

JALUR MIGRASI DAN AKUMULASI GAS BIOGENIK BERDASARKAN PROFIL SEISMIK PANTUL DANGKAL DAN KORELASI BOR BH-2 DI PERAIRAN SUMENEP, JAWA TIMUR

Oleh :

Asep Faturachman, Siti Marina

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuna No. 236 Bandung-40174

SARI

Pengambilan data seismik pantul dangkal di Perairan Sumenep dan pemboran inti sedalam 42 meter di pesisir selatan Sumenep dilakukan untuk memperlihatkan keadaan lapisan batuan dangkal. Profil seismik pantul dangkal memperlihatkan runtunan seismik A berumur Pra Kuartar dan runtunan seismik B berumur Kuartar – Resen. Runtunan A telah mengalami perlipatan dan pensesaran di mana di beberapa tempat diterobos oleh diapir lumpur, bahkan sampai ke permukaan laut. Runtunan B memperlihatkan pantulan transparan dan di beberapa tempat diterobos oleh diapir lumpur.

*Bor BH-2 memperlihatkan lempung hitam berumur Holosen – Resen yang ditemukan di atas Formasi Pamekasan yang berumur Pleistosen. Lempung hitam ini tersebar pada kedalaman 13.5 - 41 meter dengan kandungan gas metan sekitar 0.1 % mol yang terdeteksi pada kedalaman 17 – 18.5 meter dan 35.85 – 38.15 meter, serta didominasi oleh bakteri metanogenik *Methanosarcina frisia* yang menunjukkan lingkungan pengendapan estuaria.*

Kadar gas biogenik dangkal pada lempung hitam berjumlah kecil sehingga tidak potensial untuk dieksplorasi lebih lanjut. Kurangnya potensi gas biogenik dangkal di Perairan Sumenep kemungkinan disebabkan oleh proses tektonik, kondisi stratigrafi (sistem estuaria) dan struktur (rembesan gas ke atmosfer melalui patahan-patahan minor dan diapir lumpur) yang berpengaruh pada jalur migrasi dan akumulasi gas biogenik.

Kata kunci: gas biogenik dangkal, migrasi, akumulasi, estuaria, diapir lumpur, lempung hitam

ABSTRACT

Shallow seismic data acquisition in Sumenep waters and coring to 42 meter depth in southern coast of Sumenep were carried out to investigate a shallow sediment layers. The shallow reflection profiles indicate seismic sequence A of pre Quaternary and seismic sequence B of Quaternary Recent. Seismic sequence A was folded and faulted, where in some places were intruded by mud diapirs which expose above water surface. Seismic sequence B indicates transparency reflection and in some places was intruded by mud diapirs.

*Core BH-2 indicates Holocene-Recent blacky clay that rest on the Pleistocene Pamekasan Formation. This blacky clay distribute at 13.5 – 41.5 meters depth with methane content about 0.1 % mol that detected at 17 – 18.5 meters depth and 35.05 – 38.15 meters depth, which is also dominated by methanogenic *methanosarcinafrisia* that indicates an estuaria depositional environment.*

The content of shallow biogenic gas within black clay is small, therefore it is inpotential to be further explored. The lack of shallow biogenic gas in Sumenep waters

Key word : Shallow Biogenic Gas, Migration, Accumulation, Estuary, Mud diapir, Black clay.

LATAR BELAKANG

Perairan Sumenep merupakan bagian dari Cekungan Jawa Timur yang potensial untuk hidrokarbon. Cekungan hidrokarbon merupakan sumber energi fosil yang terawetkan dengan proses termik dan tekanan tertentu. Begitu pula halnya dengan potensi gas dangkal. Gas yang dihasilkan akan sangat bermanfaat sebagai energi alternatif dalam memenuhi kebutuhan rumah tangga di sekitar daerah tersebut.

Pembentukan gas dangkal dapat terjadi secara biogenik atau pun termogenik. Khusus pada pembentukan gas biogenik, gas ini terbentuk dengan proses biogenik sebagai hasil dekomposisi material organik oleh bakteri metanogenik pada suhu rendah yang sesuai dengan lingkungan pertumbuhan bakteri metanogenik. Umumnya gas biogenik terperangkap pada sedimen yang belum matang dan pada kedalaman yang dangkal dengan gradien geotermal rendah (Rice & Claypool, 1981), termasuk gas biogenik yang terbentuk pada sedimen laut dengan lingkungan anaerob dan pada zona kandungan sulfat yang menurun. Kondisi-kondisi ini sangat spesifik sehingga gangguan sedikit terhadapnya akan berpengaruh terhadap pembentukan dan keberadaan gas biogenik.

Gas biogenik dangkal terbentuk dalam dua skenario (Rice, 1993), yang pertama adalah pembentukan awal yaitu terbentuknya gas biogenik segera setelah pengendapan batuan-batuan induk dan reservoir, sedangkan yang kedua adalah pembentukan akhir di mana gas biogenik terbentuk lama berselang setelah batuan-batuan tersebut diendapkan. Konsekuensinya adalah pada pembentukan awal akan memberikan kesempatan yang cukup banyak pada gas yang terbentuk untuk bermigrasi dan terakumulasi. Sebaliknya, pembentukan akhir yang lama terjadi setelah pengendapan batuan induk dan batuan reservoir tidak memungkinkan gas bermigrasi dan terakumulasi lebih lama sehingga gas yang terkumpul pada batuan reservoir akan lebih sedikit.

Gas biogenik dangkal dapat terkumpul dalam satu satuan stratigrafi yang sama antara batuan induk dan batuan reservoir (Shurr & Ridgley, 2002). Bahkan kehadiran batuan penudung terkadang bukan merupakan hal yang signifikan jika menyangkut tentang sistem gas

biogenik. Keadaan ini menunjukkan hubungan antara pembentukan gas biogenik dan akumulasinya sangat dekat dalam skala ruang dan waktu, sehingga sebagai konsekuensinya akan terbentuk jalur migrasi yang pendek.

Lokasi daerah penelitian berada di kawasan perairan Selat Madura, dan secara administratif termasuk dalam wilayah Kabupaten Sumenep, Propinsi Jawa Timur (Gambar 1). Daerah penelitian meliputi luas 1500 km² pada peta skala 1 : 100.000 yang secara geografis terletak pada koordinat 6°55'00" – 7°17.5'00" LS dan 113°50'00" – 114°15'00" BT.

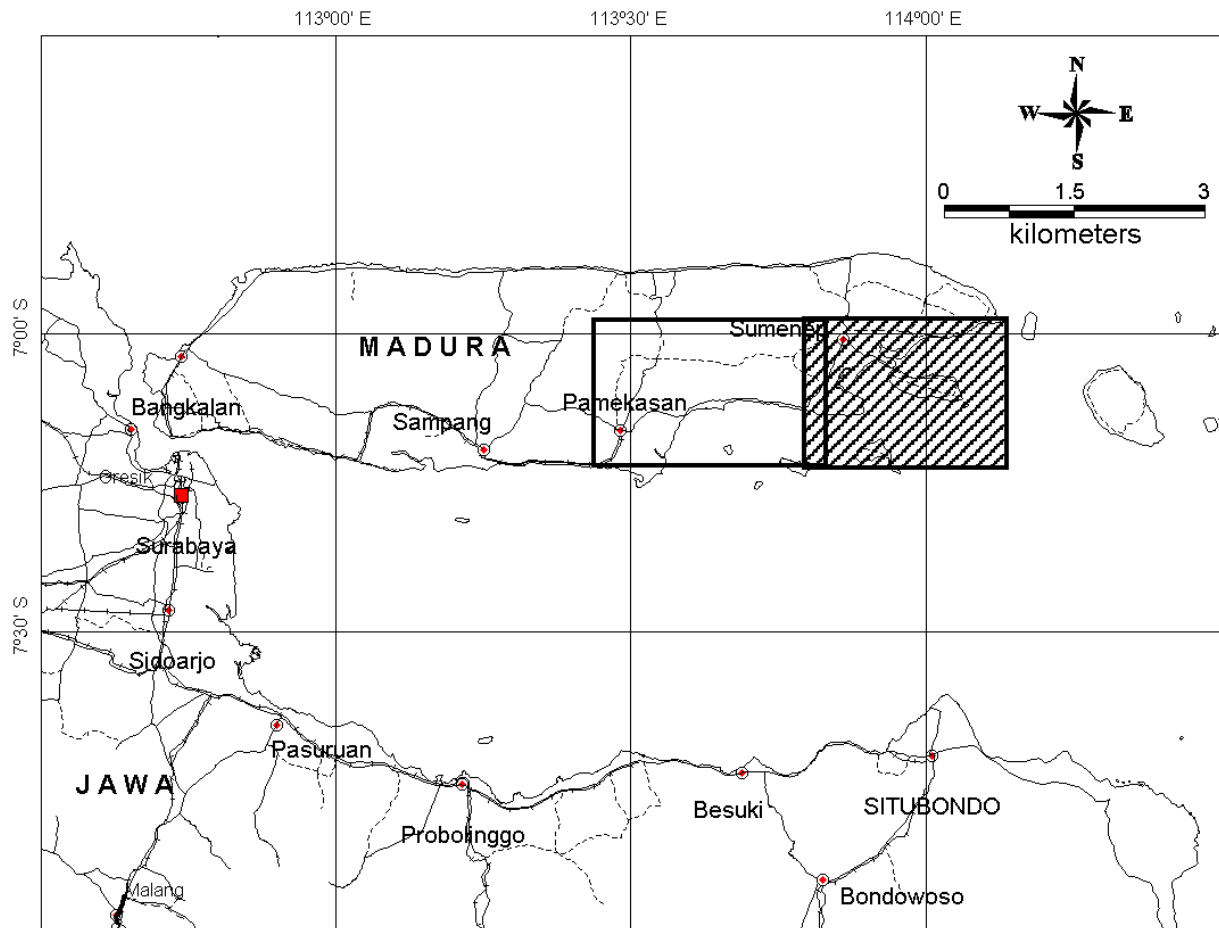
Penyelidikan terdahulu yang dilakukan bulan September – November 2006 tidak merekomendasikan penelitian tentang gas biogenik di Perairan Madura untuk dilanjutkan. Walaupun secara umum Perairan Madura sangat berpotensi sebagai daerah temuan gas dangkal, keberadaan gas biogenik di daerah tersebut ditemukan setempat-setempat serta tidak dalam jumlah banyak.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana peranan setting geologi terhadap migrasi dan akumulasi gas biogenik dangkal di Perairan Sumenep. Pengetahuan yang didapat diharapkan akan membantu dalam penafsiran lanjutan terhadap distribusi lateral gas biogenik dangkal khususnya di daerah dengan karakteristik geologi *setting* seperti di Perairan Sumenep.

METODE

Data yang dipakai dalam tulisan ini diambil dari hasil survei lapangan Penyelidikan Pengembangan Potensi Gas Dangkal Perairan Sumenep, Madura yang dilakukan pada bulan September – November 2006. Data ini berupa profil seismik pantul dangkal yang diambil memakai *Single Channel Streamer* SIG. Penafsiran pola seismik dilakukan secara manual. Penafsiran ini meliputi penentuan runtunan dan batas runtunan berdasarkan konfigurasi pantulan akustik dan korelasi dengan data bor di dekat lintasan seismik, kemudian diinterpretasikan baik struktur maupun stratigrafinya.

Pemboran inti untuk mengkorelasikan litologi terhadap data seismik dilakukan di dua lokasi, yaitu BH-1 sebagai representasi litologi di wilayah darat dan BH-2 sebagai representasi litologi di wilayah perairan laut. Dari pemboran



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

inti BH-2 diambil contoh gas dangkal dari contoh sedimen laut untuk dianalisis lebih lanjut kandungan gas metannya.

Analisis laboratorium meliputi analisis gas alam, analisis bakteriologi dan analisis TOC. Analisis gas alam memakai Gas Chromatograph GC-17 Shimadzu untuk menentukan konsentrasi gas metan dan gas atmosferik lainnya, yaitu O_2 , N_2 dan CO_2 , yang dapat mempengaruhi pembentukan gas metan. Analisis bakteriologi dilakukan untuk mencari kehadiran dan mengidentifikasi jenis bakteri metanogenik penghasil gas metan. Analisis ini diperlakukan pada sedimen berfraksi halus. Analisis TOC dilakukan untuk mengetahui potensi sedimen dalam membentuk hidrokarbon sebagai indikasi batuan induk.

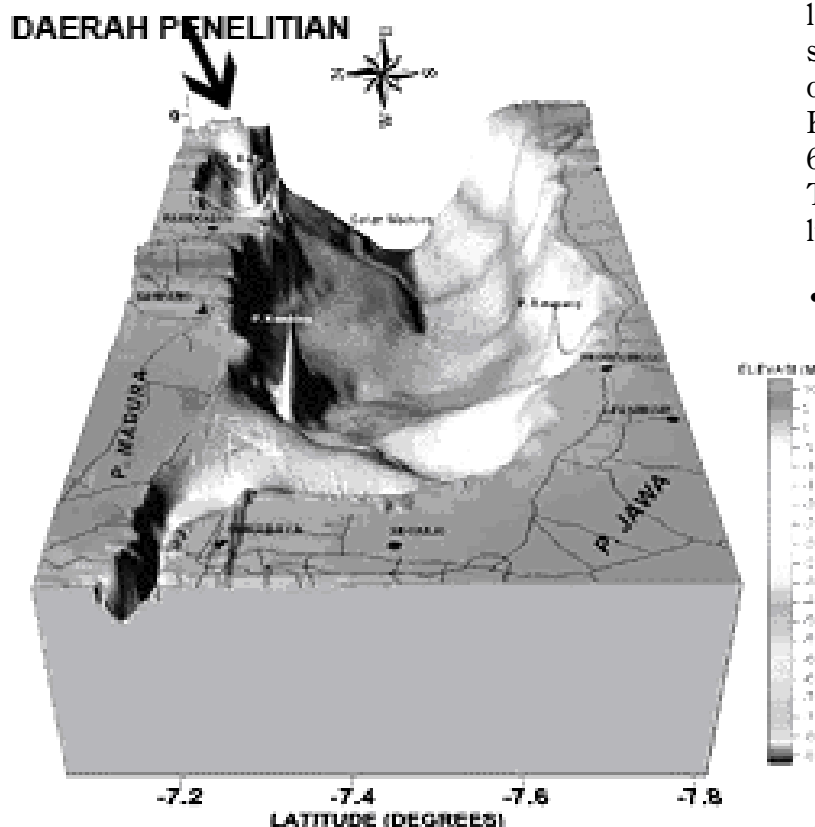
GEOLOGI REGIONAL

Geologi regional daerah Madura, baik dilihat dari stratigrafi dan strukturnya, mempengaruhi penyebaran gas biogenik. Proses pengangkatan

dan penurunan yang terjadi dalam kurun waktu yang dekat dapat berdampak pada kecilnya kemungkinan pembentukan gas biogenik dalam jumlah yang cukup besar. Juga adanya kemungkinan migrasi gas dalam lapisan batuan yang tidak selaras dan menghilang, rembesan gas (*gas seep*), dan/atau luasan daerah batuan induk dan daerah batuan reservoir.

Morfologi dasar laut Selat Madura menunjukkan karakteristik cekungan berbentuk *enclosure* yang terekam pada kontur batimetri (Gambar 2). Kedalaman Selat Madura berkisar antara 0 – 90 meter, di mana daerah penelitian terletak di Pesisir Sumenep dan mempunyai kedalaman 0 – 36 meter dengan sudut kemiringan relatif kecil (lebih kecil dari 10°).

Sedimentasi makin menebal ke arah barat Pulau Madura. Sungai-sungai di daerah penelitian bermuara ke arah tenggara Pulau Madura dengan arah umum utara – selatan, berpola dendritik – sub paralel sesuai dengan pola struktur yang berkembang di daerah



Gambar 2. Fisiografi dasar laut Perairan Madura (MGI, 2006)

penelitian. Tipe sungai-sungai di daerah penelitian umumnya *intermittent* dan hanya sungai-sungai besar yang mengalir sepanjang tahun.

Stratigrafi daerah penelitian dari lapisan batuan tertua ke muda adalah sebagai berikut (Situmorang, R.L., drr., 1993):

- *Formasi Tawun*

Formasi Tawun terdiri dari batugamping, napal, batugamping lempungan, dengan sisipan batugamping orbitoid dan batulempung. Ketebalan formasi ini sekitar 300 m, berumur Miosen Awal - Miosen Tengah (N5 - N12), dan merupakan endapan laut agak dangkal (zona sublitoral bagian dalam).

- *Formasi Ngrayong*

Formasi Ngrayong menumpang secara selaras di atas Formasi Tawun, tersusun oleh batupasir kuarsa berbutir halus - kasar yang berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung. Bagian bawah satuan berukuran

butir lebih halus dan lempungan. Pada bagian atas secara setempat dijumpai oksida besi dan karbonat. Ketebalan formasi ini sekitar 600 meter, berumur Miosen Tengah dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal.

- *Formasi Bulu*

Formasi Bulu menutupi secara selaras Formasi Ngrayong, tersusun atas batugamping pelet, pasir, berbutir halus - kasar. Umur formasi ini adalah Miosen Tengah bagian atas dengan ketebalan sekitar 600 meter dan merupakan endapan laut dangkal - litoral.

- *Formasi Pasean*

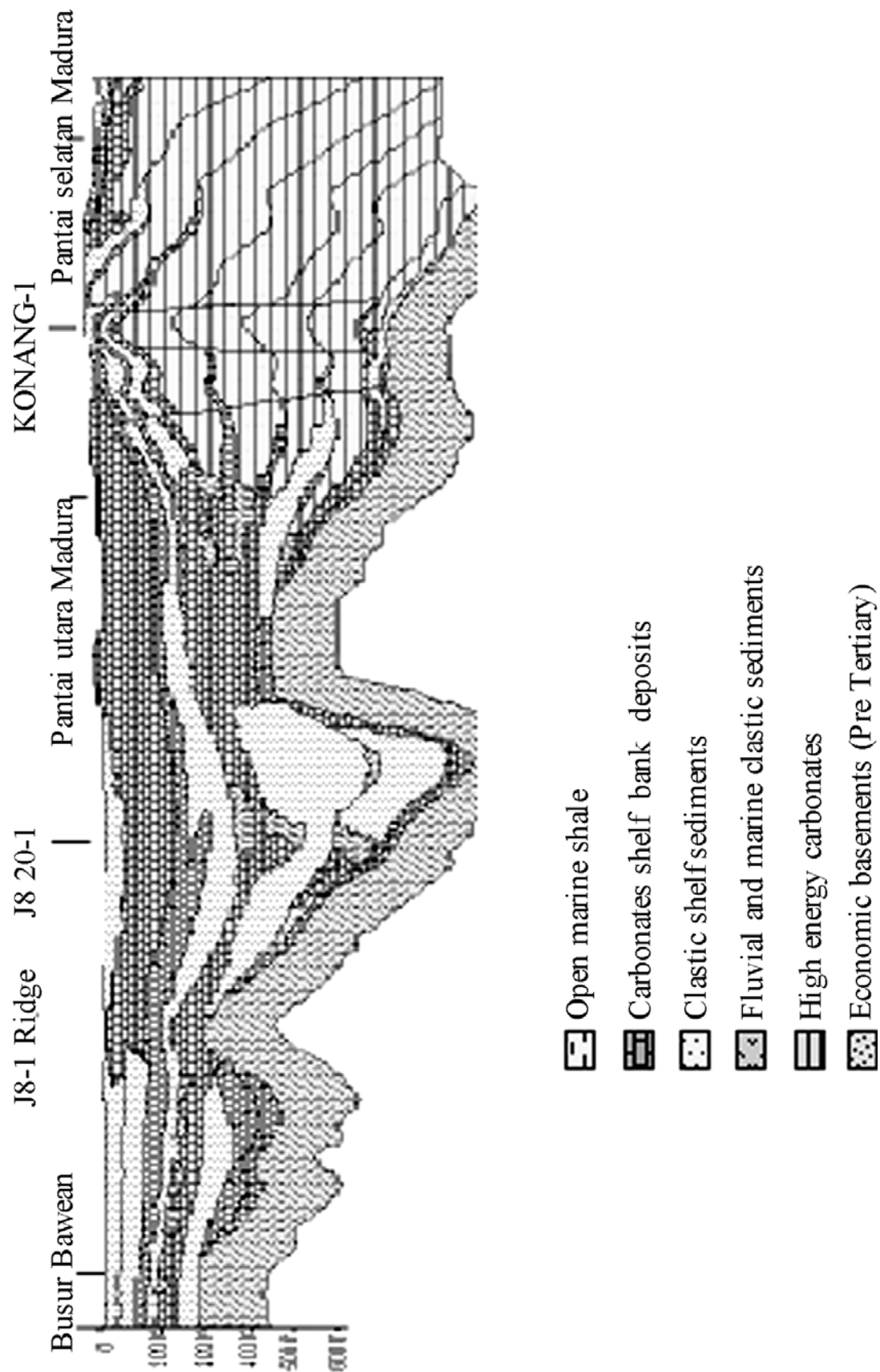
Formasi Pasean menumpang secara selaras di atas Formasi Bulu, tersusun atas perselingan napal dan batugamping, batulempung, batugamping pasir dan batugamping oolit. Formasi ini memiliki ketebalan 600 meter, berumur Miosen Akhir, dan merupakan endapan laut dangkal (*inner sublitoral*).

- *Formasi Madura*

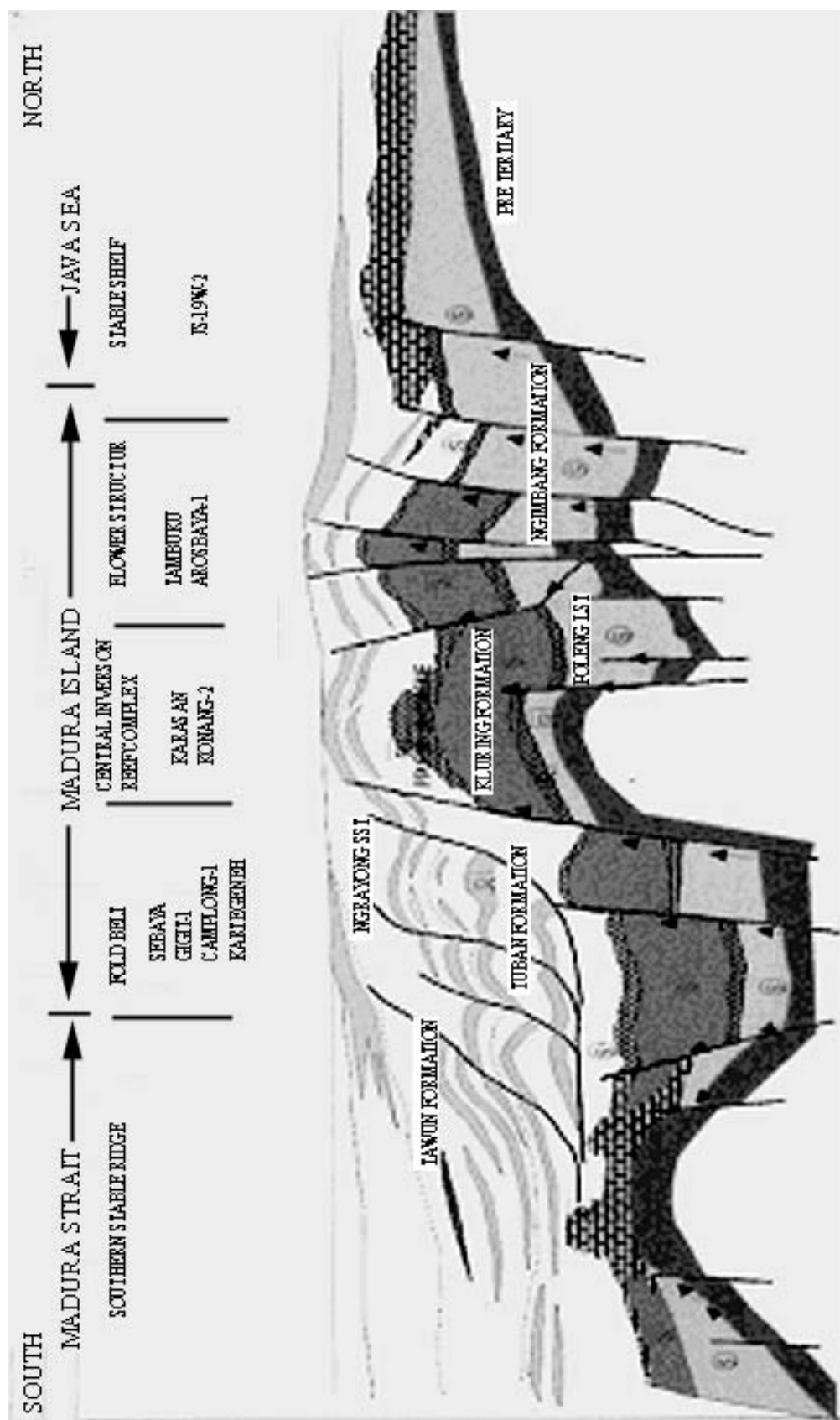
Formasi Madura menutupi seluruh formasi yang lebih tua secara selaras dan tidak selaras, ditafsirkan berumur Pliosen atau Miosen Akhir - Pliosen. Formasi Madura disusun oleh batugamping terumbu dan batugamping dolomit. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 250 meter, dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal dan terbuka.

- *Formasi Pamekasan*

Formasi Pamekasan menutup secara tidak selaras di atas Formasi Madura, terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping. Berdasarkan hubungan ketidakselaras dengan Formasi Madura di atasnya, formasi ini diperkirakan berumur Pliosen.



Gambar 3. Cekungan Geologi Regional Bawean Madura (Pertamina, 1996)



Gambar 4. Perkembangan tektonik dan struktur di daerah Madura - Cekungan Jawa Timur (Pertamina, 1996)

- *Aluvium*

Pada bagian atas formasi-formasi batuan yang lebih tua terjadi proses erosi dan terendapkan membentuk endapan aluvium yang tersusun oleh fraksi lepas berukuran lempung - kerakal dan terumbu koral hidup.

Penampang cekungan Bawean–Madura menggambarkan stratigrafi daerah penelitian yang tercakup di dalamnya. Dari penampang ini terlihat adanya batuan dasar (*basement*) yang ekonomis, berumur Pra-Tersier (Pertamina, 1996) (Gambar 3).

Struktur regional yang berpengaruh pada daerah penelitian (Gambar 4) dimulai pada kala Miosen Awal – Tengah di mana terjadi penurunan Pulau Madura dan pengendapan Formasi Tawun. Pada akhir Miosen Tengah, Pulau Madura mengalami pengangkatan dan diendapkan Formasi Ngrayong pada lingkungan laut dangkal, diikuti oleh perlipatan yang berarah relatif barat-timur. Pada akhir pengendapan Formasi Ngrayong, Formasi Bulu dan Formasi Pasean, terjadi pengangkatan setempat. Kala Miosen Akhir – Pliosen, Pulau Madura mengalami penurunan dan genang laut pada lingkungan litoral – sublitoral mengakibatkan tumbuhnya terumbu koral. Pada Pliosen Akhir, seluruh Pulau Madura mengalami pengangkatan sampai di atas permukaan. Pada kala Pliosen ini, terjadi pengendapan Formasi Pamekasan berupa batulempung, batupasir, dan konglomerat dengan cangkang moluska yang melimpah. Pada kala Holosen – sekarang, Pulau Madura mengalami pengangkatan dan erosi sehingga terbentuk endapan aluvial dan terumbu koral di sepanjang pantai, terutama di selatan Pulau Madura (Pulau Kambing dan Pulau Genteng).

PROFIL SEISMIC PANTUL DANGKAL

Beberapa profil seismik pantul dangkal diambil sebagai representasi dari 28 lintasan yang diambil (Gambar 5) untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan lokasi penelitian. Lintasan juga dipilih berdasarkan kedekatannya dengan bor inti BH-2. Lintasan L-8 (Gambar 6) berada di bagian selatan Pulau Puteran dengan arah lintasan utara-selatan. Lintasan L-24 (Gambar 7) berada di bagian selatan Pulau Puteran dengan arah tenggara-baratlaut.

Lintasan L8 memperlihatkan terjadinya pengangkatan di bagian selatan sedangkan di

bagian utara terlihat adanya indikasi gas yang mengisi runtunan B1 dan berada di bawah runtunan B2.

Pengangkatan dan perlipatan terbentuk pada runtunan A yang terjadi di bagian tenggara lintasan. Di bagian tenggara ini teramati pula beberapa patahan dan mud diapir. Mud diapir menerobos runtunan B2 sampai ke permukaan dasar laut. Adanya indikasi gas yang mengisi sedimen terdapat di bagian barat laut lintasan. Gas ini terperangkap di runtunan B1 dan berada di bawah runtunan B2.

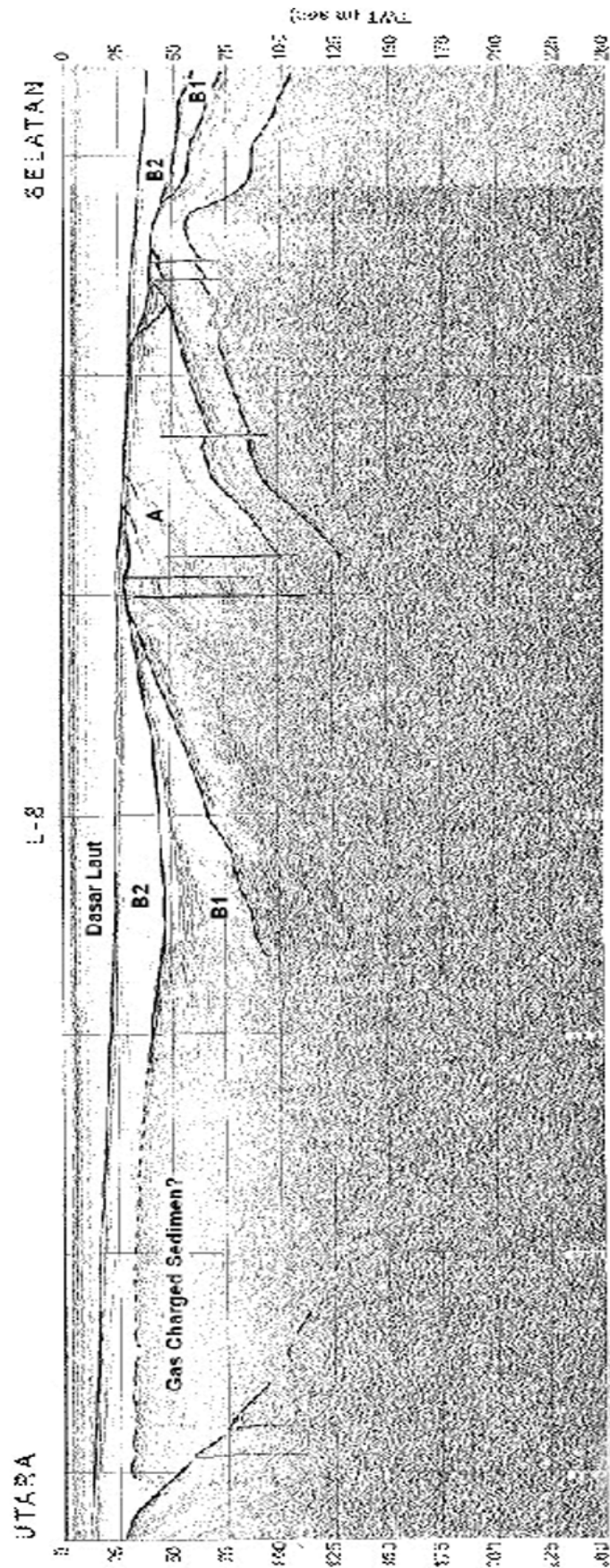
Runtunan B ditafsirkan sebagai runtunan berumur Kuartar dan merupakan sedimen berbutir halus sampai sedang seperti lumpur, pasir, dan lempung yang diendapkan pada lingkungan dengan rejim energi rendah. Aluvium berumur Holosen diduga merupakan sedimen runtunan B2.

Patahan yang terjadi tidak muncul ke permukaan dasar laut, umumnya hanya terbentuk pada runtunan A. Diapir lumpur (*mud diapir*) ditemukan menembus runtunan B1 dan B2 sampai ke permukaan dasar laut yaitu di bagian timur Pulau Giligenteng. *Gas charged sediment* yang terperangkap di runtunan B1 dengan konfigurasi pantulan transparan ditafsirkan sebagai tempat akumulasi gas metan berumur Pleistosen. Gas ini bermigrasi dan merembes melalui rekahan-rekahan (patahan-patahan minor) yang terdapat pada runtunan A dan kemudian terperangkap di runtunan B1 di bawah runtunan B2. Gas ini tersebar di beberapa tempat terutama di bagian selatan Pulau Puteran. Bentuk geometri runtunan B1 yang membaji dan tersebar setempat-setempat diduga merupakan hasil pengendapan dari lingkungan laut dangkal yang dipengaruhi oleh sistem estuaria.

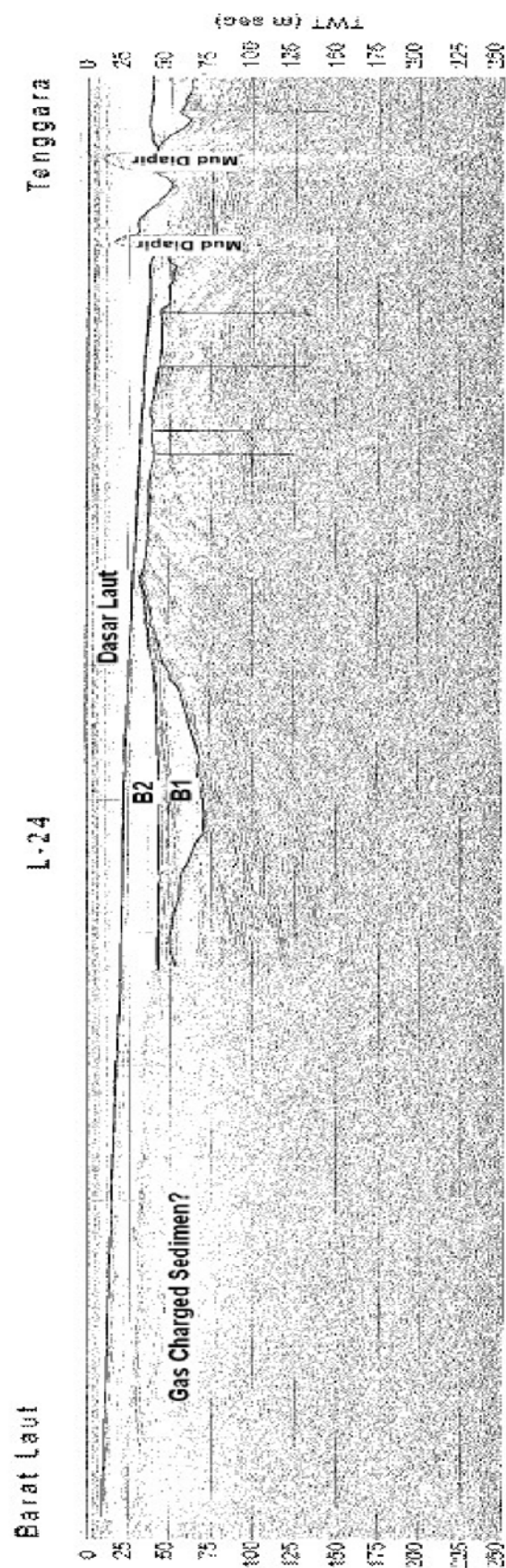
Runtunan A ditafsirkan sebagai runtunan berumur Pra-Kuartar dan sebanding dengan Formasi Pamekasan yang terdiri atas konglomerat, batupasir, batulempung, dan batugamping. Umumnya runtunan ini ditandai oleh konfigurasi pantulan menggelombang miring tidak teratur dan terdapat adanya patahan-patahan dan diapir lumpur. Diapir lumpur yang mendesak ke atas dan menembus sampai ke runtunan B ditafsirkan sebagai pemicu dari patahan-patahan minor yang terdapat di bagian atas runtunan A, sehingga membuka jalan migrasi dari gas biogenik yang



Gambar 5. Lintasan survei di daerah penelitian



Gambar 6. Profil seismik pantul dangkal pada lintasan L-8 (Arifin & Kusnida, 2006 dalam Faturachman, drr., 2006)



Gambar 7. Profil seismik pantul dangkal pada lintasan L-24 (Arifin & Kusnida, 2006 dalam Faturachman, drr., 2006)

terakumulasi di runtunan B1 menjadi manifestasi rembesan-rembesan gas (*gas seep*).

Patahan-patahan ini terjadi di bagian yang terangkat dan di sekitar diapir lumpur. Patahan ini umumnya merupakan patahan normal dan sebagian besar diduga merupakan patahan tumbuh. Kemungkinan patahan-patahan ini bukan merupakan jebakan gas biogenik tetapi sebagai jalur migrasi menjadi rembesan gas sehingga berpengaruh pada volume dari akumulasi gas yang terakumulasi di runtunan B1.

Indikasi lempung hitam sebagai batuan induk

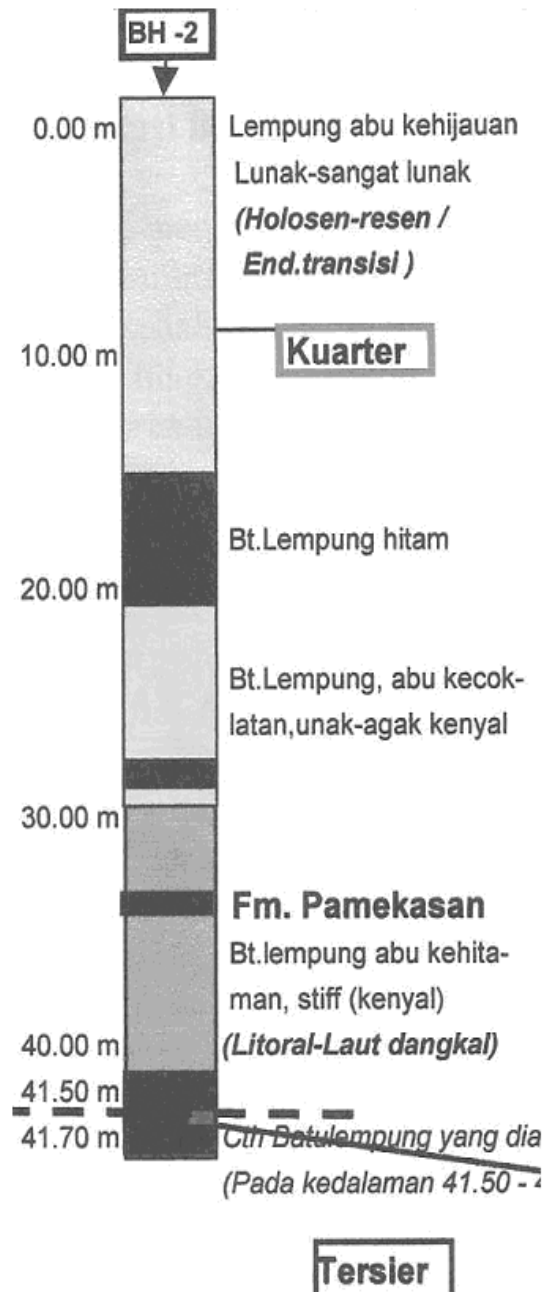
Pemboran inti sebagai pembanding dalam melakukan korelasi litologi dengan data seismik, dilakukan di dua lokasi. Kedua bor inti adalah BH-1 dengan kedalaman 40 meter dan tinggi muka air tanah 1.5 meter dari permukaan laut berada di pantai Kalianget Barat, dan BH-2 dengan kedalaman 42 meter dan permukaan dasar laut berada pada kedalaman laut 4.2 meter terletak di perairan Desa Seronggi. Pada pemboran inti BH-2, dilakukan pengambilan contoh sedimen sebanyak 23 buah untuk di analisa kandungan gasnya.

Dari pemboran inti BH-1 diperoleh litologi batugamping terumbu, batugamping kalkarenit, dan batupasir gampingan dari Formasi Pamekasan yang berumur Pliosen (Tabel 1a). Sedangkan dari pemboran inti BH-2 diketahui bahwa lempung hitam yang diasumsikan sebagai batuan induk gas biogenik diperoleh pada kedalaman sekitar 15 meter yang berada di atas batupasir dari Formasi Pamekasan yang berumur Pleistosen (Tabel 1b).

Dari korelasi tentatif terhadap kedua pemboran inti disimpulkan bahwa Formasi Pamekasan yang berumur Pliosen makin menipis ke arah darat dan pengendapan aluvium diperkirakan mencapai tingkat sedimentasi yang cukup tinggi ke arah laut yang ditunjukkan oleh makin tebalnya aluvium di BH-2. Hal ini mendukung penafsiran bahwa lempung hitam yang ditemukan di BH-2 (Gambar 8) adalah sesuai untuk pembentukan gas biogenik dengan kecepatan sedimentasi yang tinggi. Walaupun demikian, selang waktu antara pengendapan aluvium yang berumur Holosen – Resen dan pembentukan gas biogenik adalah relatif singkat

sehingga hal ini akan berpengaruh pada migrasi dan akumulasi gas biogenik yang relatif kecil.

Dari 23 sampel gas yang dianalisis dengan *Gas Chromatography* terlihat bahwa gas biogenik hanya didapatkan pada selang kedalaman tertentu dengan kandungan gas metan sekitar 0.1 % mol yang terdeteksi pada kedalaman 17 –



Gambar 8. Litologi Bor BH-2 (Faturachman & Darlan, 2006 dalam Faturachman, drr., 2006)

Tabel 1a. Litologi dari bor inti BH-1

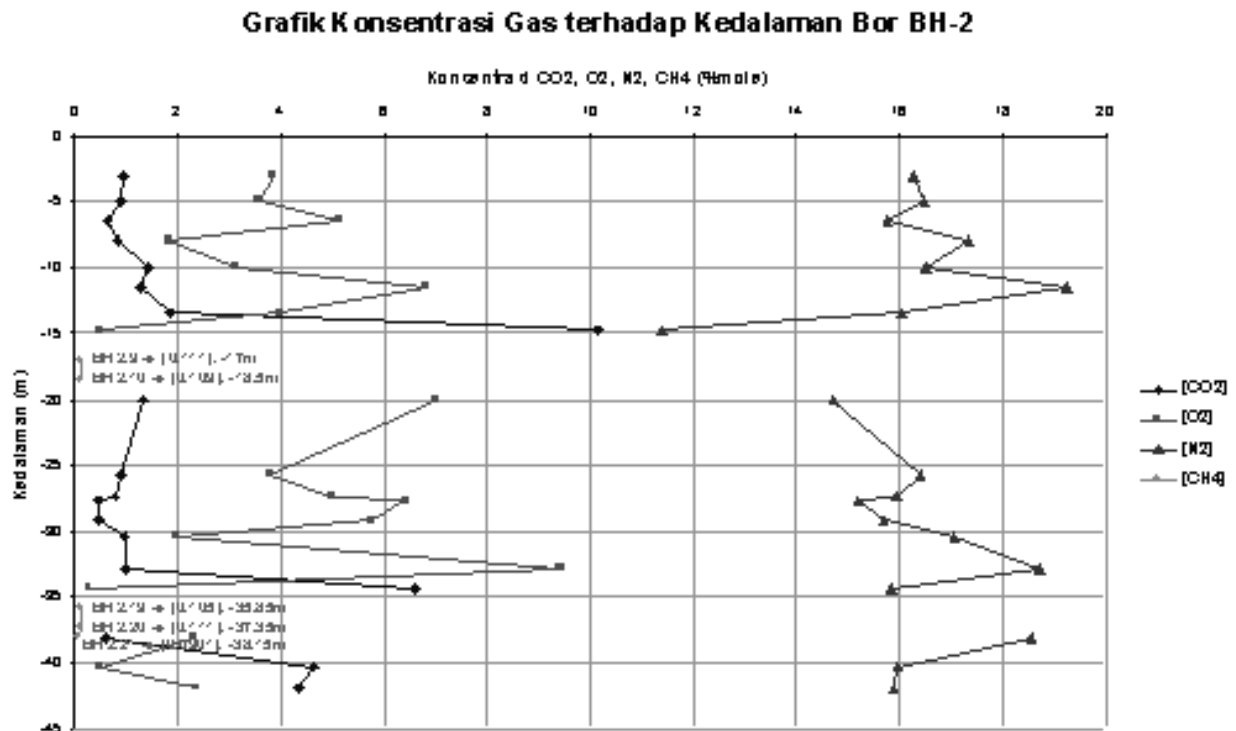
| Kedalaman | Litologi | Keterangan |
|-------------|------------------------|-----------------------------|
| 0 - 5 m | batugamping terumbu | - |
| 5 - 11 m | batugamping kalkarenit | - |
| 11 - 21.5 m | batupasir gampingan | Formasi Pamekasan (Pliosen) |

Tabel 1b. Litologi dari bor inti BH-2

| Kedalaman | Litologi | Keterangan |
|---------------|--|--------------------------------|
| 0 - 2 m | lempung lumpuran | aluvium (Holosen - Resen) |
| 2 - 13.5 m | lempung kehijauan | aluvium (Holosen - Resen) |
| 13.5 - 15.5 m | variasi antara lempung abu kehijauan-kehitaman, lempung kuning-kecoklatan, lempung hitam | aluvium (Holosen - Resen) |
| 15.5 - 41 m | lempung abu kehitaman, hitam sampai kekuningan | aluvium (Holosen - Resen) |
| > 41 m | batupasir | Formasi Pamekasan (Pleistosen) |

Tabel 2. Jenis bakteri metanogenik dari sampel bor BH-2

| No. | Jenis bakteri | Jumlah sebaran | Motilitas | LP | Litologi | Keterangan |
|-----|-----------------------------|----------------|-----------|----------------|--|--|
| 1 | Methanobacterium soehngeni | 9 | non-motil | | | |
| 2 | Methanospirillum hungatei | 9 | motil | | | |
| 3 | Methanosarcina frisia | 22 | non-motil | estuaria | | |
| 4 | Methanolacinia paynteri | 6 | non-motil | rawa air tawar | lempung pasiran, abu-abu kehijauan, sedimen laut | |
| 5 | Methanlobus tindarius | 10 | non-motil | pantai | | |
| 6 | Methanoplanus endosymbiosus | 16 | motil | | | berasosiasi dg ciliata, mengkonversi CO ₂ mjd CH ₄ |



Gambar 9. Grafik konsentrasi kandungan gas di BH-2

18.5 meter dan 35.85 – 38.15 meter (Gambar 9). Pada kedalaman tersebut, litologinya berupa lempung hitam organik.

Dari analisis bakteriologi yang dilakukan pada batuan berfraksi halus (Tabel 2), diperoleh hasil bahwa populasi bakteri *Methanosarcina frisia* yang mempunyai lingkungan pengendapan estuaria merupakan bakteri metanogenik yang mendominasi litologi lempung di bor BH-2. Bakteri metanogenik ditemukan lebih banyak 10% daripada bakteri umum. Persentase bakteri metanogenik terhadap bakteri umum terendah ($1.3 \times 10^5 - 6.4 \times 10^5$) dijumpai pada kedalaman 1 – 10 m dengan jenis sedimennya lempung lumpuran, coklat kehitaman, sangat lunak. Mengandung sisa-sisa akar tanaman. Sedangkan persentase tertinggi ($6.0 \times 10^5 - 7.9 \times 10^3$) dijumpai pada kedalaman 22 – 30 m. Pada sedimen lempung hitam, lembab, lunak, agak plastis. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan litologi lempung dengan bakteri yang tinggi karena berada pada lempung organik hitam di lokasi bor BH-2 adalah sesuai untuk pertumbuhan bakteri metanogenik. Terutama pada lempung hitam. Walaupun demikian,

jumlah populasi ini diperkirakan mengalami fluktuasi karena lingkungan pengendapannya yang berada pada sistem estuaria di mana kondisi pertumbuhan untuk bakteri metanogenik berubah-ubah sesuai dengan *influx sediment* yang masuk ke cekungan pengendapan.

Analisis *Total Organic Carbon* (TOC) dilakukan untuk mengetahui jumlah material organik yang terkandung di dalam suatu sedimen sehingga dapat diketahui potensinya sebagai batuan induk hidrokarbon. Dari hasil analisis TOC terhadap 20 contoh sedimen dari bor BH-2 (Tabel 3) diperoleh hasil yang memperlihatkan bahwa litologi sedimen lempung dari bor BH-2 mempunyai potensi baik – sangat baik sebagai batuan induk hidrokarbon dengan kandungan TOC > 2% pada kedalaman 3.2 – 6.5 meter dan kedalaman 10.3 – 17.5 meter. Hanya kedalaman antara 10.3 – 17.5 meter yang berkorelasi dengan lempung hitam dari sampel bor inti BH-2. Dengan ketebalan yang relatif kecil ditafsirkan sedimen ini tidak berperan sebagai batuan reservoir tempat akumulasi gas biogenik dalam jumlah yang cukup besar.

Tabel 3. Indikasi batuan induk hidrokarbon berdasarkan TOC di bor BH-2

| No. | No. Sample | Kedalaman (m) | Total karbon (% berat) |
|-----|-----------------|---------------|---|
| 1 | BH-2 24 SMP TOC | 6.5 | 2.96 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 2 | BH-2 25 SMP TOC | 11.5 | 1.90 (btn induk cukup berpotensi) |
| 3 | BH-2 26 SMP TOC | 2.70 – 3.00 | 0.16 (potensi btn induk rendah) |
| 4 | BH-2 27 SMP TOC | 3.30 – 3.50 | 3.50 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 5 | BH-2 28 SMP TOC | 4.10 – 4.30 | 2.63 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 6 | BH-2 29 SMP TOC | 4.70 – 5.00 | 3.84 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 7 | BH-2 30 SMP TOC | 5.30 – 5.70 | 2.64 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 8 | BH-2 31 SMP TOC | 6.20 – 6.50 | 2.03 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 9 | BH-2 32 SMP TOC | 7.10 – 7.30 | 1.64 (btn induk cukup berpotensi) |
| 10 | BH-2 33 SMP TOC | 7.70 – 8.00 | 3,75 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 11 | BH-2 34 SMP TOC | 8.20 – 8.50 | 0.20 (potensi btn induk rendah) |
| 12 | BH-2 35 SMP TOC | 9.20 – 9.40 | 0.16 (potensi btn induk rendah) |
| 13 | BH-2 36 SMP TOC | 10.30 – 10.50 | 3.50 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 14 | BH-2 37 SMP TOC | 11.20 – 11.50 | 2.63 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 15 | BH-2 38 SMP TOC | 12.20 – 12.50 | 3.84 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 16 | BH-2 39 SMP TOC | 13.00 – 13.30 | 2.64 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 17 | BH-2 40 SMP TOC | 14.20 – 14.50 | 2.03 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 18 | BH-2 41 SMP TOC | 15.70 – 16.50 | 1.64 (btn induk cukup berpotensi) |
| 19 | BH-2 42 SMP TOC | 16.80 – 17.00 | 2.96 (potensi btn induk baik - sangat baik) |
| 20 | BH-2 43 SMP TOC | 17.20 – 17.50 | 2.03 (potensi btn induk baik - sangat baik) |

KESIMPULAN

- Profil seismik pantul dangkal menunjukkan pengangkatan, perlipatan, patahan dan diapir lumpur yang menyebabkan patahan-patahan minor. Patahan ini merupakan jalur migrasi gas biogenik yang menyebabkan rembesan gas, bahkan sampai ke permukaan dasar laut.
- *Gas charge sediment* pada runtunan B1 ditafsirkan sebagai tempat akumulasi gas metan berumur Pleistosen.
- Dari Analisis Gas Chromatography kandungan gas CH₄ berada pada kedalaman 17 – 18.5 m dan 35.85 – 38.15 m.
- Kandungan *Total Organic Carbon (TOC)* yang sangat baik untuk potensi sebagai batuan induk hidrokarbon dan berkorelasi dengan lempung hitam dari BH-2 berada pada kedalaman antara 10.3 – 17.5 meter.
- Dari analisis bakteri metanogenik, *Methanosarcina frisia* yang mempunyai lingkungan pengendapan estuaria mendominasi jenis bakteri yang diidentifikasi dari bor BH-2. Persentase bakteri metanogenik terhadap bakteri umum terendah berada pada kedalaman 1 – 10 m dan persentase tertinggi berada pada kedalaman 22–30 m.
- Pembentukan gas biogenik dan pengendapan sedimen sebagai batuan induk dan batuan reservoir terjadi tidak lama berselang sehingga menghasilkan gas yang tidak cukup banyak. Pembentukan gas terjadi pada batuan berumur Pleistosen – Holosen.

- Akumulasi gas biogenik pada batuan reservoir sangat dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan yang berupa sistem estuaria sehingga penyebaran batuannya dijumpai setempat-setempat.
- Gas biogenik dangkal terlepas ke atmosfer berupa rembesan gas melalui patahan-patahan minor akibat pembentukan diapir lumpur.

SARAN

- Sebagai tindak lanjut dari analisis TOC, perlu dilakukan analisis isotopik ^{13}C untuk mengetahui dan membedakan komposisi gas, apakah berasal dari gas biogenik yang in situ atau gas termogenik yang merembes dari lapisan batuan di bawahnya.
- Analisis isotopik ^{14}C untuk mengetahui umur absolut batuan.
- Analisis seismik 3-D perlu dilakukan untuk mengetahui lebih detail jalur migrasi dan akumulasi gas biogenik dangkal

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada para anggota Tim “Pengembangan Potensi Gas Dangkal Perairan Sumenep” yang terhormat atas ijin dan bantuannya untuk memakai data survei lapangan, baik berupa data primer maupun data sekunder.

DAFTAR ACUAN

Arifin, L dan Kusnida, 2006, dalam Laporan Penyelidikan Pengembangan Potensi Gas

Dangkal Perairan Sumenep, Madura. *Laporan internal*. PPPGL. Bandung (Tidak dipublikasikan).

Faturachman, A., Arifin, L., Kusnida, D., 2006. Laporan Penyelidikan Pengembangan Potensi Gas Dangkal Perairan Sumenep, Madura. *Laporan internal*. PPPGL. Bandung (Tidak dipublikasikan).

Pertamina, 1996. Petroleum Geology Of Indonesian Basin Volume IV : East Java Basin \. Pertamina. BPPKA, Jakarta.

Rice, D. D. Dan Claypool, G. E., 1981. Generation, accumulation, and resource potential of biogenic gas. *AAPG Bulletin*, v. 65, h. 5 – 25.

Rice, D. D., 1993. Biogenic gas: controls, habitats, and resource potential, dalam Shurr, G. W. dan Ridgley, J. L., 2002. Unconventional shallow biogenic gas systems. *AAPG Bulletin*, v. 86. h. 1939 – 1969.

Situmorang, R.R.L., Agustianto D.A., dan Suparman, M., 1993, Laporan Geologi Lembar Waru-Sumenep, Sekala 1 : 100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Shurr, G. W. dan Ridgley, J. L., 2002. Unconventional shallow biogenic gas systems. *AAPG Bulletin*, v. 86, no. 11. h. 1939 – 1969.