

KARAKTERISTIK AKUSTIK DAN FENOMENA GEOLOGI ENDAPAN SEDIMEN KUARTER DELTA MAHAKAM - KALIMANTAN TIMUR

Oleh :

D. Kusnida dan L. Arifin

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jl. Dr. Junjuran 236, Bandung – 40174, Indonesia

SARI

Teknik stratigrafi sekuen resolusi tinggi yang dikembangkan dari konsep stratigrafi seismik, digunakan untuk mengidentifikasi sekuen pengendapan dalam runtunan sedimen Kuartar di Delta Mahakam, Kalimantan Timur. Dalam studi ini dilakukan usaha untuk menghubungkan pola umum refleksi endapan delta terhadap sifat-sifat akustik. Lapisan sedimen mengandung gas secara akustik biasanya dicirikan oleh zona yang bersifat keruh, diperkirakan berupa diapir lumpur dan/atau akumulasi gas biogenik menghasilkan kontras akustik relatif terhadap batuan sekitarnya. Data penampang seismik di lepas pantai menunjukkan sedikitnya empat interval akustik (sekuen pengendapan) yang dipisahkan oleh bidang ketidakselarasan serta menunjukkan fenomena akustik yang menyertainya.

Kata kunci : Delta Mahakam, akustik, erosi, stratigrafi seismik, sedimen, diapir.

ABSTRACT

High-resolution sequence stratigraphic technique, which is originally derived from the concepts of seismic stratigraphy, is applied to identify depositional sequences within Quaternary strata in Mahakam Delta, East Kalimantan. In this study an effort is made to relate the general pattern of reflection obtained over the submerged delta to the acoustical characteristics. Sediment bearing gas in particular acoustically is indicated by their turbid zones, suspected as mud diapirs and/or accumulation of biogenic gas produce acoustical contrasts with respect to country rock. Offshore seismic profile data indicate at least four acoustic intervals (depositional sequences) separated by unconformities and its associated acoustical phenomena.

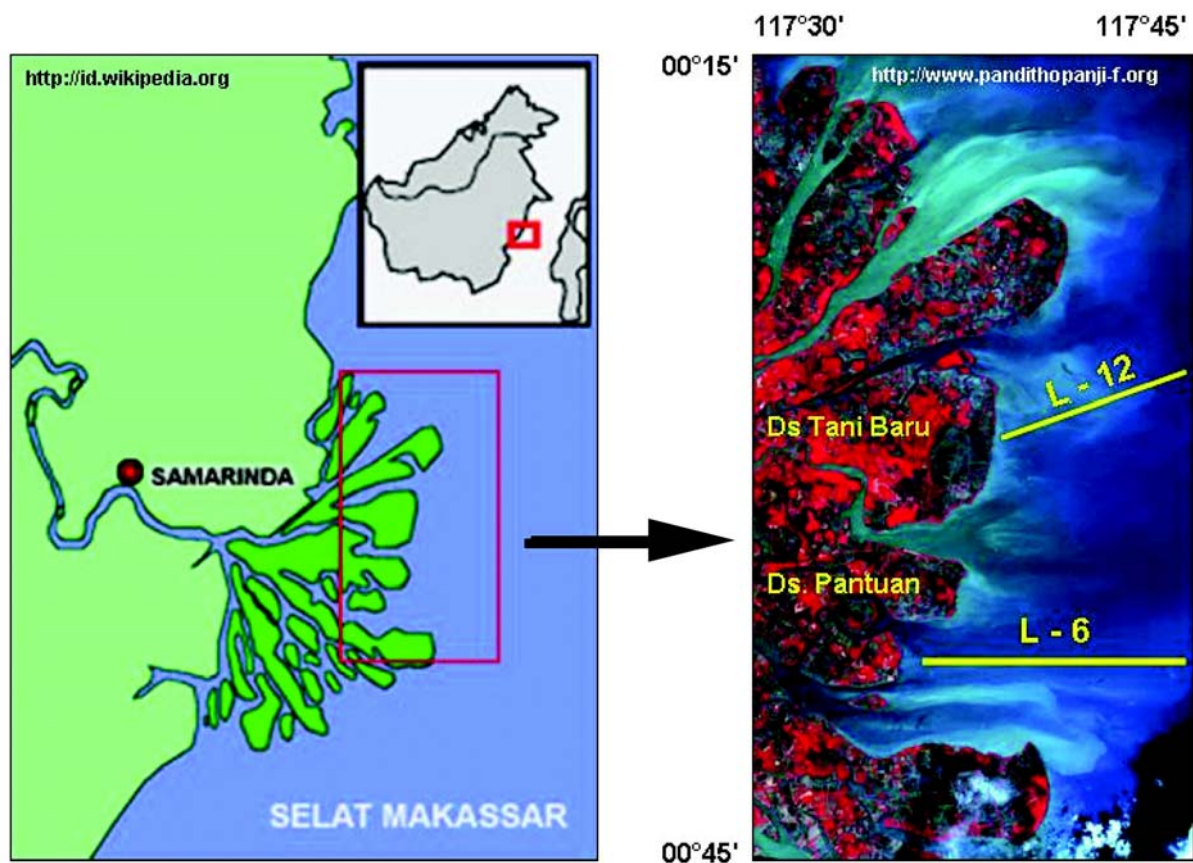
Keywords : Mahakam Delta, acoustic, erosion, seismic stratigraphy, sediments, diapir.

PENDAHULUAN

Menurut Storm drr (2005), Delta Mahakam merupakan tipe delta yang didominasi oleh proses pasang-surut dan gelombang laut yang berlokasi di tepian Cekungan Kutai, Kalimantan Timur dan mempunyai runtunan stratigrafi deltaik pantai (*coastal deltaic*) berumur Miosen hingga Holosen. Stratigrafi paparan berumur Kuartar di mana Sungai Mahakam berprogradasi menunjukkan dominasi perulangan sedimen karbonat paparan dan endapan delta silisiklastik

sebagai respon dari adanya perubahan muka air laut. Endapan paparan ini telah dipengaruhi oleh arus laut yang kuat dari Selat Makassar berarah utara-selatan.

Roberts (2001) menunjukkan bahwa sedimen prodelta Holosen Delta Mahakam telah dibatasi menjadi paparan bagian dalam (*inner shelf*) di sektor bagian utara, sedangkan di sektor bagian tengah merupakan *delta front* namun dibelokan ke arah selatan membentuk massa fasies prodelta yang luas. Paparan bagian tengah-luar



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan lintasan seismik

didominasi oleh topografi tanggul, berupa individu bioherm (*Halimeda*) dan agregat. Penelitian Crumeyrolle dan Renaud (2003) menunjukkan adanya relif tanggul di lepas pantai Delta Mahakam yang terkadang membentuk bidang erosi dengan topografi yang bervariasi antara 10 - 30 m (rata-rata 20 m). Tanggul-tanggul (*diapirism*) ini membentuk *Halimeda* lumpur terigenik yang kaya akan biota laut dan hidup pada permukaan transgresif perairan yang jernih. Bioherm (*Halimeda*) paparan bagian dalam secara perlahan terkubur oleh sedimen Delta Mahakam kala Holosen. Di bawah permukaan transgresif Plistosen-Holosen, endapan sedimen menandakan tahapan masa sistem susut laut yang terdiri dari jaringan fluvial, isian gerusan lembah alluvium (*channel fill*), dataran delta agradasi dan endapan paparan serta kipas delta progradasi.

Tujuan dari tulisan ini adalah mencoba menghubungkan pola umum endapan delta terhadap sifat-sifat akustik delta Sungai Mahakam disamping fenomena geologi lainnya seperti kemungkinan adanya indikasi kandungan

gas biogenik yang terbentuk bersamaan dengan perkembangan Delta Mahakam itu sendiri. Gas metana biogenik merupakan hasil dekomposisi bahan-bahan organik secara *methanogens* yaitu organisme yang menghasilkan gas metana yang merembes ke daerah dekat permukaan dasar laut yang miskin akan oksigen dengan temperatur tidak lebih dari 97 °C (Rice dan Claypool, 1981).

KERANGKA FISIOGRAFI REGIONAL

Sungai Mahakam mengalir dari pegunungan Mueller yang membatasi Indonesia dan Sarawak-Malaysia. Menurut Coleman drr (1986) 70 % daerah yang dialiri Sungai Mahakam terdiri dari batuan berumur Trias dan Tersier yang merupakan bagian dari Cekungan Kutai. Topografi dari Cekungan Kutai pada umumnya berkisar antara 500 hingga 1000 meter di atas permukaan laut, sedangkan yang terendah adalah beberapa meter di atas permukaan laut. Lembah aluvial tidak berpola secara jelas namun luas dengan alur utamanya yang lebar, bahkan dapat mencapai 400 meter. Walaupun alur utama

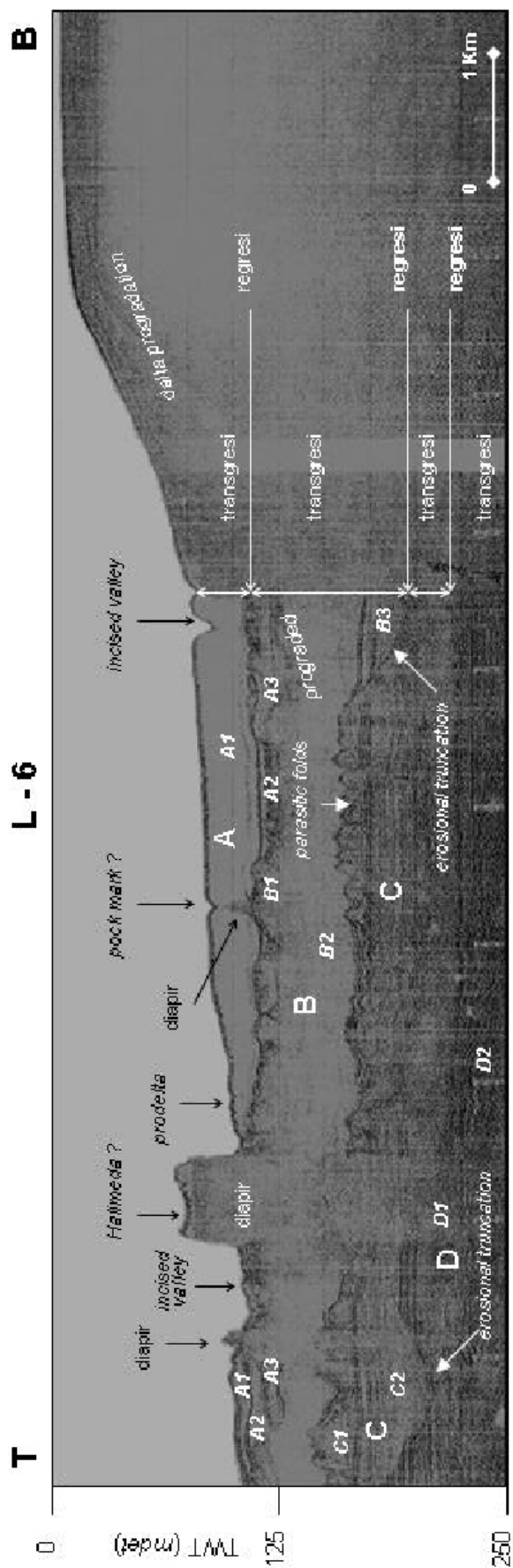
ini berpola *braided*, namun kelokan alur-alur sungainya normal.

Gastaldo dan Huc (1992) menyatakan bahwa dataran Delta Mahakam menunjukkan bentuk kipas delta yang klasik dan anak-anak sungainya memperlihatkan pola alur bercabang ganda. Paparan Sungai Mahakam memiliki energi gelombang laut yang rendah, arus laut kuat, terpengaruh oleh *upwelling*, dan sistem pengendapan gabungan siliklastik-karbonat (Wilson, 2005). Vegetasi dataran Delta Mahakam cukup rapat dengan dominasi *mangrove*. Luas daerah delta hampir 2500 km² dan berakresi, sedangkan kisaran pasang surut (*tide range*) air laut sekitar 2 m, dan sangat sedikit sekali dijumpai adanya paket-paket pantai berpasir, hampir seluruhnya terdiri dari dataran lumpur (Bappeda Kuker, 2007).

METODE

Data seismik refleksi dihimpun dalam bentuk analog dengan menggunakan peralatan Uniboom EG & G – 230 pada frekuensi 350 - 3500 Hz, kecepatan tembakan 0.25 sapuan/detik dan daya sumber suara 300 Joule. Penampang seismik diproses sesuai prosedur operasional standar yang ditentukan oleh EG & G. Sinyal akustik difilter dengan *Khronhite-3700 Band Pass* dengan tujuan mengkonversi data gelombang kedalam format prosesiing dan menghilangkan *noise* serta dikoreksi atas atenuasi sinyal. Posisi kapal ditentukan dengan *Global Positioning System* (GPS) dan direkam dalam komputer selang interval waktu 10 detik. Navigasi kapal digabungkan dengan data akustik dan secara geografis selanjutnya ditampilkan dalam sistem grid *Mercator*.

Penafsiran stratigrafi sekuen dan fasies seismik yang digunakan adalah berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Vail drr (1977). Konversi waktu dua arah (*two way travel*



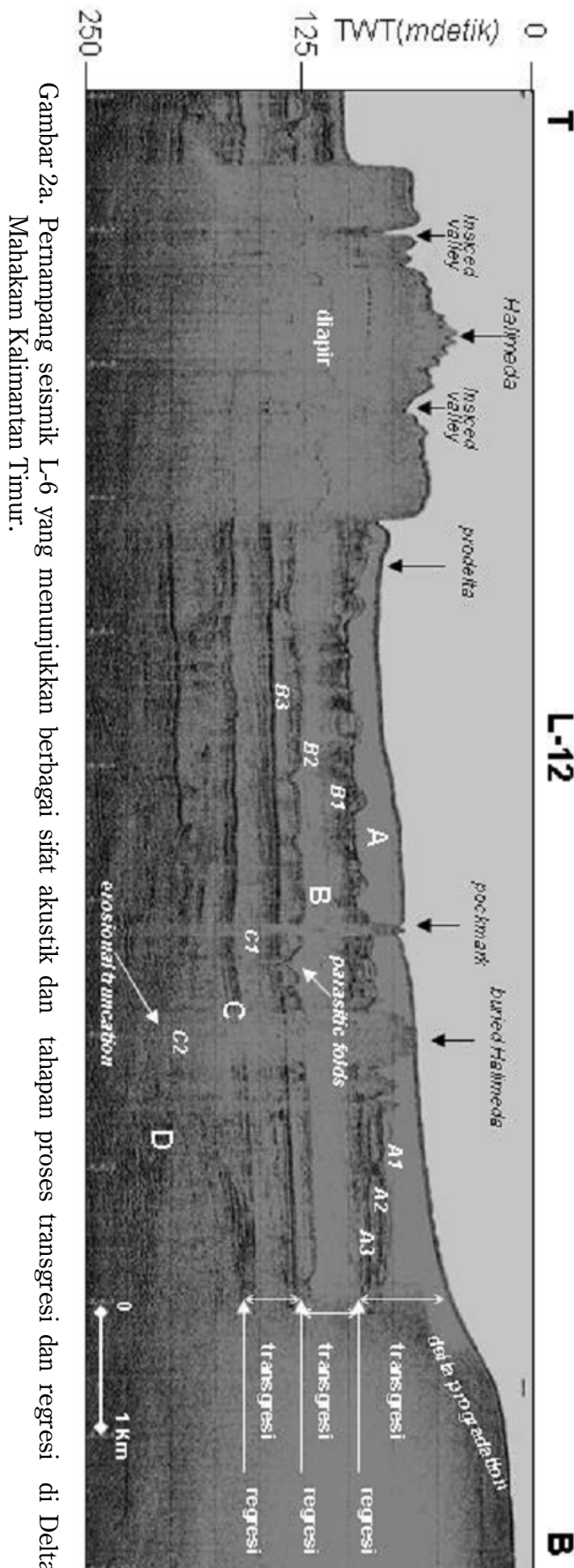
Gambar 2a. Pernampang seismik L-12 yang menunjukkan berbagai sifat akustik dan tahapan proses transgresi dan regresi di Delta Mahakam Kalimantan Timur.

time/TWT) menjadi kedalaman bawah permukaan dasar laut digunakan dengan asumsi cepat rambat gelombang dalam media air laut adalah 1500 m/det dan cepat rambat gelombang dalam sedimen adalah 1650 m/det. Dikarenakan tidak adanya data material inti bor, maka kondisi lingkungan serta jenis fasies batuan ditafsirkan berdasarkan geometri, pelampiran lateral dari reflektor internal dan posisi vertikal fasies seismik.

HASIL PENELITIAN

Penampang rekaman seismik refleksi resolusi tinggi yang diperoleh dari daerah penelitian memberikan informasi tentang keadaan geologi bawah permukaan dasar laut serta hubungannya dengan perubahan muka air laut. Stratigrafi dekat pantai dan di daerah muara Sungai Mahakam praktis tidak dapat diidentifikasi oleh sistem seismik yang digunakan karena tingginya tingkat absorpsi energi gelombang akustik oleh sedimen di bawahnya. Namun demikian, paling tidak empat sekuen seismik A,B,C dan D yang diperkirakan berumur Kuartar dapat teridentifikasi dalam penampang seismik (Gambar 2a dan 2b).

Seismik sekuen A terdiri dari tiga sub-sekuen A1, A2, dan A3. Di daerah prodelta, sub-sekuen A1 dicirikan oleh reflektor yang lemah hingga hampir transparan dan menerus di bagian atasnya. Di beberapa tempat tampak adanya lembah-lembah alur torehan (*incised valley*). Menuju arah lepas pantai, suatu tinggian berarah hampir utara-selatan dari sekuen B tampak membentuk struktur terobosan (*diapirism*). Tinggian ini memisahkan bagian *distal* atau *prodelta* dari sistem kipas Delta Mahakam dan sedimen marin di bagian luarnya. Sistem pengendapan *prodelta* ini dikontrol oleh proses gerak diferensial vertikal (*diapirism*) sekuen B di mana di beberapa tempat membentuk tubuh bioherm (*Halimeda* ?). Reflektor yang jelas dengan reflektor internal yang menerus mencirikan sub-sekuen A2. Sub-sekuen A3 dicirikan oleh perulangan



Gambar 2a. Pernampang seismik L-6 yang menunjukkan berbagai sifat akustik dan tahapan proses transgresi dan regresi di Delta Mahakam Kalimantan Timur.

antara reflektor yang menerus dengan amplitudo tinggi, dengan reflektor yang pendek tajam dan di beberapa tempat berupa kanal terkubur (*buried incised valley*).

Struktur diapir dari sekuen B yang menerobos sekuen A membentuk struktur yang unik dimana secara akustik berpola hablur (*turbid*). Pola akustik hablur tampak merupakan tubuh yang terisolasi, berupa benteng tanggul dan secara lokal tumbuh hingga 40 meter dari dasar laut di sekelilingnya sebagai tempat kedudukan tumbuhnya *Halimeda*. Di beberapa tempat fenomena ini berada di bawah permukaan dasar laut pada kedalaman maksimum 15 meter (Gambar 2a dan 2b). Penjelasan umum tentang fenomena ini adalah kemungkinan adanya diapir lumpur atau paket biogenik gas yang masih di bawah permukaan dasar laut (Mc. Quillin et al., 1979).

Menurut Rice dan Claypool (1981), gas biogenik pada umumnya berupa metana, namun dapat pula terdiri dari gas etana, propana, butana dan pentana hingga mencapai 20%. Pada saat konsentrasi gas mencapai tingkat jenuh maksimum selama proses sedimentasi, maka gelembung-gelembung gas akan terbentuk. Gelembung dapat pula merembes ke permukaan dasar laut karena tekanan gas dari dalam dan berkurangnya tekanan hidrostatik. Shurr dan Ridgley (2002), menyatakan bahwa proses erosi, pengangkatan dan turunnya muka air laut serta migrasi vertikal gas pada daerah dengan tekanan hidrostatik yang rendah dapat menimbulkan keluarnya gas ke permukaan dasar laut yang selanjutnya dapat menciptakan kawah lumpur (*pockmark*).

Seismik sekuen B membentuk reflektor yang hampir masif, namun di beberapa tempat dijumpai adanya perulangan reflektor lemah yang menerus. Seismik sekuen B mempunyai ketebalan yang hampir seragam di seluruh daerah penelitian, namun dapat menebal pada saat mengendap di beberapa kolam depresi dalam bentuk fasies reflektor opak terutama di bagian bawah. Fasies reflektor yang relatif transparan di beberapa tempat mempunyai perulangan perlapisan yang menerus dan ditafsirkan sebagai endapan pantai. Di beberapa tempat, seismik sekuen B dapat dibagi menjadi tiga sub-sekuen *B1*, *B2* dan *B3*. Ketiga sub-sekuen ini merupakan urutan progradasi endapan sedimen pantai (*B3*) menjadi endapan sedimen laut lepas (*B1*). Seismik sub-sekuen *B3*

merupakan sub-sekuen terbawah dari sekuen B yang dicirikan oleh reflektor progradasi dan pembajian beberapa paket reflektor pengisi yang terletak secara tidak selaras di atas sekuen *B3* dengan berbagai elevasi *channel fill* yang terisolasi. Di beberapa tempat seismik sekuen B tampak membentuk struktur terobosan diapirisme yang ditumbuhi *Halimeda*, namun pada umumnya tubuh *Halimeda* ini terkubur oleh endapan Delta Mahakam modern yaitu seismik sekuen A (Gambar 2b).

Seismik sekuen C dibatasi oleh ketidakselarasan di bagian atas dan bawahnya berupa bidang erosi. Konfigurasi pola reflektor internalnya membentuk fasies seismik berupa perulangan reflektor tegas dan menerus dengan frekuensi cukup rapat. Secara garis besar seismik sekuen C dapat dibagi menjadi 2 sub-sekuen *C1* dan *C2*. Sub-sekuen *C1* mempunyai ciri reflektor yang menerus, rapat dan berfrekuensi tinggi, namun di beberapa tempat membentuk reflektor yang berundulasi berupa lipatan parasitik (*parasitic folds*, Gambar 2a). Seismik sub-sekuen *C2* dicirikan oleh perulangan reflektor kuat-lemah yang menerus dengan frekuensi yang cukup rapat.

Seismik sekuen D merupakan alas akustik yang terdiri dari minimal dua sub-sekuen. Sub-sekuen *D1* dicirikan oleh perulangan reflektor tegas dan menerus di bagian atas, namun menjadi reflektor semi opak di bagian tengah serta interkalasi reflektor tegas dan menerus kembali di bagian bawahnya. Sub-sekuen *D2* mencirikan alas akustik berfasies opak dan kaotik. Fasies ini mempunyai bidang reflektor yang tidak beraturan namun mempunyai refleksi kuat di bagian atasnya.

DISKUSI

Data seismik resolusi tinggi yang diperoleh dari perairan Delta Mahakam dapat memberikan gambaran dalam rangka mengkaji evolusi daerah paparan Kalimantan Timur selama jaman Kuartar. Turun-naiknya permukaan air laut jaman Kuartar diduga telah menghasilkan beberapa ketidakselarasan dan *diastem* di Delta Mahakam (Crumeyrolle dan Renaud, 2003). Terobosan diapir sekuen B membentuk tinggian batimetrik yang resisten dimana di beberapa tempat tumbuh menjadi *Halimeda* serta merupakan batas luar *delta front*, menghalangi

pengendapan sedimen fluvial di bagian dalam dan sedimen laut di bagian luar tanggul.

Ketidakselarasan yang terbentuk selama jaman Kuartar tampak jelas menunjukkan proses transgresi/regresi (Gambar 2a dan 2b). Morfologi tak beraturan dan variasi unit sedimen yang menutupi ketidakselarasan diperkirakan adalah permukaan yang mengalami berbagai peristiwa erosi selama siklus perubahan muka-air laut jaman Kuartar. Endapan sedimen yang relatif tipis di atas ketidakselarasan dataran-pantai dalam banyak hal merupakan sedimen dataran pantai berumur Kuartar yang ditoreh oleh lembah kanal drainase utama (*incised valley*) pada delta bagian dalam.

Alur sungai besar yang menoreh perlapisan dataran pantai sub-paralel terhadap garis pantai sekarang tampak di sebelah timur pantai Desa Muara Pantuan dan pantai Desa Tani Baru membentuk *incised valley* (Gambar 2a dan 2b). Drainase fluvial yang membentuk Delta Mahakam bisa jadi telah menoreh perlapisan dataran pantai sebelum Plistosen. Sebagian lembah-lembah yang terkubur (*buried channels*) oleh endapan Holosen menunjukkan proses transgresi. *Gas charged sediments* merupakan indikasi adanya sedimen yang kaya akan material organik yang berasal dari *estuarin*. Permukaan lembah transgresif Holosen, yang merupakan ketidakselarasan regional di atas endapan dataran pantai sekarang tampak relatif mendatar mengandung berbagai morfologi *cut and fill* di atasnya yang menerus. Menurut Robert dan Sydow (2003), morfologi *cut and fill* di atas endapan Plistosen yang tererosi oleh permukaan lembah Holosen merupakan bagian dari sistem *glacio-fluvial* yang mengalir Selat Karimata dan Laut Jawa. Endapan Holosen merupakan endapan yang menutup tipis pada sebagian besar *delta front* daerah Delta Mahakam hampir sejauh 20 km ke arah laut lepas. Bidang ketidakselarasan yang memisahkan sekuen A dan B bisa jadi merupakan waktu transgresif yang memisahkan endapan laut transgresif Holosen Awal dan satuan Holosen Akhir yang menerus hingga akresi sekarang.

SIMPULAN

Makalah ini menerangkan hasil sintesa yang diperoleh dari pemetaan bawah permukaan Delta Mahakam dengan menggunakan metode

seismik pantul resolusi tinggi. Penampang seismik secara rinci menunjukkan karakteristik akustik bawah permukaan terutama evolusi endapan sedimen Kuartar Akhir Delta Mahakam. Hasil penafsiran data seismik menunjukkan: (1) Endapan sedimen berumur Plistosen relatif tipis; (2) Endapan sedimen berumur Holosen sangat tipis diperkirakan merupakan hasil rombakan batuan berumur Plistosen dan endapan pesisir yang diendapkan selama transgresi laut terakhir; (3) Selama jaman Kuartar, telah terjadi tiga kali proses regresi (susut laut) dan 4 kali proses transgresi (genang laut); (4) Di Delta Mahakam dijumpai adanya fenomena diapirisme lumpur kala Plistosen yang menjadi alas pertumbuhan *Halimeda*, serta adanya indikasi sedimen mengandung gas biogenik.

ACUAN

- Coleman, J.M., H.H. Roberts, and Oscar K. Huh, 1986, *Deltaic Landforms*, Chapter 5, in "Geomorphology from Space", edited by Nicholas M. Short, Sr. and Robert W. Blair, Jr., 1986 NASA publication.
- Crumeyrolle, P. and I. Renaud, 2005, Quaternary Incised Valley and Low Stand Deltas Imaged with 3D and 2D HR Profiles, Mahakam Delta, Indonesia, *AAPG International Conference*, Barcelona, Spain, September 21-24.
- Gastaldo, R.A. and A.Y. Huc, 1992, *Sediment facies, depositional environments and distribution of phytoclasts in the recent Mahakam River delta, Kalimantan, Indonesia*, Energy Citation Database.
- McQuillin, N.G.T. Fannin, and A. Judd, 1979, IGS Pockmark investigation 1974-1978, report no. 98, *Institute of Geological Science, Continental Shelf Division*.
- Peta Kawasan Delta Mahakam Skala 1: 25.000, Bappeda Kutai Kertanegara (Kuker), Kaltim, 2007.
- Rice, D.D., and G.E. Claypool, 1981, Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas, *AAPG Bull.* v. 65, p. 5-25.
- Roberts, H. H., 2001, Late Quaternary Stratigraphy and Sedimentology of the Offshore Mahakam Delta, East

- Kalimantan (Indonesia), *AAPG Annual Meeting*.
- Roberts, H.H., and J. Sydow, 2003, Late Quaternary structure and sedimentology of the offshore Mahakam Delta, East Kalimantan (Indonesia): *in* Tropical Deltas of Southeast Asia-Sedimentology, Stratigraphy and Petroleum Geology, SEPM Special Publication No. 76, p. 125-145.
- Shurr, G.W. and J.L. Ridgley, 2002, Unconventional Shallow Biogenic Gas Systems, *AAPG Bull.* Vol. 86, no. 1, p. 1939-1969.
- Storms, J.E.A., R. M. Hoogendoorn, R. A.C. Dam, A.J.F. Hoitink and S.B. Kroonenberg, 2005, Late-Holocene evolution of the Mahakam delta, East Kalimantan, Indonesia, *Sedimentary Geology*. Vol. 180, Issues 3-4 ,p 149-166.
- Vail, P.R., Todd, R.M., Widmier, R.G., Thompson, J.M., Sangree, S., Bubb, J.B. and Hatledid, J.N., 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level., *Am. Ass. Petr. Geol. Memoir* 26:49-212.
- Wilson, M.E.J., 2005, Development of Equatorial Delta-Front Patch Reefs During the Neogene, Borneo *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 75; no. 1; p. 114-133.
- <http://id.wikipedia.org>.
- <http://www.pandithopanji.org>.