berbutir sangat halus sampai sedang. Pada umumnya arah kemiringan lapisan berarah N 300° - 345°E, dengan besar kemiringan 16° - 21°. Semua batuan mempunyai bidang perlapisan yang baik. Ketebalan perlapisan batuan bervariasi 2 - 70 cm.

Batulanau umumnya berwarna coklat keabu-abuan, komposisi terdiri dari butiran kuarsa, karbonan dengan struktur sedimen laminasi, ketebalan lapisan bervariasi antara 7-50 cm. Batupasir, berwarna abu-abu kehijauan, ukuran butir halus sampai sedang, komposisi kuarsa, dan cerat karbon. Struktur sedimen yang berkembang adalah lenticular laminasi, laminasi, dengan ketebalan bervariasi 7-60 cm

#### 2. Fasies batupasir kuarsa

Batupasir kuarsa, berwarna coklat muda, dengan ukuran butir sedang sampai kasar; bagian bawah mempunyai ukuran butir lebih kasar sampai konglomeratan. Komposisi mineralogi terdiri atas kuarsa, dan mineral lempung. Struktur sedimen dalam batupasir kuarsa masif, bagian bawah bergradasi normal (*normal graded bedding*), silang-siur, wavy laminasi dan masif. Arah silang siur bervariasi dari 25° - 100°. Pada bagian bawah terdapat fragmen dari lempung berwarna putih keabu-abuan. Ketebalan lapisan batupasir bervariasi dari 50 - 700 cm.

#### 3. Fasies batubara

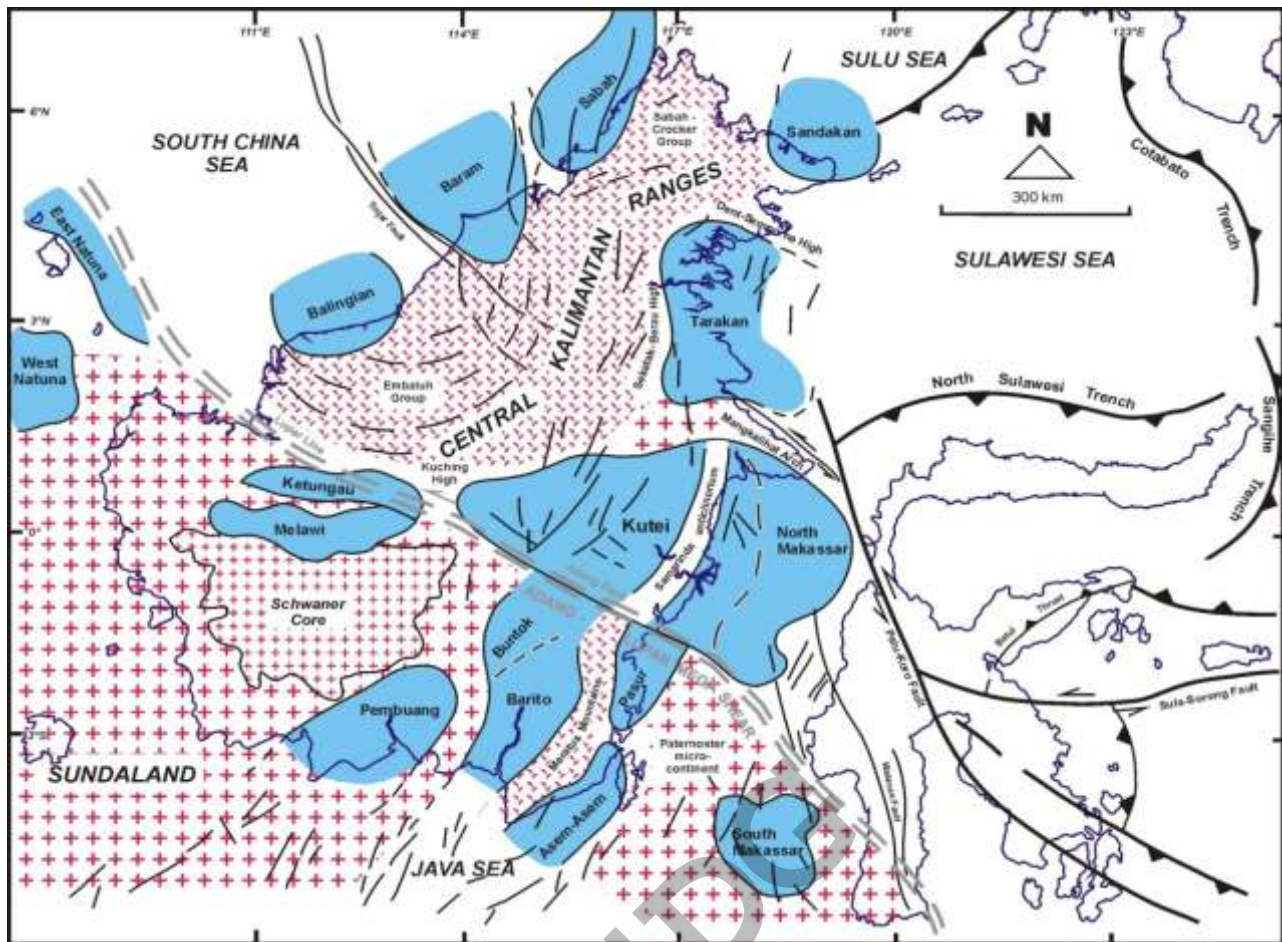
Fasies batubara dicirikan oleh perselingan batubara, batulempung dan serpih batubaraan (*coally shale*). Fasies ini dapat dijumpai di daerah Tanjung Harapan, Sungai Boyan. Batubara, hitam, perselingan antara *dull* sampai *brighth banded*, kandungan sulfur rendah, mineral pengotor berupa mineral lempung, dan ketebalan 10 - 15 cm.

Serpih batubaraan (*coally shale*), coklat kehitaman, campuran antara batubara *dull* dengan serpih yang mempunyai kenampakan fisik lapuk, komposisi mineral lempung, dan karbon dengan ketebalan antara 15 cm. Batupasir umumnya berbutir halus-menengah; bersisipan batulumpur, lanau dan setempat terdapat lapisan tipis batubara. Kemungkinan Kelompok Mandai ini dinasabahkan dengan satuan-satuan berumur Eosen Akhir di Cekungan Ketungau dan Melawi. Kelompok Mandai diendapkan pada lingkungan fluvial, yang kemungkinan berangsur menjadi ke tepian laut. Sumber asalnya dari kompleks orogen ke utara dan alas meta dan busur magmatik felsik ke selatan. Kelompok Mandai ini berumur Eosen Akhir.

#### Tektonika

Cekungan Ketungau dialasi oleh batuan malihan (sekis dan filit) yang berumur Jura-Trias di bagian utara, sedangkan bagian selatan dibatasi oleh kumpulan batuan berumur Permo-Trias yang merupakan alas sedimentasi Tersier. Konfigurasi dari Cekungan Melawi Ketungau dikontrol oleh aktifitas tektonik pada awal Kapur dan Paleosen.

Secara umum, aktifitas tektonik di daerah ini disebabkan oleh pergerakan Lempeng Eurasia ke arah tenggara. Pergerakan Lempeng Eurasia ini terjadi pada Kapur - Awal Tersier mengakibatkan



Gambar 3. Tektonik regional di Cekungan Ketungau, Mandai dan Melawi. (BPPKA, Pertamina, 1997)

struktur / kondisi geologi yang kompleks di daerah cekungan ini. Aktifitas tektonik Kapur mendorong terbentuknya konfigurasi cekungan yang dibatasi oleh tinggian (sekis dan filit) dari Formasi Semintau yang berumur Trias-Jura. Formasi Selangkai diendapkan di atas batuan alas pada Kapur.

Peristiwa tektonik berikutnya terjadi pada akhir Kapur menyebabkan terbentuknya tinggian dan lembah. Batuan berumur Permo-Trias memisahkan Cekungan Melawi di selatan dan Cekungan Ketungau di utara. Aktifitas tektonik berikutnya terjadi pada Neogen yang menyebabkan Formasi Silat dan Tebidah terlipat dan menghasilkan Sinklin Ketungau, Sinklin Silat dan Sinklin Melawi serta Antiklin Sintang yang terbentuk sepanjang batas selatan kompleks. Selama Eosen Akhir dan terpisahkan oleh zona melange-ofiolitik Lumar- Lubok Antu dan Boyan. Beberapa sedimen laut Kapur tersingkap di sekitar cekungan merupakan sedimen cekungan busur depan Kapur bagian dari busur Schwaner. Cekungan

Kutai berkembang di sepanjang bagian sisi timur Kalimantan dari sistem pemekaran Selat Makassar sedangkan Cekungan Melawi-Ketungau bagian atas berada di bagian busur depan hingga busur dalam (*intra-arc*) volkanisme Tersier.

#### Hasil Penelitian

Batuan sedimen halus Kelompok Mandai di daerah penelitian ini terdiri dari perselingan batulanau, batulumpur, dan batupasir berbutir sangat halus sampai sedang. Secara garis besar arah kemiringan lapisan berarah N 300° - 345° E, dengan besar kemiringan 16°- 21°. Semua batuan mempunyai bidang perlapisan yang baik. Ketebalan perlapisan batuan bervariasi antara 2 dan 70 cm.

Batulanau umumnya berwarna coklat keabu-abuan, komposisi terdiri dari butiran kuarsa, karbonan, dengan struktur sedimen laminasi sejajar, ketebalan lapisan bervariasi antara 7 - 50 cm (Gambar 4).



Gambar 4. Perselingan antara batupasir sangat halus dengan batulanau di Sungai Boyan.

Batuan sedimen halus ini oleh Hermiyanto dan Suyono (2009) digolongkan ke dalam kelompok fasies batulumpur.

#### *Jenis mineral dan unsur Lain*

Pengujian laboratorium SEM memberi gambaran umum jenis batuan yang dianalisis yaitu jenis klastik halus batulanau sebanyak 3 (09 AL 01 A, 09 MH 08 E dan 09 NO 04), dan batulumpur sebanyak 4 (09 NO 25 A, 09 NO 28, 09 NO 37 dan 09 NO 45).

Secara umum ke-tujuh contoh di atas disusun oleh mineral-mineral lempung bervariasi illit ( $K_{1-1.5}Al_4(Si_{7.6-5}Al_{1-1.5}O_{20})(OH)_4$ , smektit  $(1/2Ca)_{0.7}(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}.nH_2O$  dan kaolinit  $(Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ . Unsur lain adalah fraksi halus dari silika atau kuarsa, felspar, algae (*botryococcus*) (Gambar 5) pada contoh 09 AL 01 A yang berupa batulanau dan adanya kenampakan zeolit (Gambar 6) pada contoh 09 NO 37. Jumlah bahan organik ini mempunyai porsi mulai dari <1% terhadap volume semua unsur yang ada di dalam contoh.

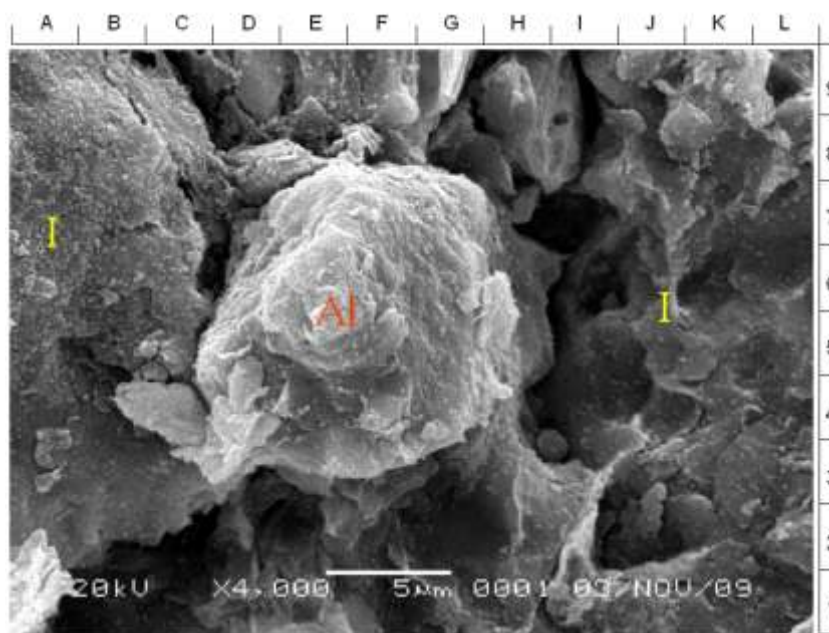
Batulanau terdiri atas illit, smektit dan kaolinit dengan fraksi halus-sangat halus kuarsa atau silika, dan felspar, serta mengandung bahan organik berupa algae (Gambar 5). Sedangkan batulumpur tersusun oleh komponen kuarsa, felspar dan mineral lempung smektit, kaolinit dan illit.

#### *Karakter dan Sifat fisik*

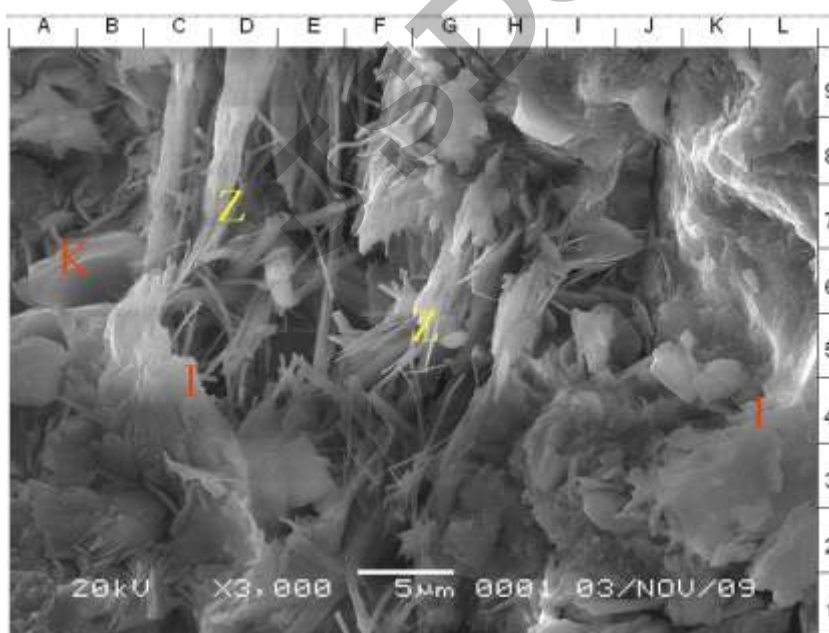
Pada umumnya, semua contoh batuan yang diamati dengan metoda SEM bersifat kompak dan padat. Karakter yang muncul dari batulanau adalah adanya tekstur crenulated dan menyerpih dari mineral lempung illit (Gambar 7), tekstur lembaran kaolinit dan pelarutan dari mineral felspar (Gambar 8). Batulumpur dicirikan adanya karakter dari illit yang mempunyai tekstur *crenulated* (Gambar 9), proses pelarutan pada felspar dan kehadiran kuarsa autigenik (Gambar 10).

#### *Diagenesis*

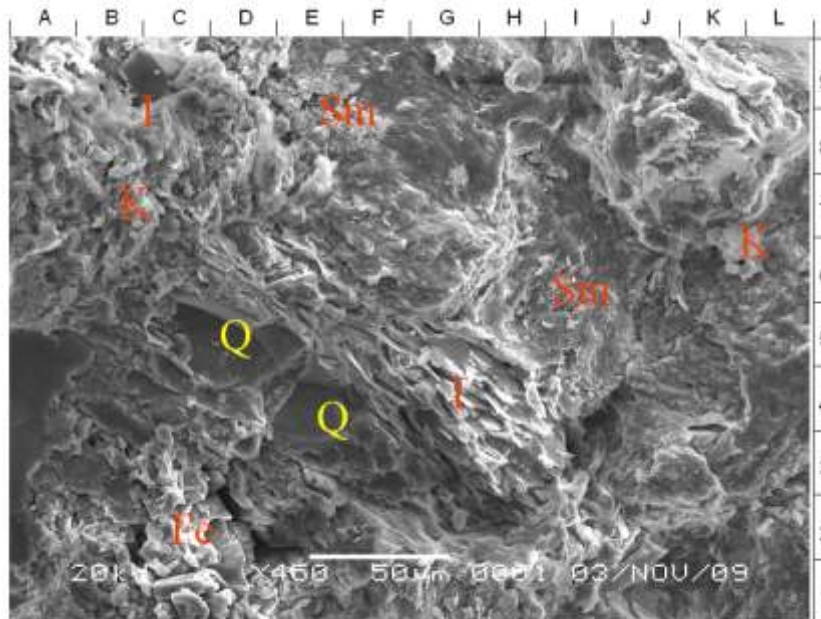
Berdasarkan hasil analisis SEM yang meliputi kehadiran mineral lempung jenis smektit, kaolinit, illit dan kuarsa autigenik, mengindikasikan bahwa tingkat diagenesis dari ke tujuh contoh batuan tersebut enam batuan termasuk tingkat mesodiagenesis tengah dengan dicirikan adanya proses pelarutan dan satu contoh batuan (09 NO 37) termasuk ke dalam tingkat mesodiagenesis akhir yang dicirikan oleh kehadiran kuarsa autigenik. Hal tersebut sesuai dengan tingkat diagenesis batuan sedimen menurut Burley dr. (1987), yang menyatakan bahwa tingkat diagenesis seperti itu termasuk pada tingkat diagenesis kelompok II yang setara dengan tingkat diagenesis mesogenetik semimature Schmidt dan Mc Donald (1979).



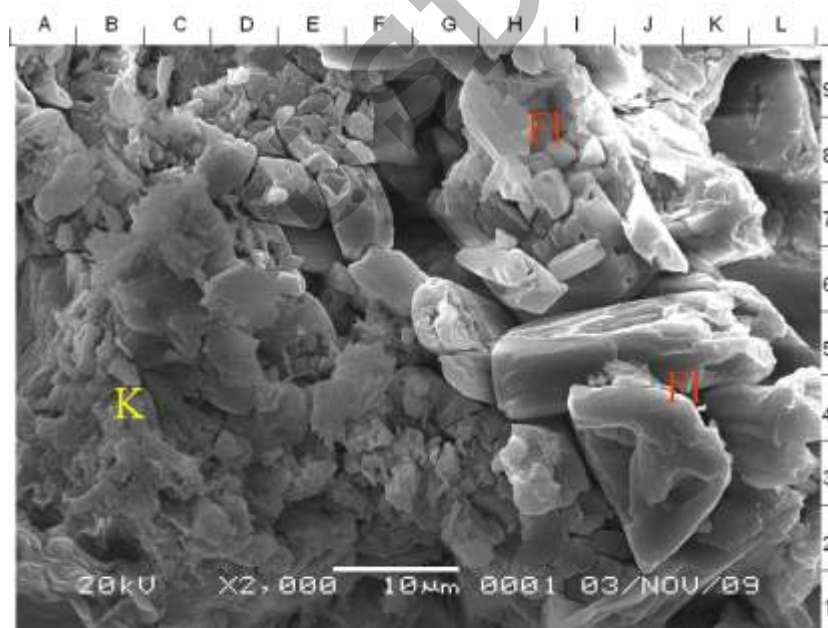
Gambar 5. Foto SEM dari batulanau (09 AL 01 A) yang menunjukkan algae (botryococcus)/Al dikelilingi illit (I) Perbesaran 4000 x.



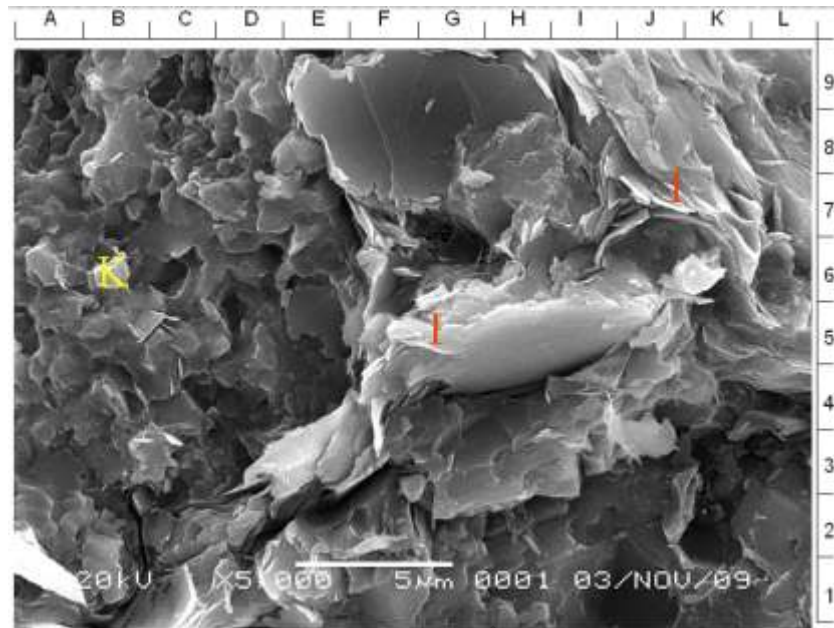
Gambar 6. Foto SEM dari batulumpur (09 NO 37) yang menunjukkan kehadiran zeolit (Z). Perbesaran 3000 x.



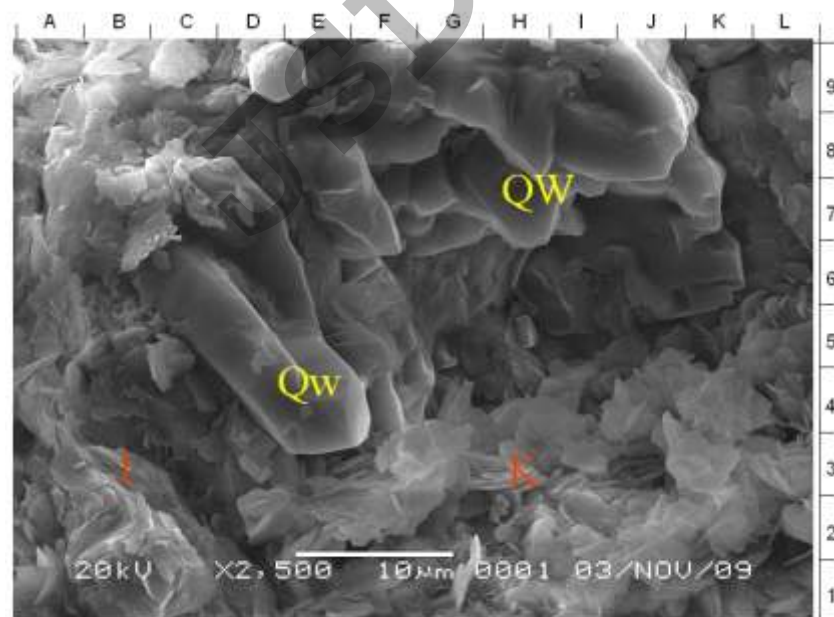
Gambar 7. Foto SEM dari batulanau (09 NO 04) yang menunjukkan adanya tekstur menyerpih dari Illit (I). Perbesaran 400 x.



Gambar 8. Foto SEM dari batulanau (09 NO 04) yang menunjukkan proses pelarutan pada felspar (FI). Perbesaran 2000 x.



Gambar 9. Foto SEM dari batulumpur (09 NO 28) yang menunjukkan tekstur crenulated dari illit (I). Perbesaran 5000 x.



Gambar 10. Foto SEM dari batulumpur (09 NO 37) yang menunjukkan kehadiran kuarsa autigenik (Qw). Perbesaran 2500 x.



Tabel 1. Hubungan antara tingkat diagenesis dengan kedalaman timbunan menurut Burley drr. (1987).

MUDROCK STAGE	SCHMIDT AND McDONALD	CLAY MINERAL CHANGES	ORGANIK MATTER	DIAGENETIC EFFECT IN SANDSTONES
10	Ia	EOGENETIC		Interaction with initial pore water
65	I	IMMATURE mainly mechanical reduction primary porosity by compaction	Microbial O <sub>2</sub> , So <sub>4</sub> Microbial Ch <sub>4</sub> Fermentation	Redistributed carbonate
		SEMIMATURE mainly chemical porosity reduction	Co <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O Thermal elimination	Kaolinite precipitates as pH rises
	II Maximum change	MATURE "A" secondary porosity	OIL	Leaching
90	III	MATURE "B" secondary porosity reduction	GAS	Feroan carbonate Quartz overgrowth
95		Improved clay crystallinity		
120	IV	SUPER MATURE only slight porosity	GAS	Chlorite replace kaolinite
160				Final reduction of remaining porosity
220	INCIPIENT METAMORPHISM Development of low grade greenschist facies phyllite with assemblage muscovite-albite-chlorite-quartz			Closed system

Proses diagenesis kelompok II terjadi pada temperatur 55° C sampai 80° C, dengan kedalaman 1750 sampai 2500 m (Tabel 1).

Diskusi

Batuan sedimen halus Kelompok Mandai mempunyai kecenderungan mempunyai komposisi yang hampir sama yaitu dicirikan oleh kandungan mineral kuarsa, felspar dan mineral lempung (smektit, kaolinit dan illit). Material organik yang terkandung di dalam batulanau yaitu berupa algae (*Botryococcus*) mencirikan suatu perbedaan lingkungan yang lebih mengarah ke lingkungan danau atau lakustrin, sedangkan batulumpur tidak mengindikasikan tentang hal tersebut. Kehadiran algae tersebut merupakan penciri yang membedakan bahwa batulanau dan batulumpur diendapkan pada fasies yang berbeda. Kehadiran mineral lempung yang hampir sama mengindikasikan bahwa batulanau dan batulumpur Kelompok Mandai telah

mengalami proses diagenesis yang sama.

Berdasarkan hasil analisis SEM menunjukkan bahwa batulanau dan batulumpur telah mengalami diagenesis tingkat mesodiagenesis yang menunjukkan bahwa batuan tersebut pernah tertimbun sampai kedalaman dari 1750 sampai 2500 m dengan suhu 55°-80°C (Burley drr., 1987).

Sejarah penimbunan terhadap kedua batuan tersebut bisa dilihat dari kehadiran mineral zeolit yang mencirikan adanya proses yang berhubungan dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Tekstur menyerpih pada illit juga merupakan indikasi bahwa batuan sedimen halus tersebut telah mengalami proses penimbunan yang cukup dalam. Kuarsa autigenik juga merupakan penciri dari proses batuan telah mengalami proses diagenesis tingkat mesodiagenesis tingkat menengah yang terutama dikontrol oleh proses reduksi kimiawi (Burley drr., 1987).

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa SEM, maka kehadiran mineral lempung yang berupa smektit, kaolinit, illit dan kuarsa autigenik, menunjukkan bahwa tujuh contoh batuan sedimen halus termasuk ke dalam tingkat diagenesis dari tingkat mesodiagenesis tengah sampai tingkat mesodiagenesis tingkat menengah. Batuan sedimen halus Kelompok Mandai tersebut pernah mengalami penimbunan sampai ke kedalaman 1750-2500 m dengan suhu 55°-80°C.

## Ucapan Terimakasih

*Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Wikanda atas segala bantuan yang diberikan selama pengambilan data.*

## ACUAN

BPPKA, Pertamina, 1997.

- Burley, S.D., Kantorowicz, J.D. & Waugh, B. 1987. *Clastic Diagenesis.*, In: Beaumont, E.A. and Foster, N.H., (compilers); Reservoirs II, Sandstones, Treatise of Petroleum Geology Reprint Series No. 4, AAPG., p.408-445.
- Heriyanto, R., William, P.R., Harahap, B., dan Pieters, P.E., 1993, *Peta Geologi Lembar Sintang, Kalimantan, Skala 1: 250.000*, Direktorat Geologi, Bandung.
- Hermiyanto, M.H., dan Suyono, 2009, Laporan Penelitian Dinamika Cekungan Ketungau, Kalimantan Barat, Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Noya, Y., Pieters, P.E., dan Surono. 1993. *Peta Geologi Lembar Nangaobat, Kalimantan, skala 1 : 250.000*, Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Pieters, P.E., Trail, D.S., and Supriatna, S, 1987. 'Correlation of Early Tertiary rocks across Kalimantan. *Proc. Indon. Petrol. Assoc.*, 16 Ann. Con., 291-306.
- Pieters, P.E., Surono, and Noya, Y., 1993. *Peta Geologi Lembar Putussibau, Kalimantan, Skala 1: 250.000*, Direktorat Geologi, Bandung.
- Pittman, E.D., 1979. *Porosity, diagenesis and productive capability of sandstone reservoirs*; SEPM Spec. Publ., No. 26, p. 159-173.
- Schmidt, V. dan Mc Donald, D.A., 1979. The rock of secondary in the course of sandstone diagenesis. *Soc. Econ. Pal. Min., Spec. Publ.* No.26, p 175-207.
- Wilson, M.D. and Pittman, E.D., 1979. Authigenetic Clays in sandstone: Recognized and influence on reservoir properties and palaeoenvironmental analysis, *Jour. Sed. Petrol.* No. 47, p. 3-31.
- Surono, Peiters P.E, dan Noya.Y.1993. *Peta Geologi Lembar Pegunungan Kapuas, Kalimantan, skala 1 : 250.000*, Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.