

GAS BIOGENIK DAN UNSUR MINERAL PADA SEDIMEN DELTA KAPUAS KALIMANTAN BARAT

BIOGENIC GAS AND ELEMENTS OF MINERAL ON SEDIMENT OF THE KAPUAS DELTA WEST KALIMANTAN

Yudi Darlan dan Sahudin

Puslitbang. Geologi Kelautan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jl. Dr. Junjungan No. 236, Bandung-40174
Fax. 022 6017887, email: yudarlan@yahoo.com

Diterima : 11-06-2012 Disetujui : 29-11-2012

ABSTRAK

Gas metan biogenik merupakan gas metan yang terbentuk akibat aktivitas anaerobik. Gas biogenik yang terdapat di daerah penelitian merupakan gas biogenik yang terdapat pada sedimen Kuarter. Sedimen Kuarter yang mengalasi daerah telitian terdiri atas perselingan pasir dan lempung yang mengandung unsur pembentuk mineral dan material organik. Pada sumur bor BH-3 yang mengandung gas biogenik, kandungan bakteri metanogenik sebesar 1,5% dari total bakteri umum, kandungan karbon total sekitar 4%, unsur utama, unsur logam berat, dan unsur tanah jarang (REE) mengalami perubahan yang signifikan. Pada sumur BH-1, BH-2, dan BH-4 kandungan unsur-unsur tersebut tidak menunjukkan perubahan yang mencolok. Penelitian ini adalah untuk memahami keberadaan gas biogenik di daerah Delta Kapuas dengan melihat keragaman sedimen dan unsur pembentuk mineral

Kata kunci: gas metan biogenik, bakteri metanogenik, karbon total, unsur utama, unsur logam berat, unsur tanah jarang, Delta Kapuas, Kalimantan Barat

ABSTRACT

Biogenic methane was formed by anaerobic activity. The biogenic gas was found in the Quaternary sediments in the study area. This sediments consist of alternating sand and clay that contain the element-forming minerals and organic material. Analysis metanogenic bacteria(1,5%), total carbon content(4%), major elements, heavy metals, and rare earth elements (REE) in borehole BH-3 containing biogenic gas is significantly changing. In the borehole of BH-1, BH-2, and BH-4 content elements do not show significant changes. This research is to understand the existence of biogenic gas in the Kapuas Delta region by looking at the diversity of sediment and mineral-forming elements

Keywords: *biogenic methane, bacteria metanogenic, total carbon, major elements, heavy metal elements, rare earths, Delta Kapuas, West Kalimantan*

PENDAHULUAN

Gas metan biogenik merupakan gas dasar (CH₄) terbentuk akibat aktivitas bakteri anaerobik. Bakteri anaerobik tersebut merubah komposisi sedimen organik menjadi gas metan (www.gaschem.com). Gas biogenik terdapat di alam dapat disebut juga sebagai gas rawa atau gas sampah. Gas biogenik yang terdapat di daerah penelitian merupakan gas biogenik yang terdapat pada sedimen Kuarter. Sedimen Kuarter sebagai media gas biogenik terdapat pada kedalaman antara 20 m dan 40 m. Sedimen tersebut terdiri atas perselingan pasir dan lempung yang

mengandung unsur pembentuk mineral dan material organik. Kandungan unsur mineral tertentu pada sedimen yang mengandung gas biogenik mengalami perubahan dalam jumlah persentase berat (ppm/ppb). Data sedimen dari sumur bor digunakan untuk mengidentifikasi sumber gas biogenik. Analisis gas kromatografi digunakan untuk menganalisis komposisi gas pada sedimen dan gas yang keluar dari sumur bor. Data analisis bakteri metanogenik digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri yang terdapat pada sedimen. Analisis total karbon (TOC) digunakan untuk mengetahui jumlah total karbon pada

sedimen sebagai unsur utama terbentuknya gas metan. Analisis unsur utama (*major elements*) digunakan untuk mengetahui jumlah dan komposisi unsur oksida pembentuk sedimen. Analisis unsur logam berat digunakan untuk mengetahui jumlah dan komposisi mineral berat tertentu pada sedimen. Analisis unsur tanah jarang (*Rare Earth Elements, REE*) digunakan untuk mengetahui komposisi dan jumlah REE pada sedimen. Pendalaman analisis unsur sedimen tersebut terhadap keberadaan gas biogenik sebagian telah dilakukan di beberapa penelitian gas biogenik di kawasan pesisir (Darlan, dr., 2005). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami keberadaan gas biogenik di sekitar Delta Kapuas dengan melihat keragaman sedimen dan unsur pembentuk mineral

Daerah penelitian adalah Delta Kapuas termasuk Propinsi Kalimantan Barat. Daerah ini merupakan daerah hunian masyarakat pesisir (*coastal community*), pertanian sawah pasang surut, dan perikanan tangkap. Delta Kapuas terdiri atas pulau-pulau dengan kondisi di sekitar garis pantainya sebagian besar masih terjaga secara alamiah berupa hutan bakau. Kegiatan lalulintas air laut dan penebangan hutan bakau di sekitar Delta Kapuas terutama di sekitar Muara Kakap mengakibatkan rusaknya beberapa hutan bakau. Hutan bakau tersebut merupakan perangkap sedimen organik sebagai sumber gas biogenik (Darlan, dr., 2005). Adanya perubahan lingkungan di sekitar pesisir Delta Kapuas secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap kelangsungan sumber gas biogenik yang sifatnya terbarukan selama kondisi hutan bakau sebagai perangkap sedimen masih terawat dengan baik.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (Darlan, dr., 2005). Data tersebut kemudian dikembangkan dan dianalisis korelasi antara unsur pada sedimen seperti TOC, unsur utama, unsur logam berat, REE dengan gas biogenik pada sedimen yang berasal dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4. Analisis TOC terhadap sedimen dari setiap sumur bor tersebut diplot dalam kurva TOC *versus* sedimen. Analisis unsur utama terhadap sedimen diplot dalam bentuk kurva, dan yang dipilih adalah unsur SiO₂ dan Fe₂O₃ *versus* sedimen. Kedua unsur tersebut dipilih karena unsur tersebut relatif stabil dan mengindikasikan suatu lingkungan tertentu. Analisis logam berat terhadap sedimen diplot

dalam bentuk kurva dan yang dipilih unsur logam Fe *versus* sedimen. Unsur logam Fe dapat menunjukkan kondisi lingkungan tertentu. Analisis REE terhadap sedimen diplot dalam bentuk kurva REE *versus* sedimen. Analisis korelasi tersebut digunakan untuk melihat adanya hubungan antara unsur mineral pada sedimen terhadap keberadaan gas biogenik.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sedimen

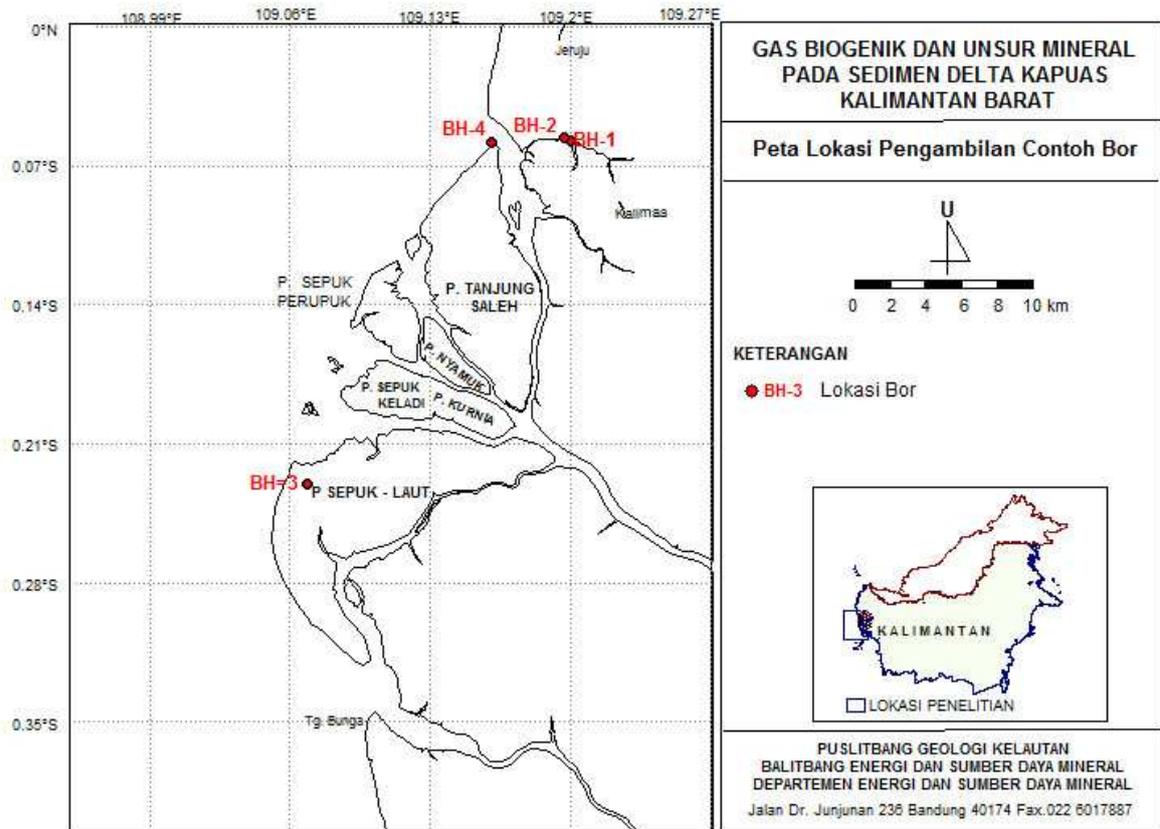
Lokasi sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 (Gambar 1) dan perian megaskopis sedimen dari sumur bor tersebut diplot berupa penampang bor (Gambar 2).

Sumur bor BH-1 dan BH-2

Sumur bor BH-1 dan BH-2 terletak relatif berdekatan terletak di sekitar daerah Muara Kakap. Kedalaman sumur bor masing-masing 50 m. Sedimen pada sumur bor BH-1 dan BH-2 terdiri atas perselingan pasir, lanau, lempung, dan sisipan gambut. Pada sumur bor BH-1 lempung makin banyak dijumpai pada kedalaman mendekati dasar sumur bor. Sedangkan pada sumur bor BH-2 lanau lebih banyak dijumpai. Lapisan gambut di sumur bor BH-1 makin banyak ditemukan pada kedalaman antara kedalaman 26 m dan 50 m, sedangkan lapisan gambut di sumur bor BH-2 hanya ditemukan di kedalaman 25 m. Dari kedua sumur bor tersebut terdapat sumber air tanah dangkal yang berasal dari lapisan pasir sebagai akifer. Pasirnya berwarna abu-abu gelap, berbutir halus, dan banyak mengandung material organik berupa sisa-sisa tumbuhan dan pecahan cangkang moluska.

Sumur bor BH-3

Sumur bor BH-3 terletak di P. Sepuk Laut di kawasan pasang surut. Kedalaman sumur bor BH-3 adalah 45 m. Secara megaskopis sedimennya terdiri atas perselingan pasir, lempung, pasir dan sisipan tipis gambut. Pada kedalaman 0 m dan 10 m sedimennya terdiri atas lempung hitam kaya akan material organik. Pada kedalaman lebih dari 10 m sedimennya disusun oleh pasir halus berwarna abu-abu kecoklatan dengan tebal antara 20 cm dan 50 cm berselingan dengan lempung lunak berwarna hitam, hijau kecoklatan, mengandung kepingan organik berupa kayu dan tumbuh-tumbuhan, berbau busuk. Lapisan lempung tersebut mempunyai ketebalan lebih dari 1 m. Pada kedalaman 43 m dan 45 m sedimennya terdiri



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan contoh sumur bor di Delta Kapuas Kalimantan Barat (Darlan, drr., 2005)

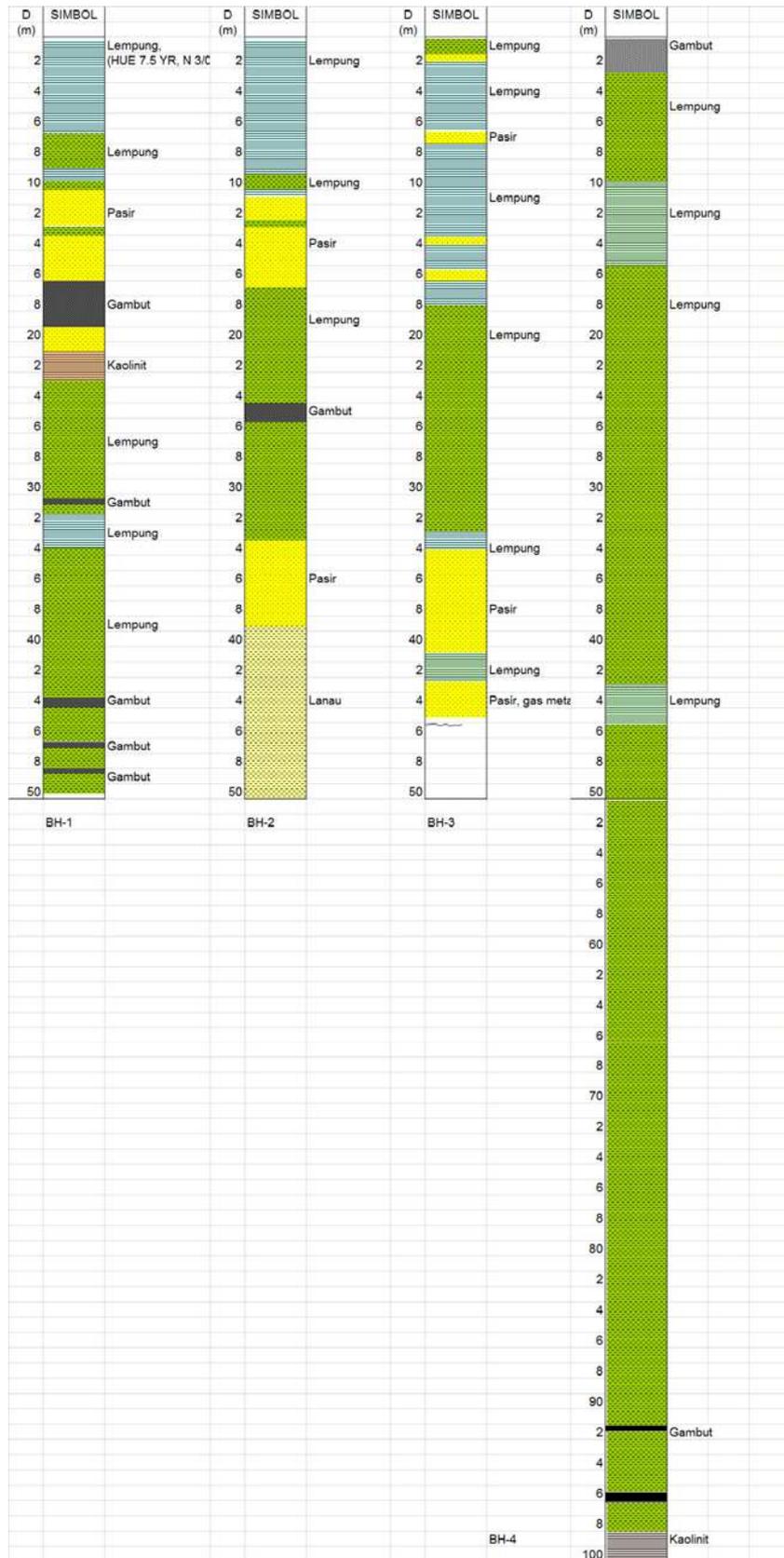
atas pasir halus, berwarna abu-abu kecoklatan, terdapat sisa-sisa material organik.

Sumur bor BH-4

Sumur bor BH-4 mencapai kedalaman 100m. Sedimen pada sumur bor BH-4 sebagian besar berupa lempung yang disisipi oleh gambut dan lempung hitam organik. Pada kedalaman 0 m - 2.5 m sedimennya terdiri atas gambut berwarna hitam kecoklatan, terurai, dengan tebal lapisan mencapai 2.5 m. Kedalaman antara 2.5 m dan 45 m sedimennya terdiri atas lempung hitam kecoklatan, lunak, dan mengandung material organik 30%. Pada kedalaman antara 45 m dan 50 m sedimennya berupa lempung hitam yang agak kompak dan lengket. Pada kedalaman antara 50 m dan 91m sedimennya terdiri atas lempung abu-abu kehijauan, kompak, dan sangat lengket. Pada kedalaman antara 91 m – 92 m dan antara 96 m – 97 m terdapat lapisan gambut hitam sangat kompak, tebal antara 10 cm dan 20 cm. Pada kedalaman antara 99 m dan 100 m sedimen terdiri atas lempung kaolinit, sangat lengket, kompak, berwarna coklat terang hingga coklat agak pudar.

Analisis kandungan gas

Analisis gas dilakukan pada gas dan sedimen dari sumur bor yang mengandung gas biogenik. Dari ke empat sumur bor hanya sumur bor BH-3 yang mengandung gas. Gas yang keluar dari sumur bor tersebut bertekanan sangat rendah kurang dari 1 milibar. Hasil analisis berupa jenis dan konsentrasi gas dalam %. Berdasarkan analisis gas yang keluar dari sumur bor BH-3, gas tersebut sebagian besar mengandung kandungan gas nitrogen N_2 di atas 70%, gas oksigen O_2 lebih dari 15%, gas metana CH_4 antara 2% dan 8%, dan gas hydrogen H_2 dan karbon dioksida CO_2 kurang dari 1%. Sebanyak empat contoh sedimen dianalisis gas. Pada kedalaman antara 0 m dan 8 m gasnya terdiri atas gas tetranitromethane lebih dari 90% dan kurang dari 1% gas octyl-4-carboxylic acid. Pada kedalaman 11m gasnya terdiri atas tetranitromethane (93.78%), dan octyl-4-carboxylic acid kurang dari 2%. Pada kedalaman 19 m gas terdiri atas tetranitromethane lebih dominan (98%), dan sebagian kecil gas octyl-4-carboxylic acid. Pada kedalaman antara 23 m dan



Gambar 2. Data perian sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 Delta Kapuas, Kalimantan Barat (Darlan, drr., 2005)

25 m gas terdiri atas tetranitromethane (97%), dan sedikit gas Bis[4-(phenylsulphonyl) phenyl] carbonate (3%). Pada kedalaman antara 39 m dan 45 m terdiri atas beta ionone epoxide lebih dari 90%, dan kurang dari 10% gas tetranitromethane. Analisis identifikasi gas dilakukan juga pada contoh sedimen tersebut yang diekstraksi. Berdasarkan analisis gas pada kedalaman 8m gas terdiri atas methyl ester (27%), carotene (25%), propane (20%), dan 10% terdiri atas diclorophephenyl, dan phenylpropyl isobutyrate. Pada kedalaman 11 m gas terdiri atas methyl ester (62%), ehtyphenyl, tetramethyl, dan chloromethoxyl. Pada kedalaman antara 19 m dan 23 m gas terdiri atas 98% ethane dan ethyl ether. Pada kedalaman antara 39m dan 45 m gas terdiri atas 20% propanol, butanol, dan phenol, dan 80% ethane.

Analisis bakteri metanogenik

Berdasarkan analisis bakteri pada contoh sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 sebagian besar contoh sedimen tersebut mengandung bakteri metanogenik. Dengan kata lain gas biogenik pada sedimen tersebut kemungkinan bisa terbentuk. Jumlah bakteri metanogenik terdapat jumlah bakteri umum pada contoh sedimen tersebut sangat kecil berkisar antara 0.3% dan 1.5%.

Pada contoh sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, dan BH-4, perubahan persentase bakteri metanogenik tidak mengindikasikan perubahan yang mencolok. Pada kedalaman antara 1 m dan 15 m kandungan bakteri metanogenik dari jenis *Methanolobus tindarius* sekitar 0.3% atau berkisar antara 2.50×10^5 dan 3.00×10^5 . Ciri fisik bakteri ini di bawah mikroskop berbentuk bulat, koloni jingga cerah, mengkilap. Jenis sedimen yang mengandung jenis bakteri ini sebagian besar terdiri atas lumpur abu-abu kehitaman, sangat lunak, mengandung sebageian besar material organik dan berbau busuk. Pada kedalaman antara 15 m dan 50 m kandungan bakteri berangsur turun baik dari jenis bakteri non metanogenik dan bakteri metanogenik. Jenis bakteri metanogeniknya yang dijumpai pada kedalaman tersebut sebageian besar dari jenis *Methanosphaera stadtmanae*. Secara fisik bakteri tersebut berupa koloni putih tak beraturan, sel berbentuk bulat. Jenis sedimennya berupa lempung abu-abu gelap, agak kompak, mengandung material organik dan berbau busuk. Pada kedalaman lebih dari 50 m untuk sumur bor BH-4 sedikit sekali dijumpai bakteri metanogenik. Sedimen di kedalaman

tersebut kurang cocok untuk perkembangan bakteri metanogenik. Sedimennya berupa lempung yang sangat lengket, agak padu, dan sedikit sekali mengandung bahan organik

Untuk sumur bor BH-3 yang mengandung gas biogenik pada kedalaman antara 20 m dan 30 m kandungan bakteri metanogenik sangat banyak. Jenis bakteri metanogeniknya yaitu *Methanoplanus endosymbiosus*. Bakteri ini berbentuk koloni putih bening, dan selnya bebentuk bulat. Sedimen pada kedalaman tersebut terdiri atas lumpur hitam, banyak mengandung material organik, dan berbau busuk. Jenis sedimen ini cocok untuk lingkungan bakteri metanogenik tersebut.

Analisis TOC

Analisis kandungan karbon total dilakukan pada contoh-contoh sedimen yang berasal dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4. Data analisis kandungan karbon dinyatakan dalam satuan % berat (Tabel 1). Kandungan karbon total versus sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 dengan menggunakan data dari Tabel 1 diplot berupa kurva (Gambar 3).

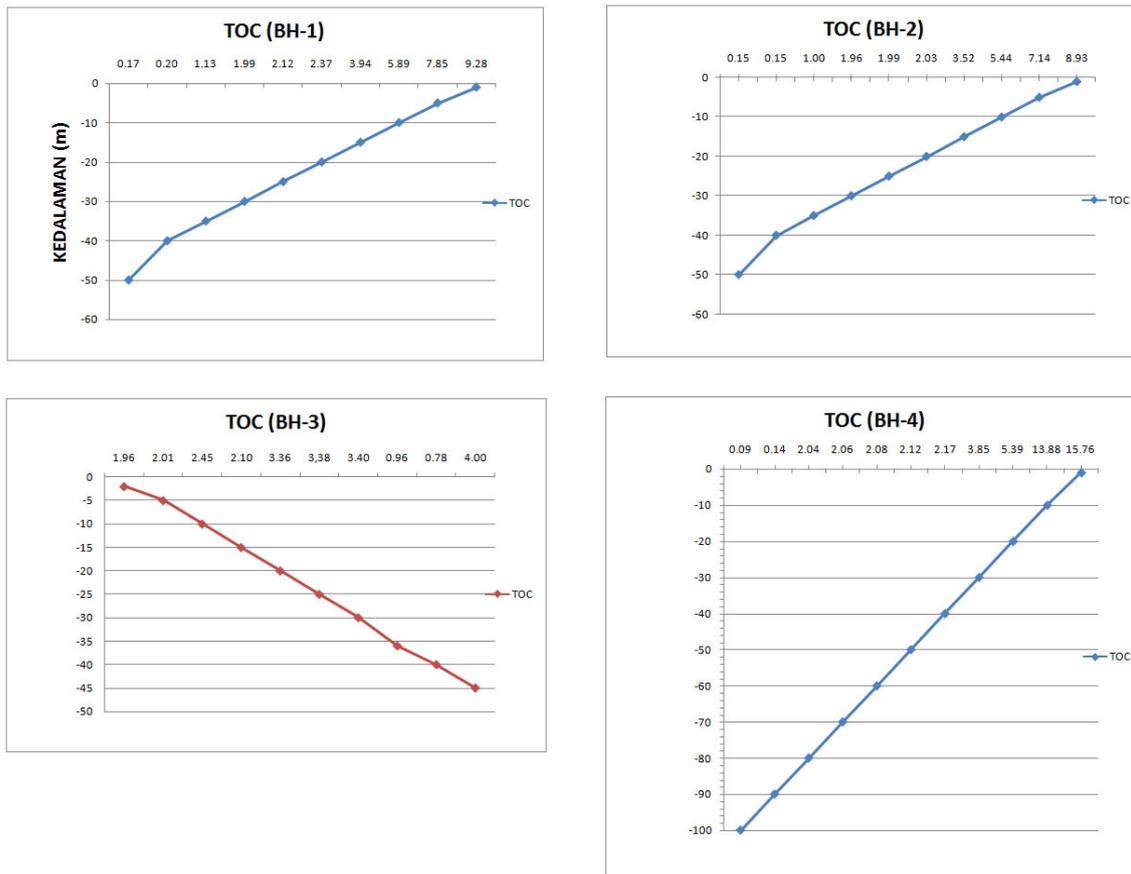
Berdasarkan analisis kandungan karbon total, kandungan karbon total (%) pada sedimen di sekitar permukaan (0m) untuk sumur bor BH-1, BH-2, dan BH-4 cukup tinggi (8.0% - 16.0%). Pada sedimen di bawah permukaan kandungan karbon total untuk ke tiga sumur bor tersebut berkurang sejalan dengan bertambahnya kedalam yaitu berkisar antara 0.09% hingga 0.17%. Hal ini sesuai dengan hasil perian sedimen dari ketiga sumur bor tersebut. Sedimen di sekitar permukaan banyak mengandung material organik, sedangkan sedimen makin jauh di bawah permukaan bersifat kaolinit. Sebaliknya untuk sumur bor BH-3 kandungan karbon totalnya bertambah sejalan dengan bertambahnya kedalaman yaitu dari 1.96% sampai dengan 4.00% (Gambar 3). Sedimen dengan kandungan karbon total > 2% dan dalam lingkungan anaerobik berpotensi untuk terbentuknya gas biogenik (Rice dan Claypool, 1981). Jadi sedimen yang mengandung material organik sekalipun cukup tinggi (>2%) pada lingkungan aerobik kemungkinan kecil terbentuknya gas biogenik.

Analisis unsur utama

Data komposisi unsur utama dapat memberikan informasi yang sangat penting baik tentang batuan sumber (*source rocks*) maupun tentang asal mula (*origin*) atau *provenance* dari endapan sedimen tersebut. Endapan residu hasil

Tabel 1. Data analisis kandungan karbon total pada sedimen sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 Delta Kapuas (Darlan,drr., 2005)

Contoh	Sedimen	TOC (%)
MKB1-1	Lumpur, abu-abu gelap (HUE7.5YR,N3/0), sisa tumbuhan, kuarsa	9.28
MKB1-5	Lumpur, abu-abu gelap (HUE7.5YR,N3/0), sisa tumbuhan, kuarsa	7.85
MKB1-10	Lumpur, hitam kecoklatan(5 YR 2/1), lunak, organik, kuarsa	5.89
MKB1-15	Pasir sangat halus, abu-abu kecoklatan, organik, kuarsa	3.94
MKB1-20	Pasir sangat halus, abu-abu kecoklatan, organik, kuarsa	2.37
MKB1-25	Lempung, abu-abu terang-putih, kompak, kaolin	2.12
MKB1-30	Lempung, abu-abu terang-putih, kompak, kaolin, organik	1.99
MKB1-35	Lempung, abu-abu terang-putih, kompak, kaolin, organik	1.13
MKB1-40	Lempung, abu-abu keputatan, agak kompak, organik	0.20
MKB1-50	Lempung, coklat tua, agak kompak, organik	0.17
MKB2-1	Lumpur, abu-abu, agak kompak, plastis	8.93
MKB2-5	Lumpur, abu-abu sangat gelap, lunak,	7.14
MKB2-10	Lempung, abu-abu, mengersik, kasar, lunak	5.44
MKB2-15	Pasir, abu-abu (HUE 2.5 Y, N 5/0), agak kompak, sangat halus	3.52
MKB2-20	Lempung, abu-abu terang-gelap, agak kompak, lengket	2.03
MKB2-25	Lempung, abu-abu terang, agak kompak, lengket	1.99
MKB2-30	Lempung, abu-abu, agak kompak, organik	1.96
MKB2-35	Pasir, abu-abu gelap, agak kompak, organik	1.00
MKB2-40	Lanau, abu-abu sangat gelap, kompak, organik	0.15
MKB2-50	Lanau, abu-abu sangat gelap, kompak, organik	0.15
MKB3-2	Lempung, hitam keputatan, organik, kuarsa, mika	1.96
MKB3-5	Lumpur, hitam keputatan, organik, kuarsa, mika	2.01
MKB3-10	Lumpur, hitam keputatan, organik, kuarsa, mika	2.45
MKB3-15	Lumpur, hitam keputatan, organik, kuarsa, fosil kayu	2.10
MKB3-20	Lempung, hijau pucat, kaolin, kuarsa, fosil kayu	3.36
MKB3-25	Lempung, hijau pucat, agak kompak, kuarsa, fosil kayu	3,38
MKB3-30	Lempung, hijau pucat, agak kompak, kuarsa, fosil kayu	3.40
MKB3-36	Pasir, abu-abu kecoklatan, sangat halus, organik, kuarsa	0.96
MKB3-40	Pasir, abu-abu kecoklatan, sangat halus, fosil kayu	0.78
MKB3-45	Pasir, abu-abu kecoklatan, sangat halus, fosil kayu	4.00
MKB4-1	Sisa-sisa tumbuhan, hitam kecoklatan	15.76
MKB4-10	Lumpur, hitam keputatan, organik, kuarsa	13.88
MKB4-20	Lempung, hitam keputatan, lunak, organik	5.39
MKB4-30	Lempung, hitam keputatan, lunak, organik	3.85
MKB4-40	Lempung, hitam keputatan, lunak, organik	2.17
MKB4-50	Lempung, abu-abu kehijauan, agak kompak, organik	2.12
MKB4-60	Lempung, abu-abu kehijauan, agak kompak, lengket	2.08
MKB4-70	Lempung, abu-abu kehijauan, agak kompak, lengket	2.06
MKB4-80	Lempung, abu-abu kehijauan, agak kompak, lengket	2.04
MKB4-90	Lempung, abu-abu kehijauan, kompak, sangat lengket	0.14
MKB4-100	Kaolin, coklat pudar terang, kompak, sangat lengket,	0.09



Gambar 3. Kurva kandungan karbon total (%) versus sedimen (m) dari sumur bor BH-1, BH2, BH-3 dan BH-4 Delta Kapuas (Sumber Tabel 1)

pelapukan batuan akan mengalami pengkayaan dalam unsur Si, Al dan Fe, dan kekurangan unsur Mg, Ca, Na, dan K. Beberapa unsur utama seperti Fe, Ca dan Si mungkin dapat mengalami peningkatan kadar dalam sedimen lempungan (Pettijohn, 1957 dan Folk, 1968). Data analisis semua unsur utama pada sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3 dan BH-4 disajikan pada Tabel 2. Sedangkan unsur utama SiO₂ dan Fe₂O₃ dipilih dalam penelitian ini karena kedua unsur tersebut dapat mencirikan suatu kondisi lingkungan sedimentasi dan mineralisasi. Analisis unsur SiO₂ dan Fe₂O₃ versus sedimen untuk sumur bor BH-1, BH-2, BH-3 dan BH-4 diplot berupa kurva (Gambar 4 dan Gambar 5).

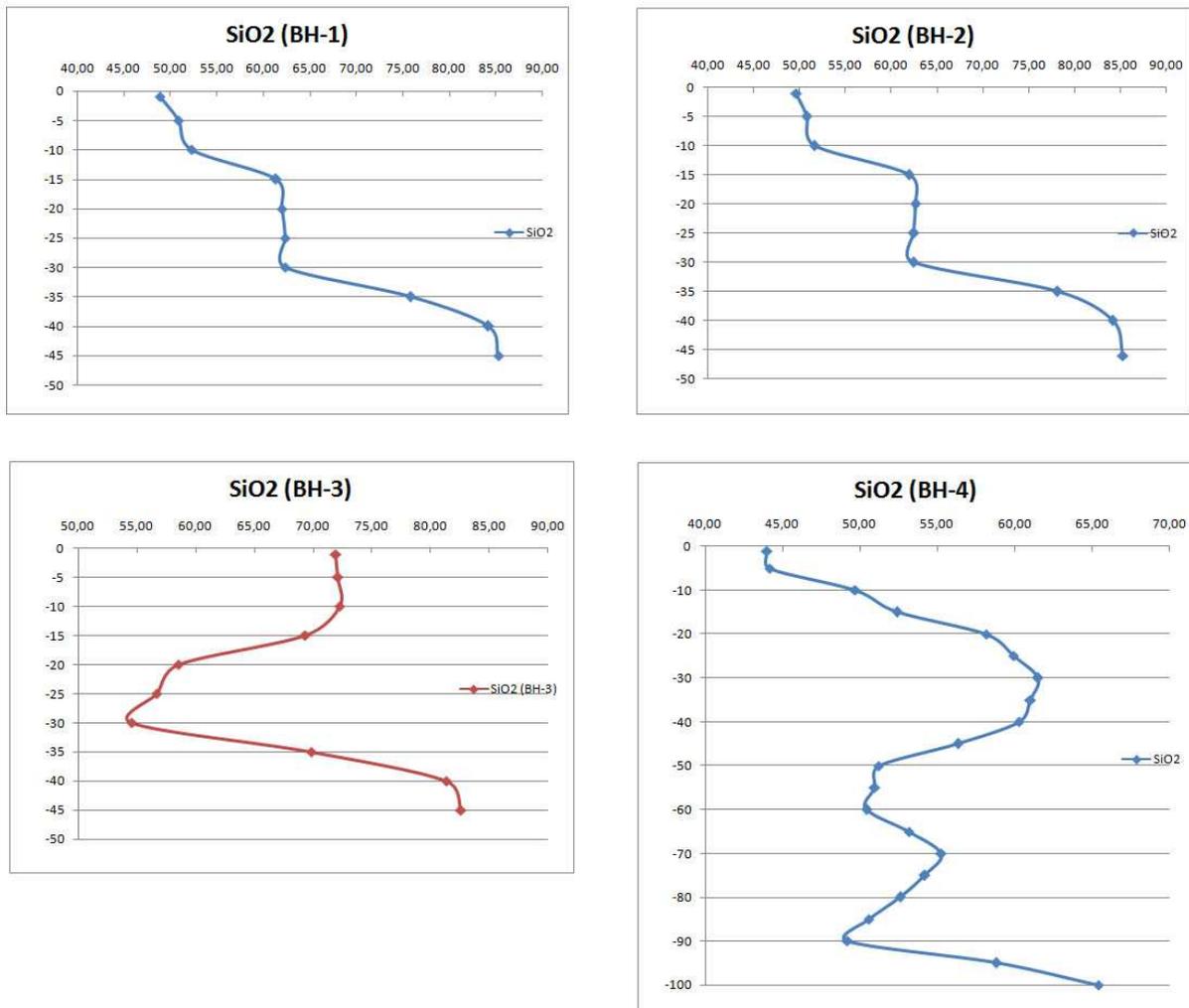
Berdasarkan analisis unsur SiO, pada sedimen permukaan (0 m) kandungan SiO₂ dari sumur bor BH-1, BH-2, dan BH-4 berkisar antara 45% dan 50%. Kandungan SiO₂ tersebut naik antara 65% dan 85% untuk sedimen pada kedalaman antara 50

m dan 100 m. Sebaliknya untuk sumur bor BH-3 kandungan SiO₂ pada sedimen turun dari 70% menjadi 50% pada kedalaman antara 0 m hingga 30 m. Selanjutnya kandungan SiO₂ pada sedimen naik menjadi 85% di kedalaman 50 m. Ringkasnya bentuk kurva SiO₂ pada lubang bor BH-1, BH-2, dan BH-4 ada suatu kesamaan pola yang berbeda dengan kurva SiO₂ pada lubang bor BH-3 yang mengandung gas biogenik. Perubahan kurva kandungan SiO₂ pada sedimen yang tidak mengandung gas biogenik berangsur naik, sebaliknya kurva SiO₂ berangsur turun untuk sedimen yang mengandung gas biogenik dalam lingkungan anaerobik.

Untuk analisis unsur Fe₂O₃, kandungan Fe₂O₃ pada sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2 turun dari sekitar 7% menjadi sekitar 2% untuk sedimen pada kedalaman antara 0m hingga 50 m. Begitu juga untuk sumur bor BH-4 kandungan Fe₂O₃ relatif stabil antara 6% dan 8% untuk sedimen pada kedalaman antara 0 m dan 100 m.

Tabel 2. Data analisis unsur utama pada sedimen sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, BH-4 Delta Kapuas (Darlan, drr., 2005)

NO	CONTOH	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	H ₂ O (%)	HD (%)
1	MKB1-1	48,89	19,50	6,80	0,95	1,72	0,79	1,78	0,72	0,06	0,16	0,01	2,05	16,57
2	MKB1-5	50,86	19,75	7,23	1,10	1,84	0,81	1,82	0,73	0,07	0,16	0,01	2,05	13,57
3	MKB1-10	52,24	19,89	7,89	1,24	2,00	0,85	1,93	0,80	0,07	0,17	0,01	2,20	10,71
4	MKB1-15	61,32	18,00	6,51	0,80	1,63	0,69	1,76	0,85	0,07	0,17	0,01	1,92	6,27
5	MKB1-20	61,95	19,43	5,24	0,15	0,68	0,30	1,60	0,90	0,03	0,10	0,01	1,58	8,03
6	MKB1-25	62,30	19,68	3,20	0,15	0,62	0,30	1,70	0,92	0,03	0,08	0,02	1,60	9,40
7	MKB1-30	62,35	21,98	1,52	0,16	0,62	0,29	1,82	0,95	0,03	0,03	0,00	1,60	8,65
8	MKB1-35	75,81	14,00	2,00	0,19	0,55	0,22	1,10	0,68	0,03	0,07	0,01	1,25	4,09
9	MKB1-40	84,14	5,20	2,46	0,24	0,40	0,10	0,54	0,28	0,02	0,07	0,01	0,75	5,79
10	MKB1-45	85,24	5,00	2,67	0,23	0,34	0,10	0,52	0,30	0,02	0,08	0,01	0,73	4,76
11	MKB2-1	49,63	19,61	7,10	1,00	1,85	0,82	1,90	0,80	0,07	0,17	0,01	2,10	14,94
12	MKB2-5	50,74	19,83	7,52	1,28	1,90	0,85	1,95	0,81	0,08	0,18	0,01	2,10	12,75
13	MKB2-10	51,58	20,02	7,79	1,31	2,10	0,90	2,01	0,86	0,08	0,18	0,01	2,35	10,81
14	MKB2-15	61,92	18,12	6,81	0,85	1,83	0,73	1,83	0,90	0,06	0,15	0,02	2,00	4,78
15	MKB2-20	62,60	16,86	5,48	0,17	0,75	0,39	1,62	0,99	0,03	0,11	0,02	1,63	9,35
16	MKB2-25	62,46	19,74	3,92	0,16	0,70	0,37	1,78	1,00	0,03	0,09	0,02	1,65	8,08
17	MKB2-30	62,35	22,25	1,73	0,16	0,67	0,35	1,91	1,02	0,02	0,03	0,00	1,68	7,83
18	MKB2-35	78,12	14,39	2,10	0,24	0,58	0,24	1,20	0,72	0,02	0,09	0,01	1,30	0,99
19	MKB2-40	84,14	5,51	2,72	0,30	0,44	0,10	0,60	0,32	0,02	0,09	0,01	0,87	4,88
20	MKB2-46	85,24	5,30	2,87	0,27	0,35	0,10	0,63	0,37	0,02	0,12	0,02	0,80	3,91
21	MKB3-1	71,93	7,28	3,03	0,43	0,65	0,38	0,76	0,25	0,03	0,17	0,01	1,78	13,30
22	MKB3-5	72,11	8,54	3,65	0,49	0,69	0,45	0,84	0,32	0,03	0,16	0,01	1,62	11,09
23	MKB3-10	72,28	9,03	4,06	0,56	0,76	0,76	1,14	0,48	0,04	0,16	0,01	1,58	9,14
24	MKB3-15	69,34	13,25	5,58	0,59	1,10	1,00	1,40	0,65	0,05	0,16	0,01	1,69	5,18
25	MKB3-20	58,51	16,44	6,28	0,62	1,49	1,32	1,69	0,72	0,07	0,17	0,01	1,71	10,97
26	MKB3-25	56,68	17,68	6,84	0,96	1,71	1,21	1,74	0,70	0,06	0,17	0,01	2,10	10,14
27	MKB3-30	54,53	18,28	7,17	1,42	1,98	1,10	1,93	0,65	0,06	0,15	0,01	2,67	10,05
28	MKB3-35	69,85	12,72	5,26	1,23	1,32	0,86	1,46	0,58	0,05	0,08	0,02	1,90	4,67
29	MKB3-40	81,35	7,12	3,09	1,06	0,84	0,46	1,04	0,34	0,04	0,06	0,02	0,83	3,75
30	MKB3-45	82,58	6,35	3,57	1,02	0,82	0,42	1,02	0,35	0,04	0,06	0,02	0,80	2,95
31	MKB4-1	44,00	13,10	6,43	0,48	1,40	1,10	1,20	0,55	0,05	0,10	0,01	3,20	28,38
32	MKB4-5	44,16	14,19	6,76	0,59	1,40	1,28	1,24	0,60	0,05	0,18	0,01	3,36	26,18
33	MKB4-10	49,68	14,11	6,15	0,57	1,38	1,20	1,29	0,61	0,05	0,18	0,01	3,20	21,57
34	MKB4-15	52,37	14,08	6,00	0,54	1,38	1,11	1,35	0,61	0,04	0,16	0,02	2,92	19,42
35	MKB4-20	58,15	14,03	5,78	0,50	1,37	1,04	1,41	0,63	0,04	0,16	0,02	2,56	14,31
36	MKB4-25	59,92	13,93	5,62	0,47	1,35	1,03	1,40	0,68	0,04	0,16	0,02	2,45	12,93
37	MKB4-30	61,49	13,82	5,57	0,45	1,27	1,01	1,40	0,69	0,04	0,18	0,01	2,31	11,76
38	MKB4-35	61,00	14,05	5,58	0,46	1,28	1,00	1,39	0,67	0,04	0,09	0,01	2,30	12,13
39	MKB4-40	60,25	14,42	5,59	0,47	1,29	1,00	1,39	0,64	0,04	0,07	0,01	2,24	12,59
40	MKB4-45	56,32	17,23	6,26	0,68	1,82	1,25	1,72	0,64	0,06	0,10	0,01	2,28	11,63
41	MKB4-50	51,21	20,73	7,59	0,77	2,10	1,47	2,05	0,69	0,06	0,10	0,01	2,37	10,85
42	MKB4-55	50,95	20,70	7,95	0,82	2,20	1,50	2,06	0,69	0,06	0,10	0,01	2,50	10,46
43	MKB4-60	50,40	20,67	8,53	0,91	2,33	1,55	2,08	0,69	0,07	0,12	0,01	2,62	10,02
44	MKB4-65	53,16	19,21	7,82	0,93	2,00	1,11	2,05	0,70	0,07	0,15	0,01	2,30	10,49
45	MKB4-70	55,25	18,80	7,09	0,97	1,80	1,14	2,01	0,70	0,07	0,17	0,01	1,98	10,01
46	MKB4-75	54,18	19,68	7,34	1,00	1,90	1,29	2,05	0,68	0,07	0,16	0,01	2,00	9,64
47	MKB4-80	52,61	20,23	7,65	1,10	2,04	1,48	2,06	0,67	0,07	0,14	0,01	2,07	9,87
48	MKB4-85	50,57	20,82	7,86	1,35	2,28	1,50	2,10	0,71	0,07	0,14	0,01	2,32	10,27
49	MKB4-90	49,19	21,02	8,13	1,52	2,54	1,59	2,22	0,73	0,07	0,14	0,01	2,51	10,33
50	MKB4-95	58,79	18,10	7,94	0,98	1,20	0,90	1,50	0,74	0,04	0,10	0,01	2,12	7,58
51	MKB4-100	65,41	15,76	7,22	0,38	0,71	0,55	1,01	0,77	0,03	0,01	0,01	1,03	7,11



Gambar 4. Analisis unsur utama SiO₂ (%) versus sedimen (m) dari sumur bor BH-1, BH2, BH-3 dan BH-4 Delta Kapuas (Sumber Tabel 2)

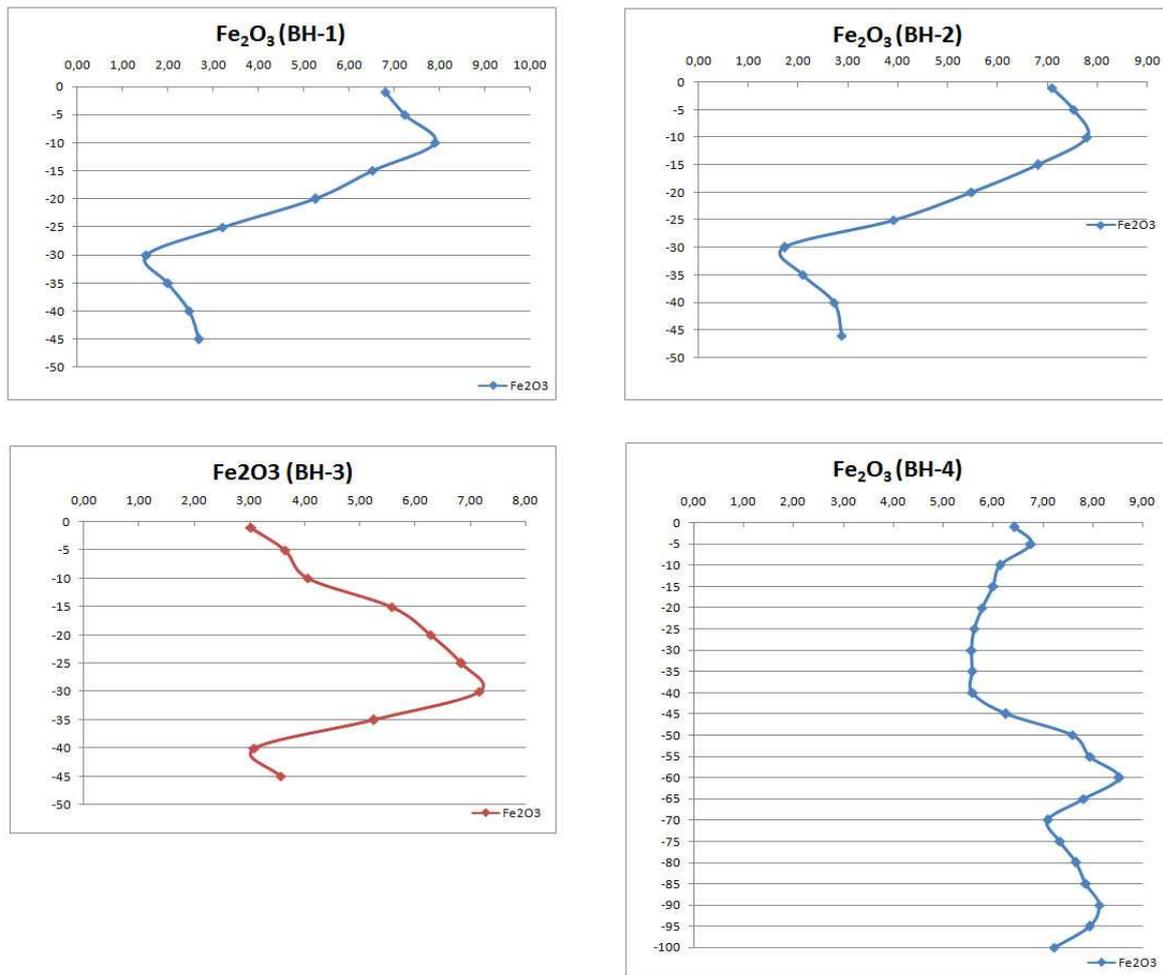
Sebaliknya sedimen dari sumur bor BH-3 kandungan Fe₂O₃ naik dari 3% menjadi 7% pada kedalaman antara 0 m dan 30 m. Selanjutnya pada sumur bor yang sama Fe₂O₃ tersebut turun antara 3% dan 4% pada sedimen di kedalaman 35 m dan 45 m. Berdasarkan analisis kandungan unsur Fe₂O₃, unsur Fe₂O₃ meningkat pada sedimen yang mengandung gas biogenik yang menunjukkan suatu lingkungan anaerobik.

Analisis logam berat

Kandungan logam berat dalam sedimen dapat terjadi akibat bawaan asal sedimen itu sendiri atau karena dampak kegiatan manus. Meningkatnya kandungan unsur logam berat pada sedimen dapat terjadi akibat proses pengakayaan mineral (reduksi atau oksidasi). Analisis unsur logam berat Fe digunakan pada penelitian ini karena unsur logam

ini sebagian besar terdapat pada sedimen dengan kondisi lingkungan anaerobik seperti lempung rawa. Data analisis unsur-unsur logam berat dicantumkan dalam Tabel 3. Analisis unsur logam Fe versus sedimen untuk sumur bor BH-1, BH-2, BH-3 dan BH-4 diplot berupa kurva (Gambar 6).

Berdasarkan analisis unsur logam Fe, kandungan unsur logam Fe pada sedimen dari sumur bor BH-1 dan BH-2 di kedalaman antara 0 m – 5 m untuk berkisar antara 30.000 ppm dan 40.000 ppm. Unsur logam Fe tersebut berangsur turun dari 40.000 ppm hingga 10.000 ppm pada sedimen di kedalaman antara 5 m dan 50 m. Untuk sumur bor BH-4 unsur logam Fe relatif stabil tidak menunjukkan perubahan yang mencolok yaitu berkisar antara 30.000ppm dan 45.000 ppm baik pada sedimen di permukaan (0 m) maupun sedimen jauh dari permukaan (100 m). Sementara



Gambar 5. Analisis unsur utama Fe₂O₃ (%) versus sedimen (m) dari sumur bor BH-1, BH2, BH-3 dan BH-4 Delta Kapuas (Sumber Tabel 2)

kandungan unsur logam Fe pada sedimen dari sumur bor BH-3 memperlihatkan perubahan yang berlawanan dengan yang terjadi di sumur bor BH-1 dan BH-2. Unsur logam Fe pada sumur bor BH-3 berangsur naik dari 15.000 ppm menjadi 45.000 ppm dari kedalaman 0m hingga 30m. Pada kedalaman antara 30 m dan 50 m kandungan unsur logam Fe tersebut berubah antara 15.000 ppm dan 45.000 ppm. Hasil analisis unsur logam Fe menunjukkan bahwa kandungan unsur logam Fe meningkat pada sedimen dengan kondisi lingkungan anaerobik dimana gas biogenik terbentuk (BH-3). Sebaliknya pada sedimen yang tidak mengandung gas biogenik kandungan unsur logam Fe rendah atau tidak memperlihatkan suatu perubahan yang mencolok.

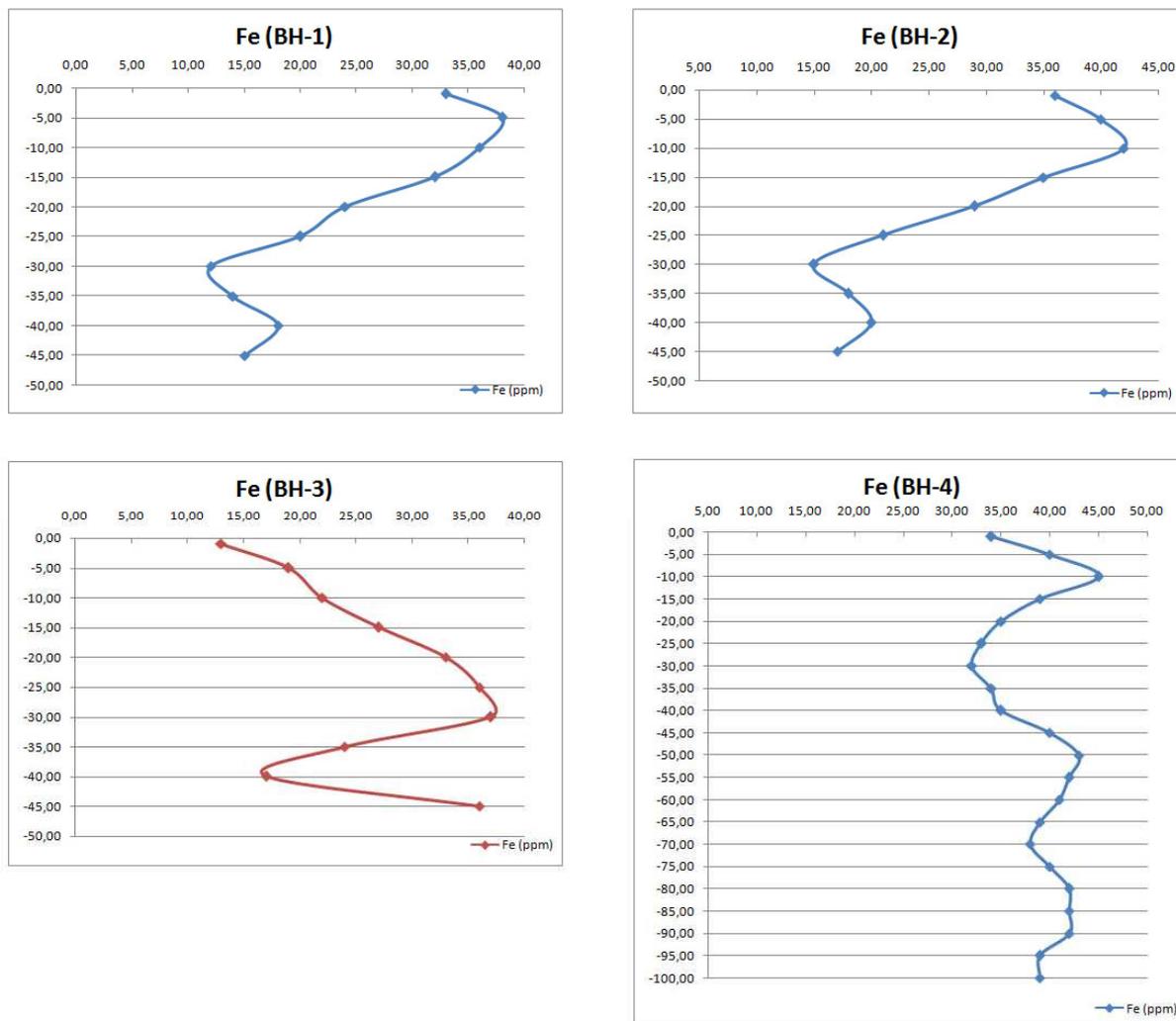
Unsur Tanah Jarang (Rare Earth Element, REE)

Unsur tanah jarang adalah unsur yang sering dikaitkan dengan energi termal apakah sebagai sumber atau sebagai peredam (isolator). Unsur - unsur penting dalam mineral seperti unsur cerium (Ce) dan lantanum (La) sebagai unsur radioaktif yang ada hubungannya dengan energi. Unsur yitrium (Y) sebagai isolator suhu sangat tinggi. Unsur zirkonium (Zr) sebagai isolator terhadap proses korosif. Unsur neodmium (Nd) digunakan sebagai katalis pengurai. Unsur-unsur tersebut mungkin ada hubungannya dengan indikasi sumber panas dalam hal ini gas biogenik. Data analisis unsur tanah jarang pada sedimen dari sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, dan BH-4 dicantumkan pada Tabel 4.

Berdasarkan data analisis unsur tanah jarang, pada umumnya unsur tanah jarang yang terdapat pada sedimen dari ke empat sumur bor tersebut

Tabel 3 Data analisis unsur logam berat pada sedimen sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, BH-4 Delta Kapuas (Darlan, drr., 2005)

NO	CONTOH	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Mn ppm	Ag ppm	Fe 10 ³ ppm	Cr ppm	Cd ppm	Au ppb	Hg ppb
1	MKB1-1	26,00	91,00	81,00	40,00	112,00	2,00	33,00	64,00	3,00	3,00	389,00
2	MKB1-5	23,00	89,00	89,00	41,00	243,00	2,00	38,00	68,00	3,00	3,00	287,00
3	MKB1-10	22,00	81,00	90,00	41,00	321,00	1,00	36,00	67,00	4,00	3,00	231,00
4	MKB1-15	20,00	63,00	85,00	41,00	136,00	1,00	32,00	72,00	4,00	4,00	274,00
5	MKB1-20	17,00	42,00	72,00	42,00	43,00	1,00	24,00	79,00	4,00	4,00	310,00
6	MKB1-25	22,00	62,00	69,00	50,00	70,00	2,00	20,00	86,00	4,00	2,00	298,00
7	MKB1-30	28,00	90,00	64,00	61,00	112,00	3,00	12,00	85,00	3,00	2,00	280,00
8	MKB1-35	20,00	98,00	59,00	34,00	112,00	3,00	14,00	63,00	3,00	2,00	291,00
9	MKB1-40	12,00	110,00	53,00	17,00	106,00	1,00	18,00	28,00	2,00	2,00	311,00
10	MKB1-45	12,00	20,00	45,00	18,00	106,00	1,00	15,00	25,00	2,00	5,00	276,00
11	MKB2-1	27,00	97,00	88,00	42,00	126,00	2,00	36,00	69,00	4,00	4,00	402,00
12	MKB2-5	24,00	91,00	90,00	43,00	258,00	2,00	40,00	70,00	4,00	4,00	312,00
13	MKB2-10	22,00	84,00	91,00	44,00	348,00	2,00	42,00	74,00	4,00	4,00	257,00
14	MKB2-15	19,00	68,00	88,00	44,00	165,00	1,00	35,00	78,00	5,00	5,00	280,00
15	MKB2-20	17,00	49,00	75,00	44,00	56,00	1,00	29,00	80,00	5,00	6,00	312,00
16	MKB2-25	24,00	65,00	70,00	53,00	72,00	3,00	21,00	90,00	5,00	3,00	300,00
17	MKB2-30	30,00	96,00	64,00	62,00	118,00	5,00	15,00	94,00	5,00	3,00	288,00
18	MKB2-35	21,00	100,00	58,00	36,00	110,00	3,00	18,00	65,00	2,00	2,00	295,00
19	MKB2-40	13,00	112,00	54,00	18,00	111,00	2,00	20,00	31,00	2,00	2,00	312,00
20	MKB2-46	12,00	21,00	47,00	20,00	106,00	1,00	17,00	27,00	2,00	7,00	282,00
21	MKB3-1	10,00	57,00	40,00	14,00	133,00	1,00	13,00	20,00	1,00	<2	274,00
22	MKB3-5	19,00	34,00	52,00	21,00	175,00	1,00	19,00	32,00	3,00	2,00	269,00
23	MKB3-10	26,00	26,00	64,00	29,00	241,00	1,00	22,00	45,00	3,00	2,00	246,00
24	MKB3-15	25,00	31,00	80,00	36,00	284,00	2,00	27,00	59,00	4,00	2,00	235,00
25	MKB3-20	27,00	46,00	97,00	48,00	334,00	2,00	33,00	76,00	4,00	2,00	224,00
26	MKB3-25	24,00	43,00	130,00	45,00	320,00	2,00	36,00	74,00	4,00	3,00	230,00
27	MKB3-30	20,00	44,00	161,00	42,00	312,00	2,00	37,00	71,00	4,00	3,00	234,00
28	MKB3-35	16,00	32,00	115,00	31,00	262,00	1,00	24,00	45,00	2,00	3,00	220,00
29	MKB3-40	11,00	26,00	67,00	22,00	219,00	1,00	17,00	32,00	2,00	<2	220,00
30	MKB3-45	31,00	43,00	88,00	40,00	443,00	2,00	36,00	65,00	4,00	7,00	354,00
31	MKB4-1	30,00	48,00	79,00	38,00	160,00	1,00	34,00	60,00	4,00	4,00	450,00
32	MKB4-5	33,00	51,00	82,00	40,00	241,00	2,00	40,00	68,00	4,00	4,00	520,00
33	MKB4-10	37,00	52,00	84,00	41,00	316,00	2,00	45,00	70,00	4,00	4,00	556,00
34	MKB4-15	32,00	50,00	81,00	39,00	278,00	2,00	39,00	66,00	4,00	3,00	479,00
35	MKB4-20	26,00	49,00	80,00	38,00	256,00	2,00	35,00	64,00	4,00	3,00	439,00
36	MKB4-25	24,00	41,00	78,00	36,00	250,00	2,00	33,00	64,00	4,00	2,00	395,00
37	MKB4-30	22,00	37,00	74,00	36,00	255,00	1,00	32,00	64,00	4,00	2,00	339,00
38	MKB4-35	23,00	39,00	76,00	38,00	260,00	1,00	34,00	63,00	4,00	2,00	360,00
39	MKB4-40	24,00	41,00	83,00	38,00	268,00	2,00	35,00	63,00	4,00	2,00	377,00
40	MKB4-45	24,00	52,00	95,00	42,00	315,00	2,00	40,00	71,00	5,00	2,00	286,00
41	MKB4-50	24,00	67,00	110,00	49,00	351,00	2,00	43,00	82,00	5,00	2,00	210,00
42	MKB4-55	23,00	50,00	100,00	49,00	330,00	2,00	42,00	80,00	5,00	2,00	232,00
43	MKB4-60	22,00	49,00	99,00	49,00	346,00	2,00	41,00	80,00	4,00	<2	252,00
44	MKB4-65	24,00	49,00	92,00	47,00	336,00	2,00	39,00	76,00	4,00	2,00	241,00
45	MKB4-70	25,00	50,00	91,00	45,00	329,00	2,00	38,00	74,00	5,00	2,00	230,00
46	MKB4-75	25,00	50,00	91,00	45,00	34,00	2,00	40,00	76,00	5,00	3,00	233,00
47	MKB4-80	24,00	51,00	97,00	47,00	343,00	2,00	42,00	79,00	5,00	3,00	238,00
48	MKB4-85	21,00	49,00	95,00	47,00	343,00	2,00	42,00	81,00	5,00	2,00	210,00
49	MKB4-90	18,00	47,00	90,00	47,00	343,00	2,00	42,00	81,00	4,00	2,00	198,00
50	MKB4-95	16,00	42,00	68,00	40,00	290,00	4,00	39,00	70,00	4,00	2,00	256,00
51	MKB4-100	14,00	36,00	45,00	31,00	158,00	7,00	39,00	69,00	4,00	2,00	277,00



Gambar 6. Analisis unsur logam berat Fe (ppm) versus sedimen (m) dari sumur bor BH-1, BH2, BH-3 dan BH-4 Delta Kapuas (Sumber Tabel 3)

tidak memperlihatkan suatu perubahan yang mencolok dari setiap kedalaman. Untuk sedimen pada kedalaman 40 m dari sumur bor BH-3 memperlihatkan nilai anomali jauh dari nilai rata-rata seperti unsur Ce, La dan Y (Tabel 4). Adanya nilai anomali pada sedimen tersebut mungkin ada kaitannya dengan sumber gas biogenik yang mempengaruhi kandungan unsur tanah jarang tersebut.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis gas biogenik dan unsur mineral pada sedimen dari ke empat sumur bor maka diperoleh kesimpulan bahwa sedimen dengan kandungan karbon total lebih dari 2% dan dalam lingkungan anaerobik berpotensi untuk terbentuknya gas biogenik. Kandungan SiO_2 pada sedimen yang mengandung gas biogenik lebih

sedikit dibandingkan dengan SiO_2 pada sedimen yang tidak mengandung gas biogenik, sebaliknya untuk unsur Fe_2O_3 dan unsur logam Fe. Unsur tanah jarang menunjukkan nilai anomali pada sedimen yang mengandung sumber gas biogenik. Perubahan kandungan unsur mineral pada sedimen yang mengandung gas biogenik mungkin disebabkan adanya pengaruh proses dekomposisi oleh aktivitas bakteri metanogenik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Pulitbang Geologi Kelautan, Pejabat Pembuat Komitmen PPPGL dan semua pihak yang memberikan masukan hingga terselesainya penelitian ini.

Tabel 4. Data analisis unsur tanah jarang pada sedimen sumur bor BH-1, BH-2, BH-3, BH-4 Delta Kapuas (Darlan, drr., 2005)

NO	CONTOH	UNSUR TANAH JARANG				
		Ce (ppm)	La (ppm)	Y (ppm)	Zr (ppm)	Nd (ppm)
1	MKB1-1	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
2	MKB1-5	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
3	MKB1-10	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
4	MKB1-15	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
5	MKB1-20	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
6	MKB1-25	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
7	MKB1-30	1,00	0,50	0,50	0,80	2,00
8	MKB1-35	1,00	0,50	0,50	0,90	2,00
9	MKB1-40	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
10	MKB1-45	2,00	2,10	4,20	1,00	8,00
11	MKB2-1	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
12	MKB2-5	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
13	MKB2-10	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
14	MKB2-15	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
15	MKB2-20	1,00	0,50	0,50	1,05	2,00
16	MKB2-25	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
17	MKB2-30	1,00	0,50	0,50	0,85	2,00
18	MKB2-35	1,00	0,50	0,50	0,95	2,00
19	MKB2-40	1,00	0,50	0,50	1,05	2,00
20	MKB2-46	2,76	2,69	4,89	0,95	8,53
21	MKB3-1	1,16	0,95	18,30	0,69	3,50
22	MKB3-5	1,00	0,50	0,50	0,70	2,00
23	MKB3-10	1,00	0,50	0,50	0,79	2,00
24	MKB3-15	1,00	0,50	0,50	0,63	2,00
25	MKB3-20	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
26	MKB3-25	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
27	MKB3-30	1,00	0,50	0,05	0,50	2,00
28	MKB3-35	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
29	MKB3-40	1,94	0,94	0,32	0,50	3,06
30	MKB3-45	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
31	MKB4-1	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
32	MKB4-5	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
33	MKB4-10	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
34	MKB4-15	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
35	MKB4-20	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
36	MKB4-25	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
37	MKB4-30	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
38	MKB4-35	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
39	MKB4-40	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
40	MKB4-45	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
41	MKB4-50	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
42	MKB4-55	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
43	MKB4-60	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
44	MKB4-65	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
45	MKB4-70	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
46	MKB4-75	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
47	MKB4-80	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
48	MKB4-85	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
49	MKB4-90	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
50	MKB4-95	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00
51	MKB4-100	1,00	0,50	0,50	0,50	2,00

DAFTAR ACUAN

- Darlan, Y., Kamiludin, U., Kurnio, H., Hutagaol, J., dan Sianipar, A., 2005. Eksplorasi Prospektif Gas Biogenik Kelautan Perairan Muara Kakap dan Sekitarnya, Kalimantan Barat. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan*, Bandung, Lap. Intern: 190 hal.
- Folk R.L., 1968, *Petrology of sedimentary rocks*: Hemphill, Austin Texas, 170p.
- Pettijohn, F.J., 1957. *Sedimentary rocks*, Oxford & IBH Publishing Co, 718p.
- Rice, D.D. and Claypool, G.E., 1981. Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas. *AAPG Bulletin*, 65(1): p.5-25.
- www.gaschem.com, Download:31/7/2012; 1:15 PM: Determining the Origin of Hydrocarbon Gas Shows and Gas Seeps (Bacterial Gas vs Thermogenic Gas) Using Gas Geochemistry.