

## PERUBAHAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN SEDIMEN DI DANAU SENTARUM KALIMANTAN BARAT: SINYAL DARI MINERALOGI LEMPUNG

**W.S. Hantoro**

*Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI*

e-mail : wshantoro@gmail.com

Diterima redaksi : 7 November 20102, disetujui redaksi : 11 April 2013

### ABSTRAK

*Sejumlah 23 contoh lempung telah terpilih dari 8 m panjang contoh inti sedimen yang diperoleh dari Danau Sentarum di hulu Sungai Kapuas. Contoh-contoh tersebut dianalisis memakai XRD di State Laboratory of Marine Geology di Shanghai, Republic of China. Pengumpulan contoh ini merupakan bagian dari Program Westpac untuk meneliti mineralogi lempung dan turunannya di sekitar Paparan Tepi Kontinen Sunda dan Laut China Selatan. Sekuen dari bagian bawah ke atas, lempung berubah warna dari abu-abu gelap menjadi abu-abu berangsur menjadi berwarna coklat terang dan kuning terang. Sisipan tipis sedimen lebih kasar sebagai lempung lanauan, kadang-kadang sebagai lempung pasir muncul di bagian atas maupun bawah sekuen sedimen ini. Bagian bawah dari sekuen mengandung remah bahan karbon luruhan tumbuhan. Kaolinite sering muncul pada setiap contoh sebagai hasil pelapukan kimiawi batuan asam pada kondisi lembab dan hangat iklim tropis. Chlorite, illite dan quartz muncul dominan sebagai hasil pelapukan fisik hidrolisis lemah. Feldspar dan gibbsite kadang-kadang muncul. Hidrolisis lempung di lingkungan danau mengubah chlorite menjadi kaolinite dan illite. Perubahan sekuen stratigrafi dan mineralogi dari lempung menandakan bahwa lempung diluruhkan dari berbagai jenis batuan dan diendapkan kembali di lingkungan danau yang berubah lingkungannya sepanjang waktu.*

**Kata kunci:** Danau Sentarum, mineralogi lempung, perubahan lingkungan

### ABSTRACT

**ENVIRONMENTAL CHANGES IN LAKE SEDIMENT DEPOSITION SENTARUM WEST KALIMANTAN: THE SIGNAL OF CLAY MINERALOGY.** *About 23 clay samples had been selected from about 8 m length of core that had been collected from Lake Sentarum in the upper stream of Kapuas River, West Kalimantan. Those samples were analyzed by using XRD at State Laboratory of Marine Geology in Shanghai, Republic of China. The sample collection is part of the Westpac Program to study clay mineral and its derivation around Sunda Epicontinental Platform and South China Sea. Upward sequence of the core, samples change of the color from dark grey to grey then to light brown and light yellow. Streaks of coarser sediments as silty clay and some time fine sandy clay appear in the upper and lower core. Lower part samples of the core contain carbon material debris of the forest. Kaolinite appears in each sample as the product of chemical weathering of parent rocks in humid and warm of tropical climate. Chlorite, illite and quartz at uppermost sequence as product of weak hydrolisis physical weathering. Hidrolytic of clay mineral changes chlorite to kaolinite and chlorite. Change on the stratigraphic sequence and its clay mineralogy suggest that the clay had been derived from various type of the rocks and deposited in the lake that subject to be changed environmentally through time.*

**Keywords:** Lake Sentarum, clay mineralogy, environmental change

## PENDAHULUAN

Komposisi mineral dan geokimia lempung yang diluruhkan dan kemudian diendapkan sebagai formasi geologi, mungkin mencerminkan keadaan lingkungan pengendapan danau di masa lampau. Lingkungan dimana lempung telah diendapkan berada pada perubahan atau fluktuasi kondisi iklim (Singh *et al.*, 2005; Selvaraj & Chen, 2006; Liu *et al.*, 2007a, 2009). Pelapukan di kawasan tropis relatif lebih intensif sebagaimana terjadi di kawasan Asia Tenggara dengan laju curah hujan dan denudasi sangat tinggi (McLennan, 1993; Summerfield & Hulton, 1994). Tingginya kelembaban dan lebatnya hutan boleh jadi berpengaruh pada pelapukan kimia (Wang *et al.*, 2011), menghasilkan tingginya laju denudasi pada singkapan formasi geologi. Hasil pelapukan dan luruhan karbon di hutan terangkut dan kemudian diendapkan di danau. Tingginya curah hujan yang butirannya menumbuk langsung jatuh ke dasar hutan yang terbuka, mungkin membuyarkan stabilitas tanah (solum), tercungkil dan tererosi, terangkut sebagai bahan tersuspensi dalam air.

Sebagai hasil awal, diperoleh informasi mengenai komposisi mineral dari contoh lempung sekuen sedimen danau. Untuk sementara mungkin dapat membantu menafsirkan keadaan lingkungan pengendapan danau di masa lampau saat bahan lempung terbentuk dan diendapkan pada suatu kondisi iklim yang berubah.

Danau Sentarum menempati suatu luasan cekungan kawasan bergunung di bagian hulu suatu daerah aliran Sungai Kapuas yang membentang dari pedalaman di Kalimantan Barat hingga pantai di perairan Selat Karimata. (Bemmelen, 1949, Smit-Sibinga, 1953). Danau dikelilingi oleh bentang morfologi terjal namun sudah cukup lanjut dari berbagai jenis batuan, antara lain batuan malihan, terobosan, rempah gunung api serta batuan sedimen (Gambar 1). Danau Sentarum merupakan suatu danau dangkal

penahan air musiman luapan air Sungai Kapuas yang tertahan ketika musim hujan. Air genangan yang terjebak di danau berkurang energi kinetiknya yang selama ini membawa bahan tersuspensi, memungkinkan proses flokulasi bahan tersuspensi dan meluruh membentuk timbunan endapan di dasar danau tergenang, namun bukan di alur-alur air mengalir (Giesen, 1987). Pasir dan sedimen kasar lainnya mengendap di pinggir danau, di muara sungai yang kecepatan aliran airnya berkurang sehingga energi kinetik air tidak dapat lagi mendorong sedimen dan teronggok, sementara partikel suspensinya masih dapat terbawa hingga ke bagian tengah danau.

Penelitian awal ini sekedar menghasilkan mineralogi lempung berdasar analisis X ray deffraksi, tetapi cukup memperlihatkan perubahan komposisi mineral lempung yang menandai perubahan genesa pembentukan lempung. Perubahan pada warna dan mineralogi diduga akibat dari perubahan lingkungan pembentukannya. Analisis geokimia lebih lanjut, seperti komposisi kimia dan kandungan karbon diharapkan memberi penjelasan baru mengenai pembentukan lempung. Penentuan umur contoh diharapkan dapat dilakukan guna memperoleh kapan lempung terbentuk, atau dengan kata lain kapan lingkungan danau menghasilkan endapan lempung tersebut.

Air berasal dari kawasan luas tangkapan hujan sekeliling cekungan melalui alur pendek dan sempit yang bermuara di danau. Aliran air ini mengangkut suspensi pekat hasil erosi dan luruhan dari hutan di sekeliling danau. Danau, di sisi lain juga mengalami pengisian dari hulu Kapuas, tumpahan air hujan saat puncak musim basah yang tidak dapat segera mengalir melalui lembah sungai (Giesen, 1987).

Danau Sentarum merupakan cekungan danau penyimpan tangkapan air sementara dan bukan sebagai danau peyimpan air permanen. Perubahan tinggi

muka dapat mencapai 8 m antara puncak dua musim saat kondisi musim normal. Puncak musim hujan saat muka danau tinggi, menenggelamkan hingga setengah tinggi pepohonan di danau, namun saat musim kering meninggalkan cabang-cabang alur kering, bahkan alur utamanya. Perubahan muka air danau dapat melibatkan perubahan hingga 70% permukaan danau. Suhu air danau berkisar antara 27.0 hingga 32.7<sup>0</sup>C mengandung asam humik konsentrasi tinggi (Giesen 1987) oleh karenanya danau ini dikelaskan sebagai “tropical blackwaters” (St. John & Anderson, 1982).

Cekungan danau memiliki luas sekitar 6500 km<sup>2</sup>, dikelilingi gunung dan perbukitan Kapuas di utara, Muller di timur, Plato Madi di selatan dan Kelingkang di barat danau. Danau sebagai perluasan dataran banjir musiman dari sungai Kapuas (Smit Sibinga, 1953). Sebagai sungai paling keruh di Kalimantan, bahan tersuspensi di air sungai mulai mengendap ketika air sungai masuk ke dalam mengisi Danau Sentarum dan menjadi air genangan. (Giessen, 1987).

Kawasan danau secara geologi merupakan daerah relatif stabil sejak zaman Tersier, aktivitas magmatiknya diakhiri oleh terobosan batuan menengah dan penyebaran batuan vulkanik lainnya (Bemmelen, 1949, Peters *et al.*, 1993, Heryanto *et al.*, 1993). Pelapukan kuat dan denudasi lingkungan tropis menghasilkan bentang lanjut morfologi berupa perbukitan dan gunung relatif membundar di sekeliling danau. Struktur *hogbag* dan *mesa* terisolir di kawasan danau bagian tengah merupakan sisa struktur yang dihasilkan dari denudasi batupasir kuarsa dari Tersier Bawah dan Mesozoikum. Batupasir yang tersingkap di tengah danau ini terbentuk dari pengendapan luruhan intrusi batuan granitan dan berbagai intrusi batuan asam di Kalimantan bagian tengah. (Heryanto *et al.*, 1993). Singkapan batuan berumur Mesozoikum terdiri dari batuan malihan, batupasir kuarsa dan batuan pasiran lempungan. Batuan intrusi asam,

menengah dan basaltan serta satuan batuan slate (sabak) tersingkap membentuk tinggian di sisi utara danau. Bagian ini banyak menyumbang sedimen luruhan halus hingga kasar melalui anak-anak sungai yang banyak mengalir langsung ke danau.

Lapisan sedimen yang belum termampatkan terhampar luas di cekungan danau, yang tersingkap selama musim kering di dinding lembah alur dalam danau ketika air surut hingga 8 m lebih rendah. Sekuen kuartir ini umumnya terdiri dari endapan lempungan berlapis buruk yang diendapkan dalam kurun waktu sangat lama. Bagian atas dari sekuen sedimen terbentuk sejak Holosen merupakan luruhan dari hutan, membentuk endapan gambut (Heryanto *et al.*, 1993). Sedimentasi terus berlangsung saat air mengisi dan menggenangi danau, berupa bahan campuran dari muatan suspensi dari hulu Kapuas dan sekeliling danau. Di lain hal, erosi juga berlangsung saat sebagian dasar danau terbuka dan mengalami atau dilalui aliran permukaan, bahannya terbawa kembali ke aliran sungai keluar menuju sungai utama dan terangkut hingga laut.

Singkapan sedimen danau dapat ditemukan dan dilihat pada dinding lembah sungai yang longsor membuka lapisan sedimen. Bagian atas singkapan berupa lapukan yang terdiri dari luruhan danau dan akar pepohonan. Solum (tanah) ini berwarna hitam, menandai luruhan bahan organik hutan di kawasan danau. Sekuen ini memiliki ketebalan bervariasi dari 50 sd 200 cm, di bagian bawah dari sekuen sebagian berupa endapan gambut. Di bawah solum (tanah) terdapat lapisan berwarna lebih terang dan lunak, coklat terang hingga ke abu - abuan atau kehijauan dengan bidang ketidakselarasan memisahkan antara lapisan ini dengan endapan di atasnya. Sekuen ini relatif basah karena resapan air dari sekuen di atasnya yang bertindak sebagai mintakat vadose. Di dinding lembah sungai yang terjal dan tinggi, sering tersingkap bagian lebih bawah dari sekuen endapan

lempungan yang ditandai oleh endapan berlapis buruk berwarna semakin terang, dari coklat muda hingga coklat putih kotor, dengan sisipan endapan lempung lanauan. Bagian bawah dari endapan lempung ini berwarna abu-abu hingga abu-abu gelap dan mengandung remah karbon.

Sedimen lempung yang diendapkan di danau berasal dari dua sumber berbeda, yang pertama berupa bahan tersuspensi yang terangkut air Sungai Kapuas dari hulu yang masuk ke dalam danau yang mengendap ketika air sungai kehilangan energi kinetiknya. Sedimen ini terangkut saat air Sungai Kapuas meluap dengan arus kuat mengangkut suspensi pekat yang berasal dari hulu Kapuas. Bahan sedimen lain adalah hasil erosi dari perbukitan di sekeliling dan di tengah danau, yang terangkut secara traksi maupun suspensi. (Giessen, 1987). Sedimen pasiran berbutir kasar diendapkan paling awal di muara sungai kecil di tepi danau. Bagian danau yang dekat dengan saluran utama menerima lebih banyak endapan dari suspensi yang berasal dari Kapuas hulu sementara suspensi dari sungai di sekeliling danau diendapkan di bagian dekat tepi danau yang jauh dari saluran utama, di perairan yang ditumbuhi oleh pepohonan dalam danau. Bagian dangkal di tengah danau yang dilalui saluran utama menerima air bermuatan suspensi dari air hulu Kapuas dan air dari anak-anak sungai di sekeliling danau yang ketika danau penuh menyebarkan airnya menggenangi bagian dangkal bertutupan hutan pohon kayu. Neraca sedimen dari sekeliling danau tergantung oleh intensitas erosi atau dengan kata lain tergantung pada unsur-unsur curah hujan, tutupan hutan di sekeliling danau. Secara keseluruhan, neraca pengisian sedimen ke dalam danau tergantung berapa pekat suspensi yang terangkut dari hulu Kapuas maupun dari tangkapan hujan di sekeliling danau, atau dengan kata lain tergantung volume air yang masuk ke dalam danau (Leeder, 1982).

## BAHAN DAN METODE

Contoh diambil di Desa Semangit, di tubir depan lembah alur sungai di dalam perairan danau. Titik pengambilan sedang tergenang (Maret 2010), namun tersingkap kering saat muka air danau surut di musim kering. Contoh diambil dengan bor tangan putar yang dioperasikan oleh 3 (tiga) orang. Penginti logam sepanjang 60 cm dapat terisi penuh, menangkap contoh lempung utuh dari setiap pengangkatan. Dari kedalaman 6 m, pada titik contoh menjadi lebih lunak, penginti tidak dapat lagi menangkap contoh yang semakin licin dan mengandung lebih banyak air tanah. Pada titik ini, penangkap sedimen diganti dari penginti dengan pipa PVC yang dapat terisi penuh dan menangkap contoh utuh sepanjang 1 m, yaitu dengan menutup ujung PVC saat diangkat. Contoh dapat diperoleh hingga kedalaman 8 m, kemudian terhenti ketika tidak tersedia cukup panjang pipa penginti. Seluruh contoh dicatat dan dideskripsi litologi megaskopisnya. Sejumlah 24 bagian contoh diambil dari total 8 m kedalaman di tiap selang 30 cm untuk diperiksa lebih lanjut di laboratorium. Contoh bagian atas kolom mewakili lempung berwarna terang dengan sisipan lempung pasiran. Bagian bawah kolom ditandai oleh contoh berwarna gelap, abu-abu kehitaman mengandung banyak bahan klastik karbon berukuran pasiran dan lanauan.

Contoh lempung dipersiapkan untuk analisis berdasar prosedur baku dengan diawali memisahkan lempung dari bahan sedimen kasar  $> 1/250$  mm. Mineralogi lempung diperiksa dan dikenali dengan X-ray difraksi pada berkas kelompok ukuran butir sedimen lempung non karbonat (Holtzapffel, 1985). Berkas kelompok ini diperoleh berdasar metoda yang dikembangkan secara lebih rinci oleh Liu, *et al.*, (2004) di State Key Laboratory, Marine Geology, Universitas Tongji. Tiga proses XRD dilakukan secara berkesinambungan, yaitu “*air drying*”, “*ethylene-glycol*

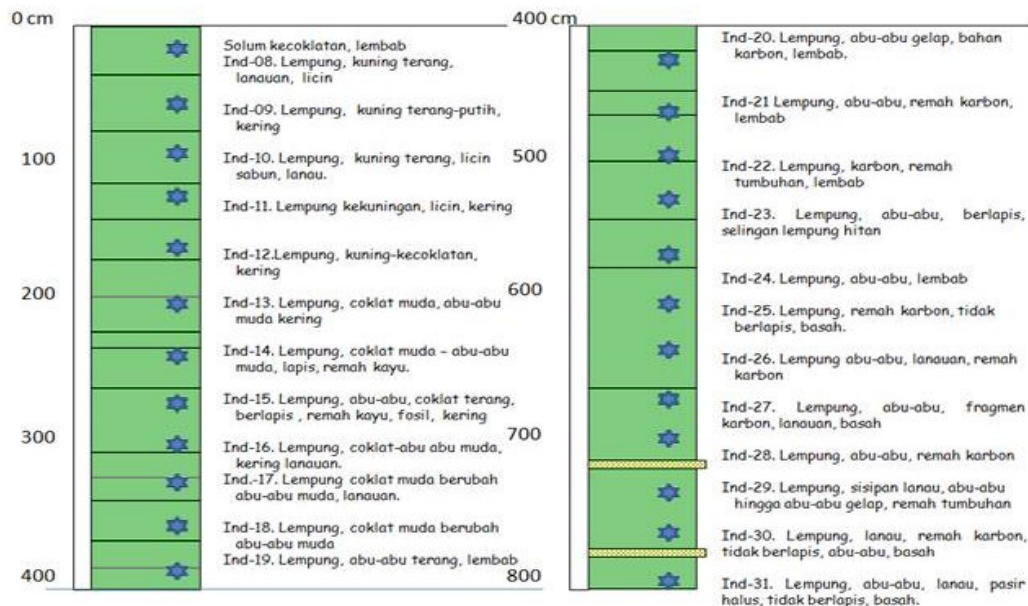
*solvation*” selama 24 jam dan pemanasan pada 490°C selama dua jam. Pengenalan mineral lempung dilakukan berdasar posisi (001) seri “*basal reflection*” pada diagram XRD. Pendugaan semi kuantitatif pada luasan puncak tonjolan “*basal reflection*” bagi kelompok mineral lempung utama dari smektit (termasuk mixed-layers) (15–17 Å), illite (10 Å), dan kaolinite/khlorite (7 Å) tergambar pada kurva glycol (Holtzapffel, 1985) memakai software MacDiff (Petschick, 2000). Proporsi relatif kaolinit dan khlorite ditentukan berdasarkan rasio dari puncak kurva 3.57/3.54 Å. Gipsite (4.85 Å) juga teramati namun tidak termasuk pada kalkulasi semi kuantitatif. Analisis replikasi beberapa contoh terpilih memberi presisi hingga ±2% (2σ). Berdasar metoda XRD, evaluasi semikuantitatif pada setiap mineral lempung memiliki akurasi ~5%. (Liu, *et al*, in press, 2011).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Seluruh contoh yang diperoleh berupa endapan lempung dengan berbagai rona warna dari gelap hingga terang, namun beberapa bagian lapis tipis antara 1 – 3 cm,

muncul di beberapa bagian, berupa lanau lempungan. Setiap keratan 60 cm, diambil 2 potongan masing-masing 10 cm contoh untuk diperiksa. Pemerian stratigrafi dari contoh lempung dimulai dari bagian bawah di kedalaman 8 m, lapisan paling tua berupa lempung tidak berlapis, lunak, tinggi kandungan air, abu-abu pekat kehitaman mengandung remah karbon dan sisipan lanau serta pasir halus terutama di kedalaman 7 m (Gambar 1). Kandungan air terutama pada sisipan sedimen relatif kasar yang sering muncul. Di kedalaman 5,30 m terdapat sisipan lempung hitam berinterkalasi dengan lempung abu-abu. Pada kedalaman 4,80 m hingga 4,00 m warna lempung tidak berlapis, lembab, berangsur menjadi padat dan berkurang kandungan air dan sisipan sedimen kasarnya, abu-abu, mengandung bahan karbon halus dan hancuran daun serta serpihan kayu.

Semakin ke atas, lempung berangsur menjadi abu-abu dan abu-abu terang warnanya, semakin padat dan berkurang kelembabannya, masih mengandung bahan karbon. Warna menjadi semakin terang menjadi abu-abu kecoklatan, coklat abu-abu dan coklat terang, padat dan keras hingga

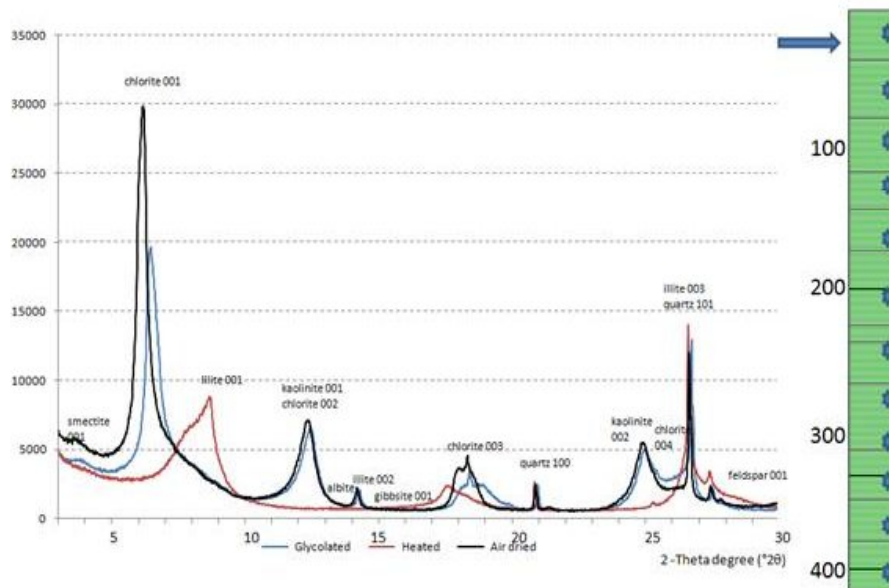


Gambar 1. Kolom stratigrafi contoh inti pemboran di desa Semangit, Danau Sentarum, Kalimantan Barat

kedalaman 2.50 m. Muncul selingan lapisan tipis lanau warna lebih gelap. Hingga kedalaman 1.50 m lempung semakin keras dan padat, kering, wana kekuningan-kuning coklat terang hingga putih kekuningan. Dekat permukaan, lempung berwarna putih kekuningan terang, padat, tidak berlapis, licin seperti sabun. Solum setebal 10 – 15 cm berwarna coklat bercampur dengan remah daun, fragmen kayu menutup bagian atas kolom urutan sedimen. Perubahan dari bawah ke arah atas berupa warna lempung semakin terang, sisipan sedimen lanau-pasir dan kandungan remah pohon dan bahan karbon sebagai tanda perubahan lingkungan danau. Setiap 30 cm dari sekuen lempung, atau 24 contoh yang telah dipilih, dianalisis dengan metoda XRD. Analisis mengikuti prosedur sebagaimana disampaikan pada bagian sebelumnya. Hasilnya kemudian digambarkan sebagai kurva untuk tiap contoh. Beberapa kurva dipilih mewakili contoh disajikan pada gambar 2, 3, 4, 5, 6, dan 7.

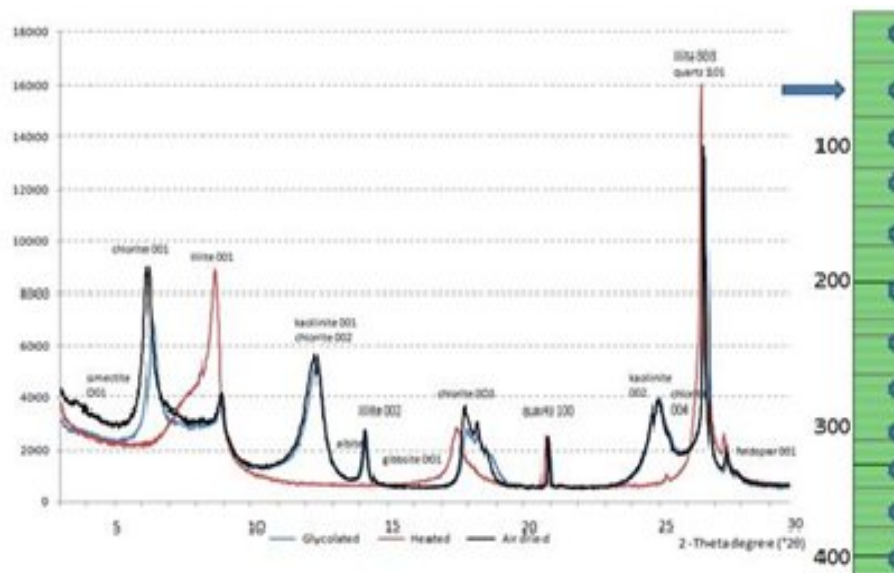
Lempung terbentuk di solum lapukan batuan induk sebagai akibat proses pelapukan fisis (fragmentasi) maupun

kimiawi (substraksi) ion. Seiring meningkatnya hidrolisis, substraksi ion berlangsung pada ion yang mudah bergerak (mobile) seperti Na, K, Ca, Mg dan Sr. Pelapukan hidrolisis (bisialitisasi) dengan pembentukan pelapukan 2:1 dua lembar rangkaian kristal tetrahedral pada satu lembar kristal octahedral seperti pada smectite (Chamley 1989). Terdapatnya mineral pada bisialitisasi seperti smectite ini menandai pembentukan produk sekunder pelapukan kimiawi pada unsur feromagnesium aluminosilikat. Pada pelapukan, unsur transisi cenderung dilepas kemudian (Mn, Ni, Cu, Co dan Fe) sebagai proses monosialitisasi dengan formasi 1:1 (seperti pada kaolinite). Paling akhir adalah pelepasan (leached) unsur Si setelah Al sebagai unsur kurang mobil pada proses hidrolisis. Proses akhir hidrolisis adalah alitisasi dengan pembentukan Aluminium hidroksil seperti gibbsite (Chamley, 1989). Illite dan chlorite adalah mineral primer yang terbentuk melalui hidrolisis lemah atau erosi kuat pelapukan fisis erosi batuan.

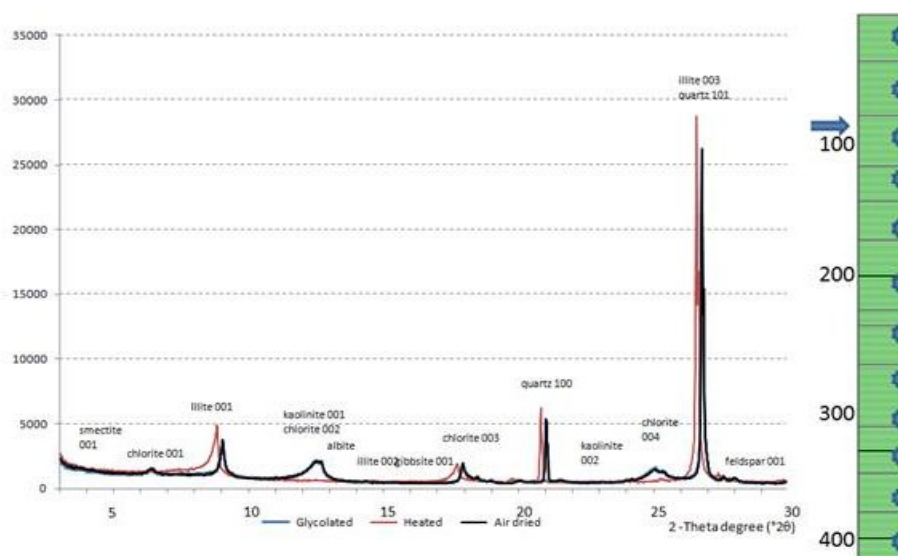


Gambar 2 Kurva hasil X ray defraktometer contoh Ind-08 ditandai oleh tingginya chlorite, rendahnya kaolinite dan illite, hasil lapukan fisis bantuan asam sekitar danau

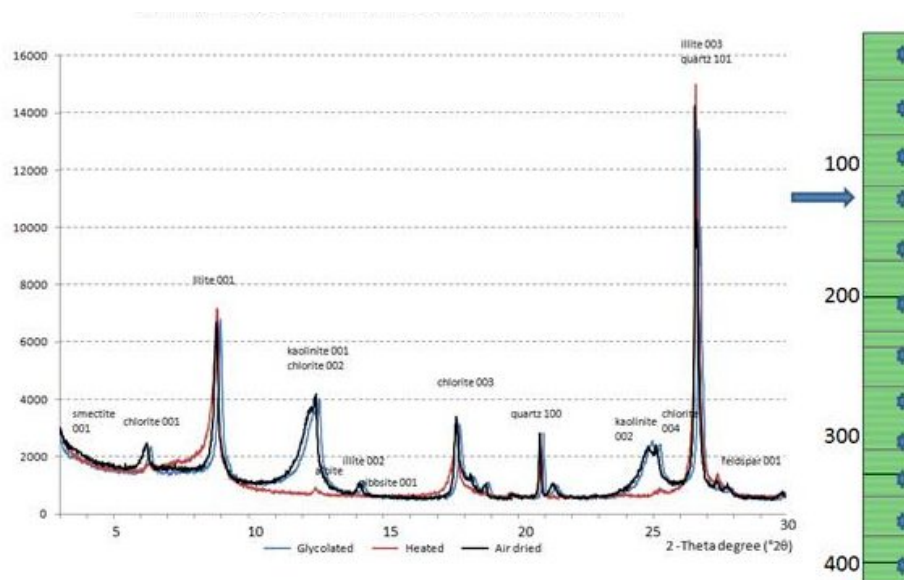




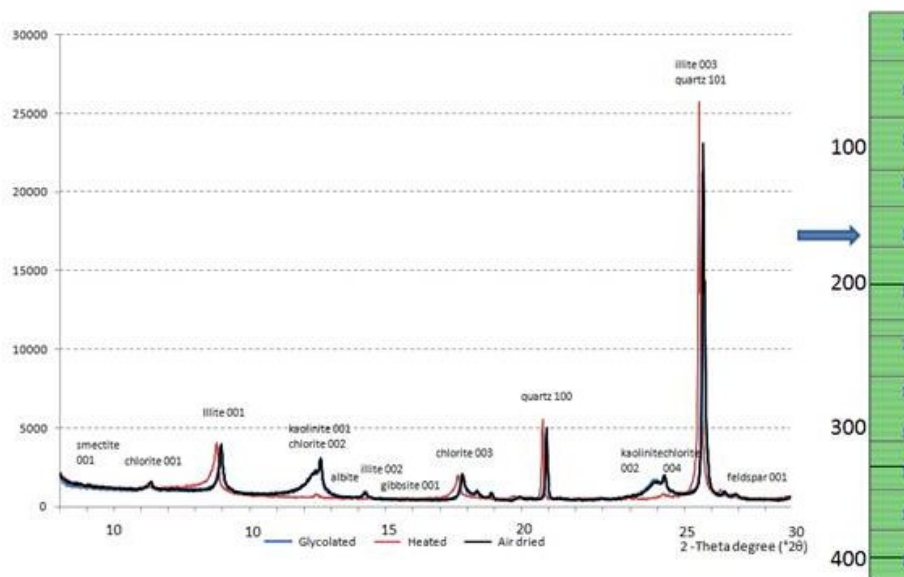
Gambar 3. Kurva hasil X raydefraktometer contoh Ind-09 ditandai oleh rendahnya chlorite, rendahnya kaolinite namun tinggi pada illite. Hidrolisis dari chlorite.



Gambar 4. Hasil XRD contoh Ind-10 dari lempung, kuning terang. Illite dominan, sedikit chlorite dan kaolinite dari batuan asam

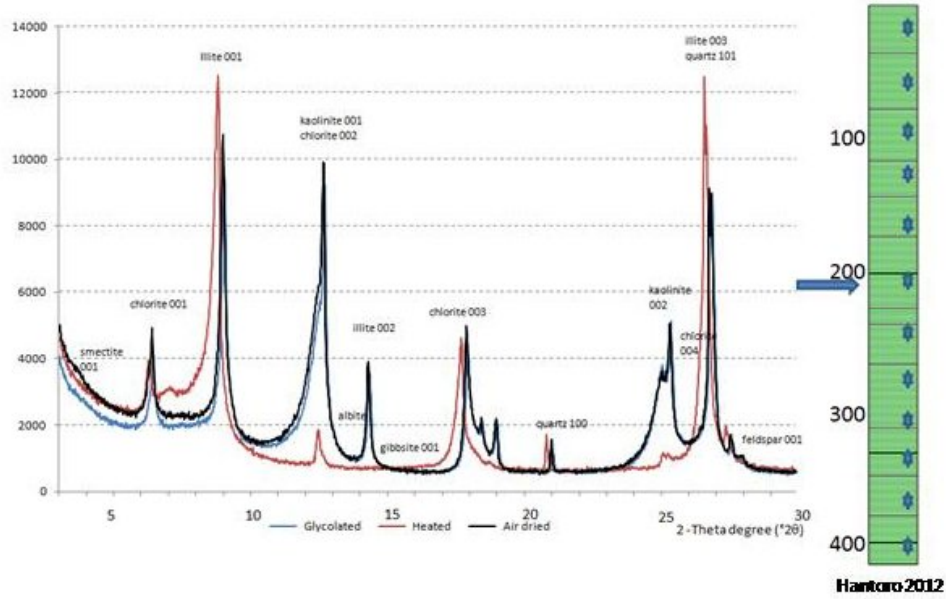


Gambar 5. Kurva XRD contoh Ind-11, lempung, kuning-coklat muda, Illite dominan, chlorite dan kaolinite meningkat dari lapukan kimia batuan asam

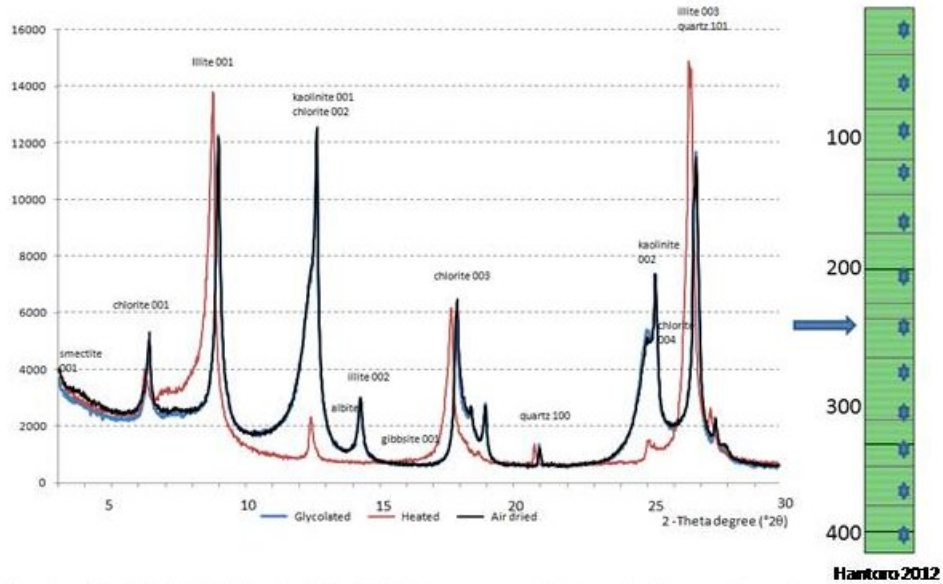


Gambar 6. Hasil XRD contoh Ind-12 lempung, kuning coklat muda, kering. Illite dominan sedikit

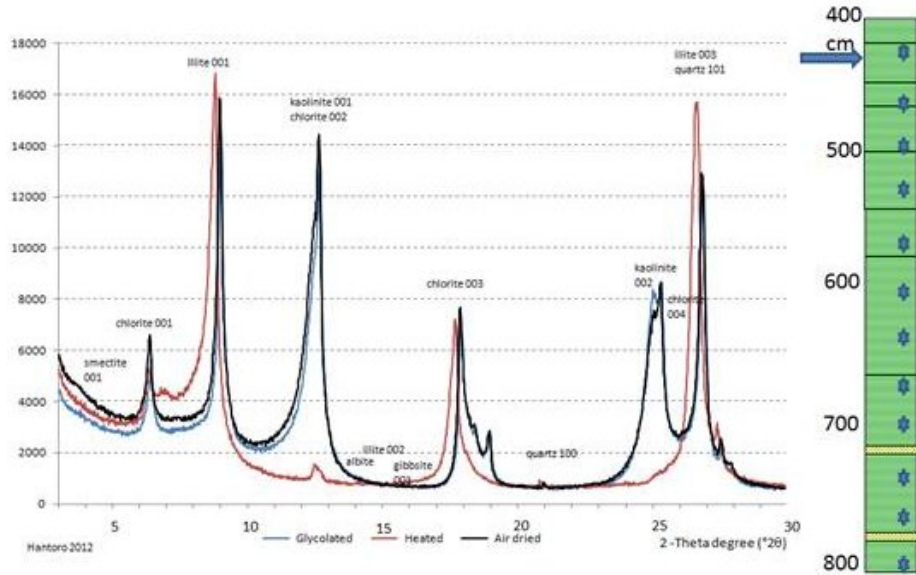




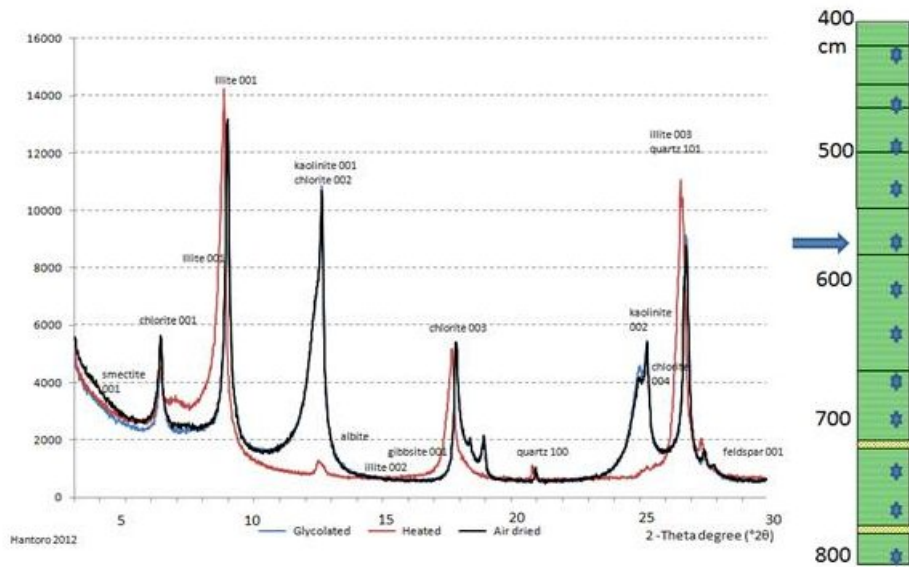
Gambar 7. Kurva XRD contoh Ind-13, lempung, coklat muda hingga abu-abu muda. Illite dominan, chlorite meningkat, kaolinite meningkat hasil hidrolisis chlorite dan lapukan kimiawi batuan asam



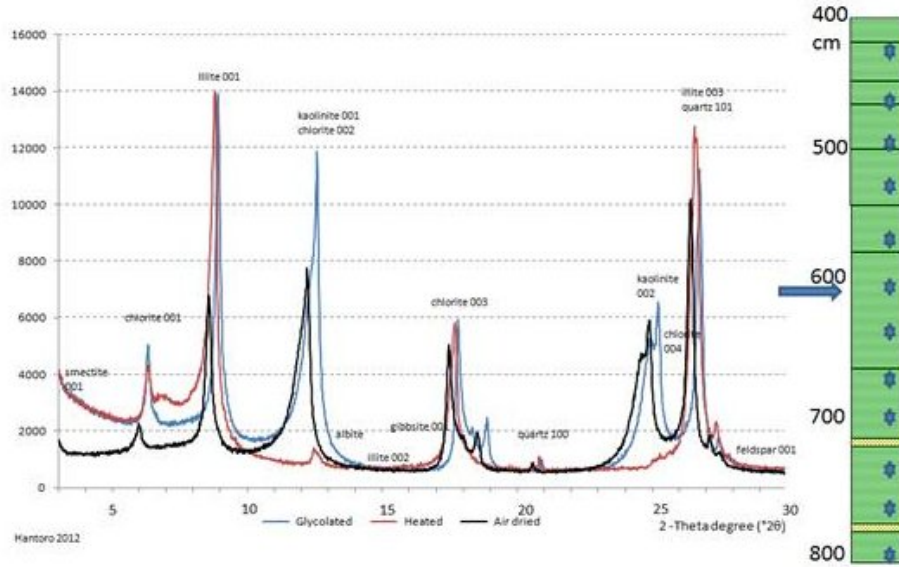
Gambar 8. Hasil XRD contoh Ind-14 lempung, coklat muda hingga abu-abu muda, berlapis remah kayu. Ilite dan kaolinite dominan ubahan dari chlorite dan lapukan kimiawi batuan asam.



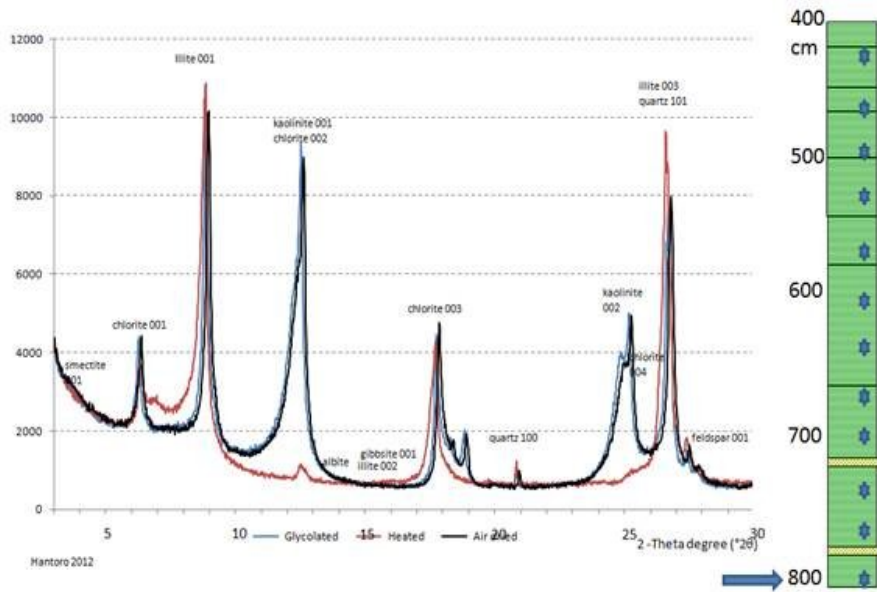
Gambar 9. Hasil XRD contoh Ind-20. Lempung, abu-abu gelap, bahan karbon, lembab. Illite dan kaolinite dominan, hasil hidrolisis chlorite dan lapukan kimiawi batuan asam.



Gambar 10. Hasil XRD contoh Ind-24, lempung, remah karbon, tidak berlapis, basah. Illite dan kaolinite dominan hasil hidrolisis chlorite dan lapukan kimiawi batuan asam



Gambar 11. Hasil XRD contoh Ind-25, lempung remah karbon, tidak berlapis, basah, Illite dan kaolinite dominan hasil hidrolisis chlorite dan lapukan kimiawi batuan asam



Gambar 12. Hasil XRD contoh Ind-31, lempung, abu-abu, lama, pasir halus, tidak berlapis, basah. Kaolinite hasil pelapukan kimia batuan asam. Illite dan kaolinite dominan dari hidrolisis chlorite.

Kaolinite umumnya terbentuk oleh monosialitisasi batuan induk menandai hidrolisis kuat pada iklim lembab dan hangat. Kaolinite sangat umum ditemukan di kawasan Indonesia Barat, di Sumatra dan Kalimantan, berkaitan dengan pengaruh kondisi iklimnya (Liu *et al.*, 2012), iklim tropis, curah hujan tinggi dan suhu hangat. Batuan induk asam (granit, granodiorite) pelapukannya membentuk kaolinite sementara batuan menengah dan basa membentuk smectite. Sumatra yang relatif basa batuan vulkaniknya dibanding Kalimantan, pelapukannya juga menghasilkan relatif dominan kaolinitenya dibanding chlorite, illite dan smectite (Liu *et al.*, 2012). Illite dan chlorite adalah mineral primer yang terbentuk melalui hidrolisis lemah atau pelapukan fisik yang kuat batuan induk.

Mineral yang paling sering muncul pada hasil analisis contoh-contoh dari Danau Sentarum adalah chlorite, illite, kaolinite dan kuarsa. Smectite muncul pada kurva sebagai sinyal lemah di beberapa contoh. Feldspar hadir walau hanya memperlihatkan sinyal lemah sebagaimana ditunjukkan pula oleh sinyal kehadiran gibbsite dan albite. Smectite (001) nampak dalam kurva sebagai tonjolan lemah di hampir semua contoh, namun cukup jelas di beberapa contoh (Ind-08, Ind-09, Ind-13, Ind-14, Ind-20, Ind-24 dan Ind-26) pada kurva perlakuan udara kering. Mineral ini diduga hasil luruhan batuan vulkanik yang tersingkap di bagian utara lereng cekungan.

Perkiraan ini dapat diperkuat bilaman diperoleh mineralogi contoh dari bagian lain danau yang sumber sedimennya dari batuan yang berbeda. Chlorite (001) juga terdapat pada contoh, ditandai oleh sinyal kuat pada kurva di contoh Ind-8 dan Ind-9 dan di hampir banyak contoh dengan sinyal lebih lemah, namun tidak muncul pada kurva contoh Ind-10 Ind-11 dan Ind-12). Kandungan tinggi chlorite rendah pada illite dan smectite di contoh Ind-08 menandakan pelapukan fisik dari batuan asam

disekitarnya. Rendahnya chlorite pada Ind-09, manandakan bahwa contoh mengalami proses hidrolisis yang menghasilkan dan kemudian meningkatkan kandungan kaolinite. Pada contoh Ind-10, Ind-11 dan Ind-12, semua mineral lempung tandai oleh tonjolan lemah sinyal kecuali illite (003) dan kuarsa (101). Penampilan ini diduga oleh sedikitnya lempung pada contoh karena sedimen mengandung lebih banyak butir yang lebih kasar (lanau dan pasir halus). Warna contoh kuning terang dan kuning kecoklatan pada contoh tersebut mungkin menandai sedimen berbutir relatif kasar berasal dari pelapukan singkapan batuan asam mengandung silika, dan sifat fisis licin seperti sabun (*soapy*) pada contoh menandakan kehadiran mineral lempung yang tinggi kandungan felaspar aluminanya. Contoh-contoh tersebut diatas mewakili bagian atas dari sekuen sedimen pada kolom stratigrafi, setidaknya hingga kedalaman 2 m, yang telah tersingkap atau dekat permukaan dalam waktu lama muncul di atas muka air saat musim kering.

Sedimen kasar kemungkinan besar hasil luruhan batuan granitan atau arkosan yang tinggi kandungan feldsparnya yang tersingkap di lereng utara dan di bukit di bagian tengah danau. Kehadiran quartz (101) mendukung asumsi ini. Relatif banyaknya chlorite di bagian atas kolom stratigrafi contoh inti diduga menandakan terjadinya pengkayaan mineral ini akibat pelapukan fisik. Sebagaimana telah disampaikan, tulisan ini belum didukung oleh data hasil pentarikan yang dapat memberi umur kapan tepatnya pengendapan lempung terjadi. Waktu pengendapan ke tiga contoh lempung diduga terjadi ketika berlangsung pelapukan fisik dan denudasi saat iklim relatif kering namun cukup hujan untuk mengupas lapukan batuan, mengangkut sedimen kasar dan lempung diendapkan kemudian di danau.

Kurva Ind-13 (Gambar 1), dari lempung berwarna abu-abu, memperlihatkan perubahan yang jelas ditandai oleh

rendahnya kandungan chlorite (001) yang lemah sinyalnya pada kurva, namun kuat pada sinyal chlorite (002), illite (001 dan 003), kaolinite (001) dan juga quartz (101). Kehadiran chlorite (002) relatif banyak pada contoh bisa jadi berkaitan dengan jarak pendek dari batuan asal dan sedimentasi cepat dibawah kondisi lebih bersifat pelapukan fisik. Tidak terlihat jelas sinyal mengenai kehadiran smectite (002). Tidak hadirnya smectite, sekali lagi menandai rendahnya sumbangan lempung dari hasil pelapukan batuan vulkanik basaltan atau batuan berkomposisi menengah. Contoh berikutnya dari bagian lebih bawah, yaitu Ind-14 dan Ind-15 memperlihatkan pola sinyal yang sama pada kurva. Chlorite pada contoh tersebut relatif sedikit kehadirannya dibanding dengan contoh dari bagian paling atas kolom yaitu Ind-08 dan Ind-09. Chlorite kemungkinan besar disumbang dari luruhan fisik batuan metamorf yang tinggi kandungan aluminium dan magnesiumnya, kemudian membentuk lempung berwarna terang dibagian atas kolom. Chlorite (001) terdeteksi kehadirannya pada semua contoh di sisa kolom bagian bawah namun kehadirannya relatif sedikit dengan sinyal lemah dengan tonjolan rendah (*low spike*). Lingkungan basah dari “*blackwater*” danau yang pH nya relatif rendah mungkin memicu hidrolisis chlorite menjadi kaolinite (Chamayou et Legros, 1989).

Di contoh dari bagian bawah kolom contoh inti yang mengandung banyak bahan berwarna hitam, kandungan kaolinite cukup tinggi. Hal ini menandakan terbentuknya lempung dalam lingkungan pH rendah. Chlorite (002) hadir di contoh dari bagian bawah kolom, tetapi bisa jadi sebagai chlorite sisa dari hidrolisis yang sebagian besar mengubahnya menjadi kaolinite dan illite. Lebih ke arah bawah dari kolom contoh inti, pada kedalaman dari 5 hingga 8 m, contoh Ind-16 hingga Ind-31, mineralogi lempung dicirikan oleh tingginya kandungan kaolinite dan illite sebagai tanda rendahnya pH air lingkungan pembentukan. Kandungan

bahan karbon selalu tinggi pada setiap contoh dan lempung menjadi semakin berwarna abu-abu gelap. Meningkatnya sedimen lanauan di bagian bawah kolom inti tidak diikuti oleh perubahan pada komposisi mineralogi lempung yang kandungan chloritenya relatif rendah sementara kaolinite dan illite semakin tinggi menandai kuatnya proses hidrolisis.

Analisis pada perubahan komposisi mineral dari bagian bawah hingga bagian paling atas kolom contoh inti dapat memberikan gambaran perubahan lingkungan pembentukan lempung. Pada awalnya lingkungan lembab dan hangat memicu pelapukan kimiawi menghasilkan kaolinite dan chlorite dari batuan asam sekitar danau maupun dari malihan di hulu. Lempung diendapkan di lingkungan danau dengan pH relatif rendah pada genangan air berwarna kehitaman (*black water*) mengandung banyak bahan karbon. Di lingkungan ini chlorite mengalami hidrolisis menjadi illite dan kaolinite. Pelapukan fisik berangsur menguat menghasilkan illite dari berbagai jenis batuan, namun pelapukan kimiawi masih dominan memberi kaolinite dari batuan asam disekitar danau. Bagian atas sekuen menandai lingkungan yang didominasi oleh tingginya pelapukan fisik menghasilkan lempung berwarna terang hasil pelapukan batuan asam di sekeliling danau, sementara lapukan fisik maupun kimiawi dari batuan metamorf di hulu yang umumnya menghasilkan chlorite, tidak banyak menyumbang sedimentasi di danau. Chlorite di danau oleh hidrolisis berubah menjadi illite. Pelapukan fisik kurang menghasilkan sedimen halus dibanding sedimen kasar. Bagian paling atas sekuen yang mengandung chlorit lebih banyak dari bagian bawah menandakan pelapukan fisik semakin kuat pada iklim relatif kering yang tidak memberi cukup peluang terjadinya hidrolisis di danau yang ditandai oleh cukup rendahnya illite (003).

## KESIMPULAN

Secara garis besar, identifikasi pada mineral lempung dapat dilakukan dengan baik menghasilkan gambaran kurva yang jelas membedakan jenis mineral yang ada. Mineral lempung dalam contoh tidak dapat memberi informasi dengan tepat dari mana sumber asal luruhannya. Lempung mungkin berasal dari berbagai jenis batuan vulkanik asam yang tersingkap disekitar danau berasal dari lapukan batuan di hulu diluar danau yang diluruhkan dari batuan malihan (metamorf). Mineral lempung dari kedua sumber diendapkan bersama dengan komposisi yang tidak dapat diketahui.

Rendahnya fraksi lempung di bagian atas kolom contoh inti menandakan sedimentasi kuat selama pelapukan fisik dari perioda relatif kering menghasilkan endapan berwarna terang. Perioda kering ditandai oleh bentang alam relatif terbuka yang rentan pelapukan fisik. Kehadiran chlorite pada contoh berwarna terang menandakan perioda berubah menjadi relatif lembab namun tersingkapnya lempung pada pelapukan menyebabkan hidrolisis menghasilkan chlorite. Rendahnya chlorite dan tingginya kaolinite dan illite di kolom bagian bawah menandai iklim basah dengan pH relatif rendah yang memicu hidrolisis chlorite menjadi kaolinite dan illite. Mineralogi lempung sekuen endapan danau dapat menandai perubahan lingkungan pengendapan sedimen di danau sebagaimana iklim dimasa lampau.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih atas bantuan pengambilan contoh oleh teknisi Taman Nasional Danau Sentarum seksi Lanjak selama penelitian di desa Semangit di kawasan danau. Terima kasih disampaikan kepada masyarakat dan tetua Desa Semangit yang membantu pekerjaan pengambilan contoh. Terima kasih kepada Sdr Engkos Kosasih yang merekayasa alat bor yang

dipakai pada pengambilan contoh lempung. Terima kasih kepada Prof. Dr Zhifei Liu, peneliti senior Laboratory of Marine Geology, Universitas Tongji, Shanghai, Republic Rakyat China yang mendorong dalam upaya memperoleh dana riset analisis di laboratorium. Terima kasih juga kepada Hao Wang dan Xiajing Li yang membantu preparasi dan pengukuran contoh selama bekerja di Laboratory of Marine Geology. Kepada Prof Dr Wang Ping Xian, senior pada laboratorium, dengan siapa sejak dekade 1990an terjalin kerjasama penelitian Kuarter dan Geologi Kelautan di Pasifik Barat, atas diskusinya selama berada di Shanghai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen van, 1949. *The Geology of Indonesia*. Nijhoff publ. the Hague, 2 vol.
- Chamayou H. et Legros J.P., 1989. *Les Bases Physiques, Chimiques et Mineralogiques de la Science de sol*. Agence de Cooperation Culturelle et Technique. Conseil International de la Langue Francaise. Presse Universitaires de France.
- Giesen W., 1987. *Danau Sentarum Wildlife Reserve. Inventory, Ecology and management guideline*. A World Wildlife Fund Report, for the Directorate of Forest Protection and nature Conservation (PHPA) Bogor, Indonesia, 1987.
- Heryanto R., William P.R., Harahap B.H., & Pieters P.E., 1993. *Geology of Sintang Sheet area, Kalimantan*. Departement of Mines and Energy. Indonesia.
- Holtzapffel, T., 1985. *Les Minéraux Argileux: Préparation, Analyse Diffractométrique et Determination*. Soc. Géol. Nord Publ. 12, 136 pp.
- Leeder M.R., 1982, *Sedimentology. Process and Product*. Departement of Earth Sciences, University of Leeds.



- George Allen & Unwin (Publisher) Ltd. 40 Museum Street, London WC1A 1LU, UK.
- Liu, Z., Colin, C., Huang, W., Le, K.P., Tong, S., Chen, Z., Trentesaux, A., 2007a. Climatic and Tectonic Controls on Weathering in South China and the Indochina Peninsula: Clay Mineralogical and Geochemical Investigations from the Pearl, Red, and Mekong Drainage Basins. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 8, Q05005, doi:10.1029/2006GC001490 .
- Liu, Z., Colin, C., Trentesaux, A., Blamart, D., Bassinot, F., Siani, G., Sicre, M.-S., 2004. Erosional History of the Eastern Tibetan Plateau Over the Past 190 kyr: Clay Mineralogical and Geochemical Investigations from the Southwestern South China Sea. *Mar. Geol.* 209, 1–18.
- McLennan, S.M., 1993. Weathering and Global Denudation. *J. Geol.* 101, 295–303.
- Petschick, R., 2000. MacDiff 4.2.2 [Online]. Available: <http://servermac.geologie.uni-frankfurt.de/Rainer.html>. [Cited 01-12-2001].
- Pieters, P.E., Surono, Noya Y., 1993. Geology of Putussibau Sheet Area, Kalimantan. Departement of Mines and Energy. Indonesia.
- Pieters, P.E., Surono, Noya Y., 1993. Geology of Nangaobat Sheet Area, Kalimantan. Departement of Mines and Energy. Indonesia.
- Selvaraj, K., Chen, C.-T.A., 2006. Moderate Chemical Weathering of Subtropical Taiwan: Constraints from Solid-Phase Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks. *J. Geol.* 114, 101–116.
- Singh, M., Sharma, M., Tobschall, H.L., 2005. Weathering of the Ganga Alluvial Plain, Northern India: Implications from Fluvial Geochemistry of the Gomati River. *Appl. Geochem.* 20, 1–21.
- Smit Sibinga, G.L., 1953. On the Origin of the Drainage System of Borneo. *Gologie en Mijnbouw*(nieuwe serie), 15:121-136.
- St. John, T.V. & A.B. Anderson, 1982 A Re-examination of Plant Phenolics as a Source of Tropical Blackwaters Rivers. *Tropical Ecology*, 23:151-154.
- Summerfield, M.A., & Hulton, N.J., 1994. Natural Controls of Fluvial Denudation Rates in Major World Drainage Basins. *J. Geophys. Res.* 99, 13871–13883.
- Wang, H., Liu, Z., Sathiamurthy, E., Colin, C., Li, J., Zhao, Y., 2011. Chemical Weathering in Malay Peninsula and North Borneo: Clay Mineralogy and Element Geochemistry of River Surface Sediments. *Sci. China Earth Sci.* 54, 272–282.