

# POLA SEBARAN GAS *CHARGED SEDIMENT* DASAR LAUT DI PERAIRAN SIDOARJO JAWA TIMUR

Oleh:

I Nyoman Astawa, Wijaya, P.H., dan I.W. Lugra

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjungan 236 Bandung

Diterima : 02-02-2011; Disetujui : 10-07-2011

## SARI

Gas *charged sediment* dalam rekaman seismik dicirikan oleh tidak adanya gambar pantul dalam (*free reflector*), karena *gas charged sediment* merupakan media penyerap energi. Dari hasil penafsiran rekaman seismik dapat dibuat Peta Pola Sebaran Gas *Charged sediment* di daerah penelitian. Pola sebaran gas *charged sediment* di daerah penelitian cukup luas yaitu mulai dari Perairan Sukolilo hingga ke muara Kali Porong. Di bagian selatan daerah penelitian (L-12), sebaran gas *charged sediment* relatif lebih luas jika dibandingkan dengan di bagian utara (L-19).

**Kata kunci** : seismik, penafsiran, peta pola sebaran gas charged

## ABSTRACT

In the seismic record gas charged is characterized by free reflectors, because the gas charged is an energy absorber media. From the interpretation of the seismic record, the maps of gas charged distribution pattern in the study area can be created. Gas charged distribution pattern in the study area is extend from Sukolilo Waters to the estuary of Porong River. In the soothern part of the study area (L-12), the distribution of gas charged is relatively broader than in the northern part (L-19).

*Keywords: seismic, interpretation, map distribution pattern of biogenic gas*

## PENDAHULUAN

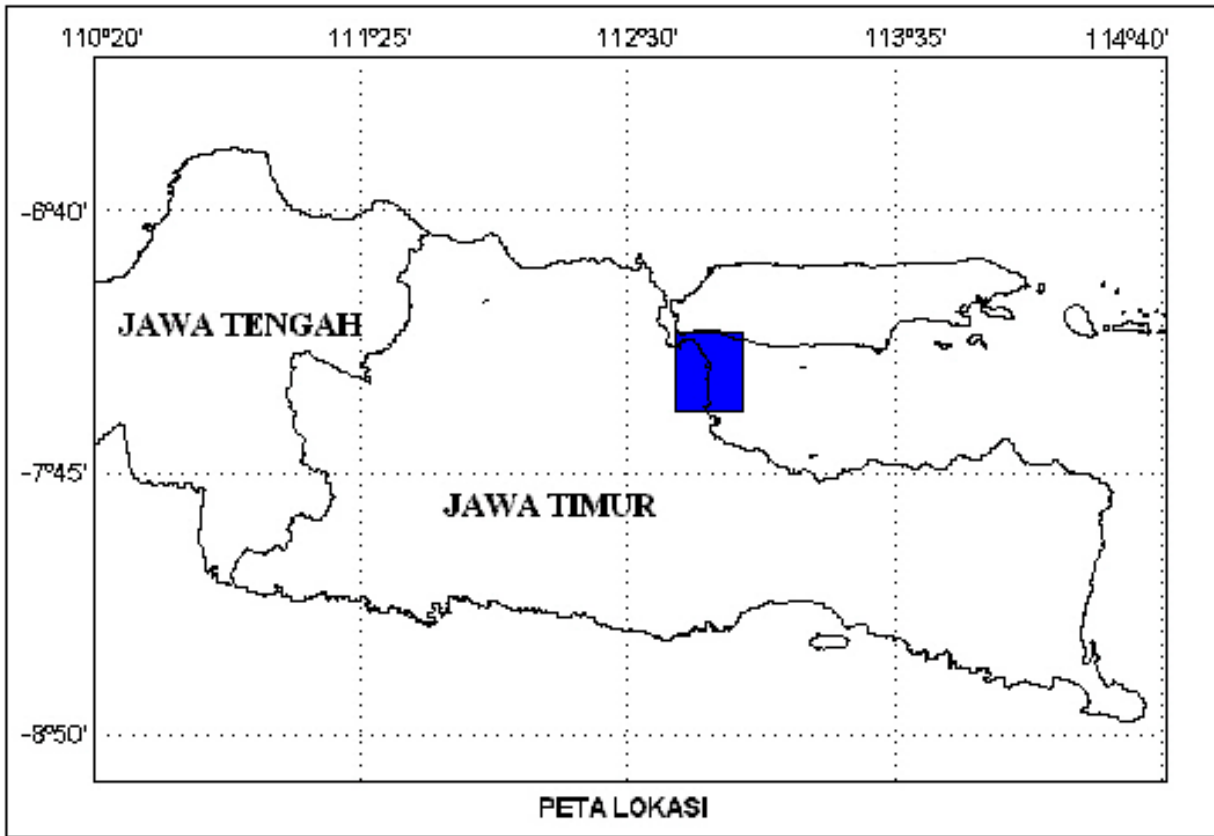
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyajikan Peta Indikasi Sebaran Gas *Charged sediment* di daerah penelitian, dengan sasaran jika gas *charged sedimentnya* mengandung gas metan dan dapat dieksploitasi, maka kegiatan ini bermanfaat bagi diversifikasi energi daerah pesisir. Gas *charged sediment* di daerah penelitian diduga berupa gas biogenik.

Daerah penelitian secara administrasi termasuk dalam Kota Madya Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur, dan secara geografis terletak pada koordinat koordinat  $112^{\circ} 42' - 113^{\circ} 00'$  BT. Dan  $-07^{\circ} 12' - -07^{\circ} 30'$  LS. (Gambar 1).

Definisi genetis gas biogenik oleh Gary dr. (1974) dapat dikembangkan lebih jauh sehingga mencakup komposisi gas biogenik berupa gas metana. Pengertian ini langsung menunjuk metana sebagai gas biogenik karena gas ini memang merupakan gas utama yang terbentuk oleh aktivitas organik pada suhu rendah.

Secara genesa gas biogenik tersebut, terbentuk pada kondisi lingkungan dengan kriteria sebagai berikut :

- Lingkungan harus benar-benar bebas dari oksigen. Artinya bakteri anaerobic akan mati dalam lingkungan yang mengandung oksigen jenuh.



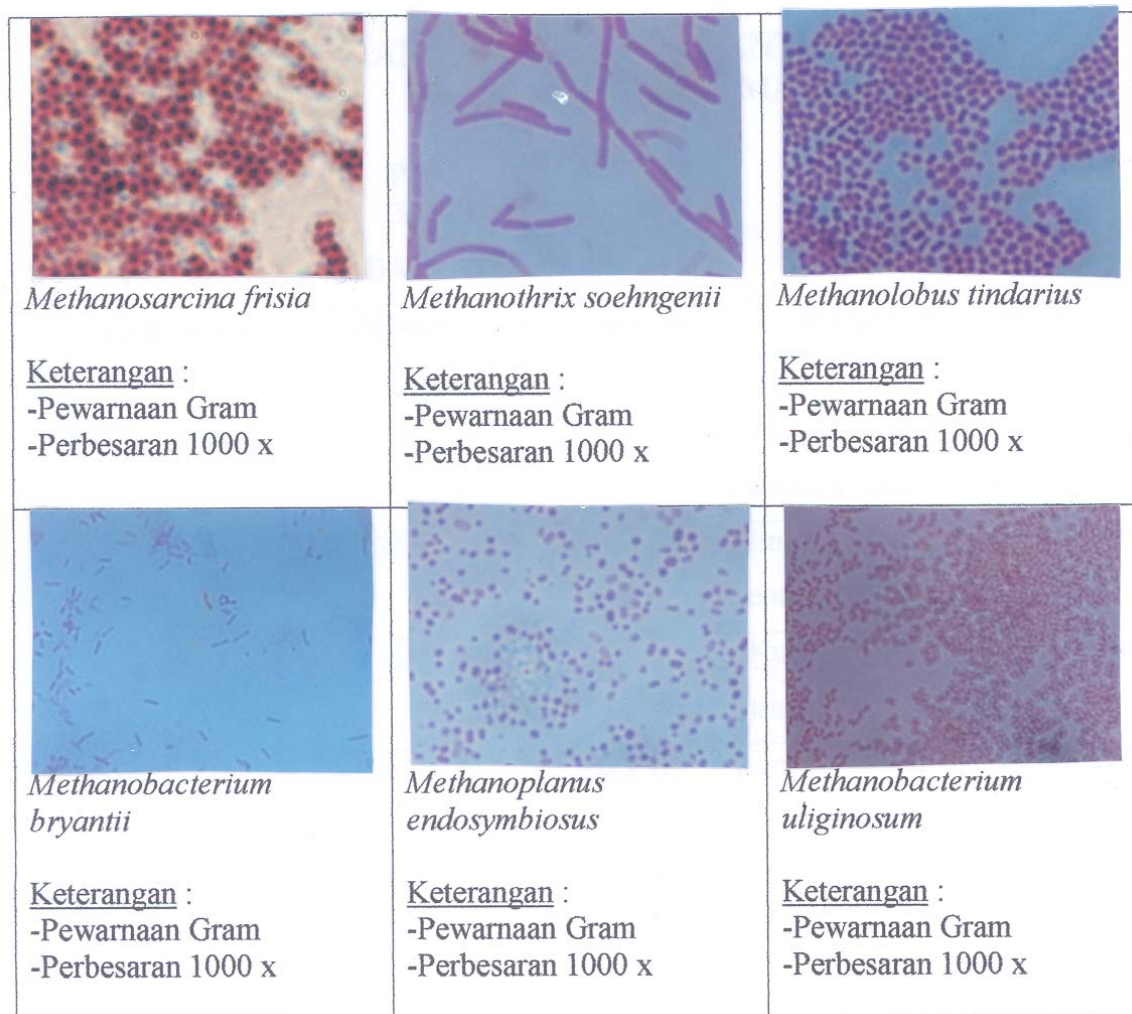
Gambar 1. Peta lokasi penelitian

- Lingkungan kondisi air tawar atau payau yang bebas dari konsentrasi sulfat agar tidak terjadi proses kimiawi oksidasi.
- Lingkungan dengan temperatur yang sesuai dengan temperatur bakteri *anaerobic* untuk hidup. Oleh sebab itu pada lapisan yang lebih dalam, gas metan biogenik tidak akan terbentuk karena pada lingkungan ini tekanan dan temperatur meningkat dan akan menghasilkan metan termogenik. Pada kondisi tersebut juga terjadi perubahan komposisi organik sebagai akibat proses kimia-fisika.
- Media atau sedimen dengan porositas yang cukup merupakan salah satu lingkungan yang diperlukan oleh bakteri anaerobik untuk bisa bebas berkembang seperti lanau atau pasir halus. Pada sedimen berukuran lempung yang sangat padu dan lengket (*sticky clay*) bakteri ini kemungkinan kecil sekali untuk berkembang.

Ada dua komponen utama di dalam pembentukan gas metan biogenik yaitu :

pertama material organik (moluska, tumbuh-tumbuhan), dan kedua bakteri metanogenik sebagai katalisator. Gas metan biogenik akan terbentuk jika tersedianya material organik yang cukup dan berada pada lingkungan anaerobik (tidak ada oksigen) sehingga terjadi proses kimiawi reduksi. Unsur karbon ( $C^{++}$ ) yang terlepas dari material organik dan hydrogen ( $H^-$ ) yang berasal dari material organik, air tawar ( $H_2O$ ) oleh aktivitas bakteri *anaerobic* akan menghasilkan gas metan ( $CH_4$ ). Bakteri anaerobik tersebut sebagai katalisator. Gas yang dihasilkan ini dikenal sebagai gas metan biogenik.

Bakteri metanogenik pembentuk gas biogenik diantaranya adalah *ethanobacterium uliginosum*, dengan karakteristik bakteri yang didominasi warna jingga kekuningan, ada juga yang berwarna kuning cerah dan putih bening, mengkilat, circular, entire, convex (Holt., 1994), seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Foto Bakteri dalam percontoh sedimen, perbesaran 1000 X (Holt., 1994).

## GEOLOGI REGIONAL

Geologi regional daerah penelitian mengacu pada Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu, Jawa Timur (Sukardi,1992), urutan stratigrafi daerah penelitian dari muda ke tua adalah sebagai berikut :

- Aluvium, yang terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan setempat mengandung pecahan fosil.
- Formasi Kabuh, yang terdiri atas batu pasir, setempat kerikil, kelabu muda, berbutir kasar, berstruktur perarian dan silang-siur, konglomerat, terpilah buruk, kemas terbuka, berstruktur lapisan bersusun.
- Formasi Pucangan, yang terdiri atas bagian bawah: batu pasir tufan berlapis baik, bersisipan konglomerat dan batu lempung, kaya akan fosil moluska dan plancton.

Bagian atas: batu pasir tufan berlapis baik, umumnya berstruktur perarian dan silang-siur.

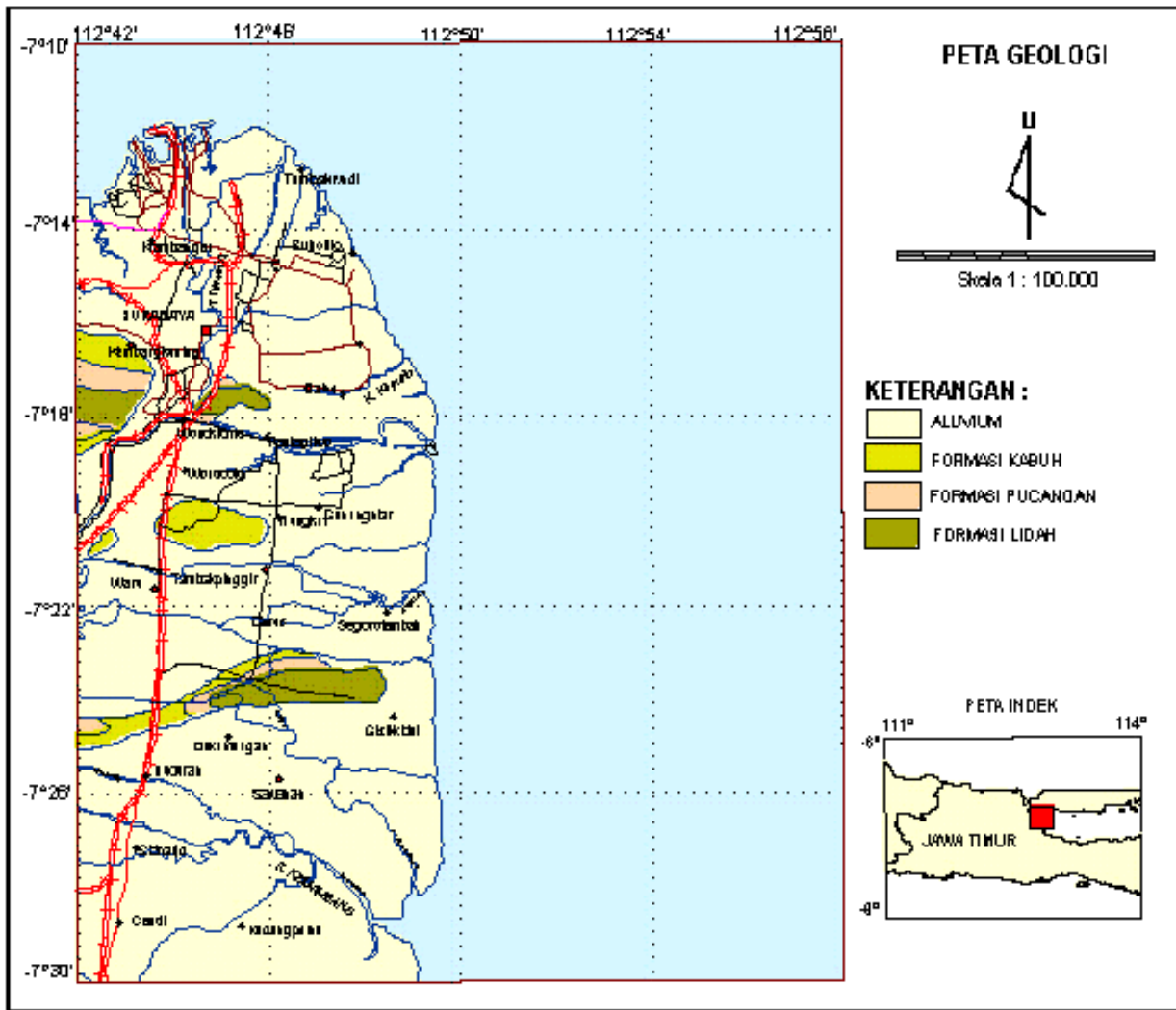
- Formasi Lidah, yang terdiri atas batu lempung biru, setempat kehitaman, kenyal, pejal, dan keras bila kering, miskin fosil, lensa tipis batu lempung pasir (Gambar 3).

## METODE PENELITIAN

Metode yang diaplikasikan dalam penelitian Gas Charged di Sungai Purba Kali Berantas, Jawa Timur, adalah sebagai berikut:

### Metode penentu posisi

Metode penentu posisi adalah metode yang digunakan untuk menentukan posisi kapal selama melakukan penelitian. Metode ini digunakan pada saat pengambilan data seismik pantul dangkal saluran tunggal, kedalaman laut



Gambar 3. Peta geologi regional daerah penelitian (Sukardi, 1992).

(pemeruman), strata Box, pengambilan percontoh sedimen permukaan dasar laut. Dalam metode ini peralatan yang digunakan adalah peralatan GPS (*Global Positioning Sistem*) berupa seperangkat Trimble/DSM-212 H, dengan antena penerima signal, dan GPS yang dihubungkan ke sistem navigasi terpadu dibantu dengan perangkat lunak SEATRAC.

Data posisi diperoleh secara otomatis setiap 2 detik dan direkam, selanjutnya pemrosesan dilakukan dengan perangkat komputer menggunakan program SEATRAC II. Pencatatan data posisi di print setiap 1 menit. Peralatan Penentu Posisi adalah GPS Trimble/DSM-212 H 1 unit, Notebook Toshiba T-1850, 368 SX 1 unit. Antena penerima sinyal.

### Metode Geofisika

Metode Geofisika yang diterapkan dalam penelitian ini adalah seismik pantul dangkal saluran tunggal, dan pemeruman.

### Metode Seismik

Dalam metode ini peralatan yang digunakan adalah seperangkat seismik pantul dangkal saluran tunggal yang terdiri dari *Portable Genset* 2,8 KVA merek Mitsubishi MGB 4000, Generator 10 KVA merek *Yanmar*, *DC Power Supply*, *Stabilizer* merek Matsunaga, *Streamer Single Channel (SIG)*, *Boomer Plate (Geo Acoustic)*, *Sparkarray Multy Elektrodes* (Elektrodea 2000 J), *Trigered Capasitor Bank* (EG & G 231), *Power Supply* (EG & G 232 A), *Grafik Recorder* (EPC-1086-NT).

## Pemeruman

Pemeruman dilakukan di sepanjang lintasan yang telah ditentukan, yang bertujuan untuk memperoleh data kedalaman dasar laut. Data ini dipakai sebagai bahan untuk pembuatan peta batimetri yang menggambarkan morfologi dasar laut. Peralatan yang digunakan untuk pemeruman adalah *Echosounder Navisound 210*.

## Metode geologi

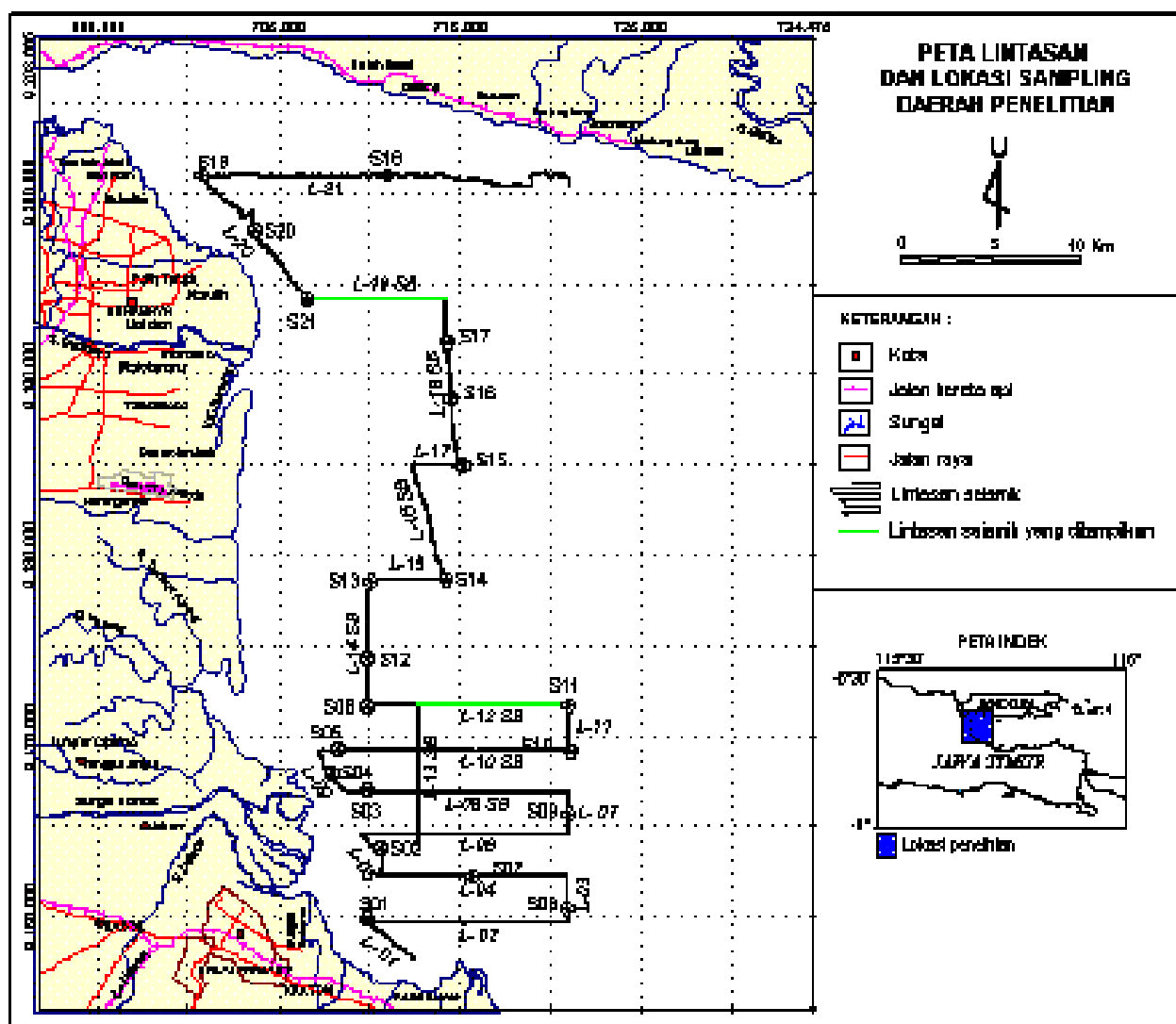
Dalam metode ini dilakukan pengambilan percontoh sedimen permukaan dasar laut. Peralatan yang digunakan dalam metode ini antara lain *Grab Sampler Kecil*, *Gravity Corer*, Tambang plastik, *Winch Mekanik Elektrik*.

## Metode laboratorium

Kegiatan laboratorium dilakukan setelah penyelidikan lapangan selesai, dan analisis yang dilakukan adalah analisis bakteri pembentuk gas charged dan *Gas Chromatologi (GC)* milik Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung, untuk menentukan bahwa gas yang ditemukan di daerah penelitian adalah gas charged.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lintasan penelitian disesuaikan dengan metode serta data yang akan didapat agar dapat mewakili daerah penelitian. Arah lintasan seismik pantul dangkal saluran tunggal umumnya barat-timur dan satu lintasan dengan arah utara-selatan sebagai lintasan kontrol,



Gambar 4. Peta lintasan dan lokasi percontoh sedimen (Astawa drr., 2010)

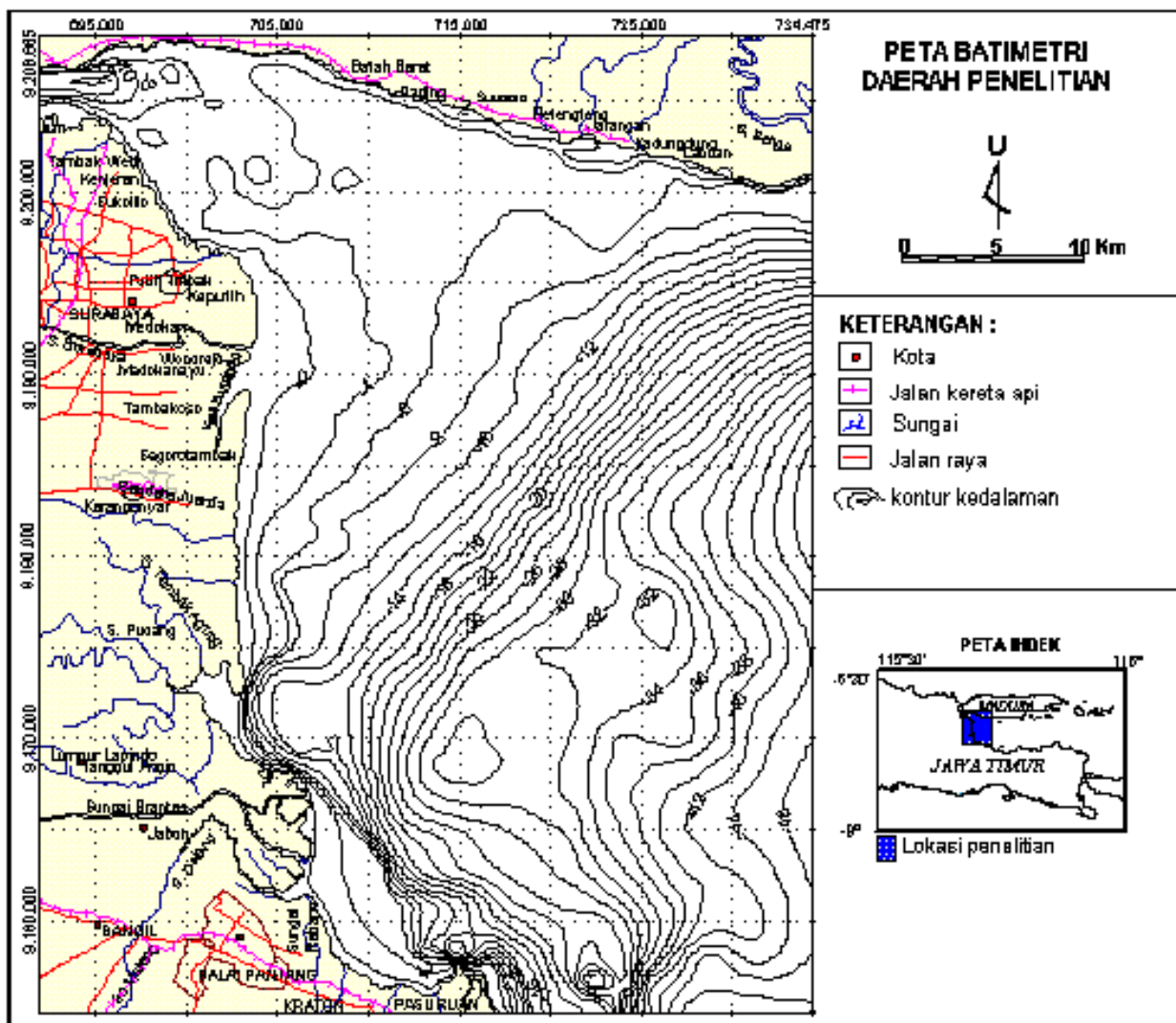
dengan panjang lintasan keseluruhan kurang lebih 180 kilometer (Astawa dr., 2010). Lintasan tidak dapat menjangkau dekat pantai karena kedalaman air saat surut kurang dari 1 meter pada jarak kurang lebih 2 km dari garis pantai, sehingga data seismik yang diperoleh paling dekat sekitar 2 km dari garis pantai. Lintasan pemeruman sama dengan lintasan penelitian seismik, karena dilaksanakan pada waktu bersamaan (Gambar 4).

Peta batimetri yang diperoleh dari hasil pemeruman setelah dikoreksi dengan pasang surut, dibuat dengan selang kedalaman 2 meter. Hal tersebut dilakukan karena perairan daerah penelitian kontras kedalamannya cukup besar, sehingga kalau dibuat kontur dengan selang yang lebih kecil, misalnya selang 1 meter, kerapatan konturnya cukup tinggi. Dari

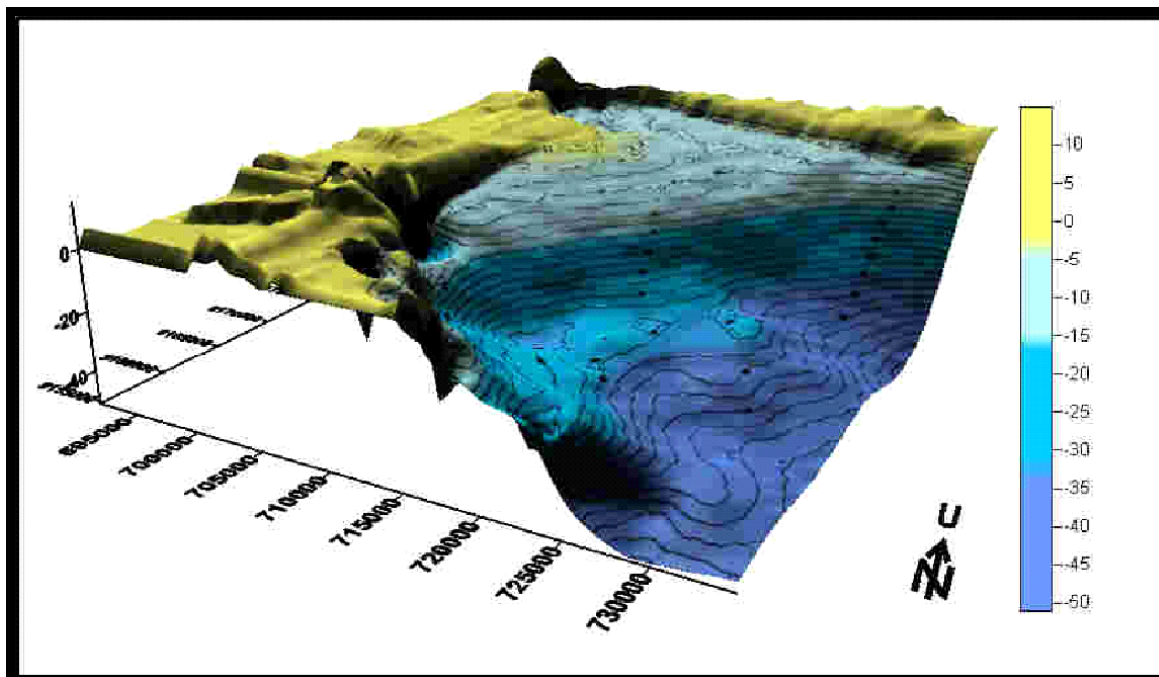
pemetaan batimetri diperoleh gambaran bahwa kedalaman terendah yang dapat direkam adalah 2 meter, dan terdalam 46 meter yang terletak di bagian timur daerah penelitian.

Pola kontur batimetri di daerah penelitian hampir mengarah timurlaut-baratdaya. Di bagian baratlaut daerah penelitian, morfologi dasar lautnya sangat landai, berkisar antara 2 meter hingga 6 meter (Gambar 5, dan 6).

Berdasarkan sifat fisiknya, gas *charged sediment* adalah merupakan media penyerap energi. Dalam penafsiran rekaman seismik, gas *charged sediment* itu sendiri dicirikan oleh suatu rekaman yang bebas gambar pantul dalam (*free reflector*), (Sangree, and Widmier, 1977). Hasil penafsiran rekaman seismik pantul dangkal saluran tunggal dengan sumber suara *Boomer 300 Joule, sweeping rate* 0,5 detik



Gambar 5. Peta batimetri daerah penelitian (Astawa dr., 2010).



Gambar 6. Penampang 3 dimensi dasar laut daerah penelitian (Astawa drr., 2010).

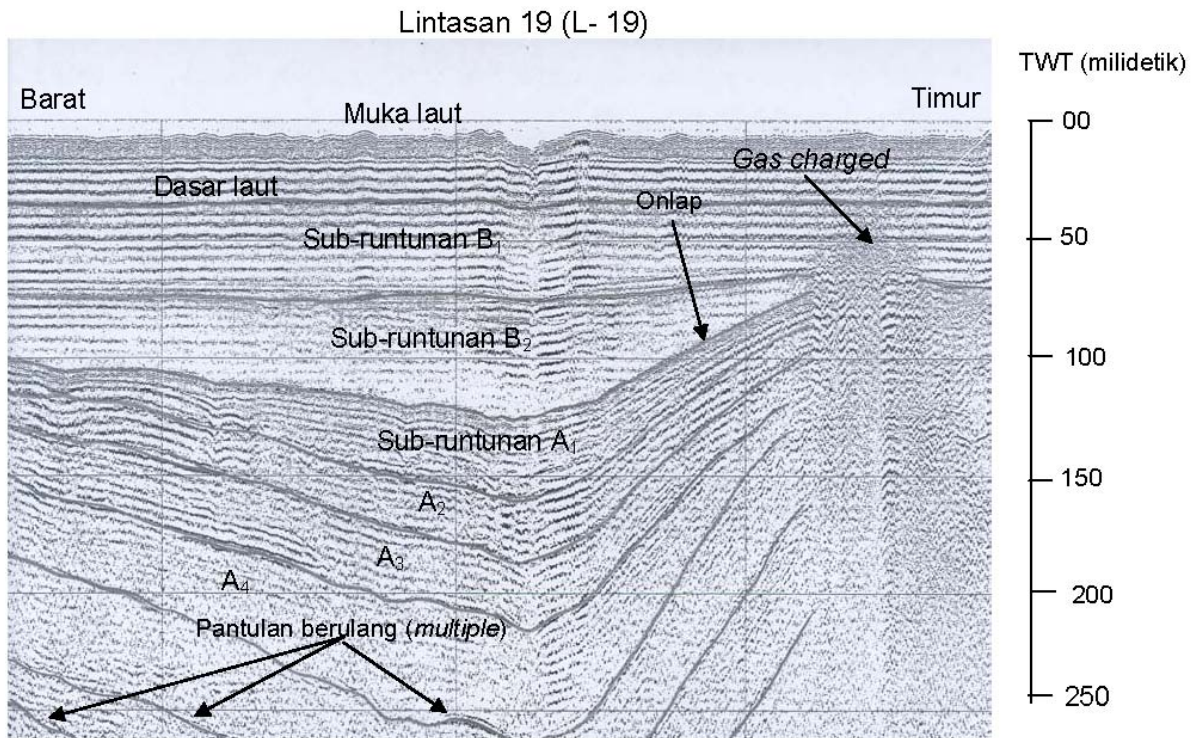
dan *firing rate* 0,5 detik yang diperoleh menunjukkan bahwa daerah penelitian dapat dibedakan menjadi 2 (dua) runtunan yaitu runtunan A dan B, Kontak antara runtunan A dengan B di beberapa tempat ada yang berupa kontak *downlap* dan di tempat lain ada yang berupa kontak ketidakselarasan yang dalam seismik stratigrafi disebut sebagai bidang erosi (*erosional truncation*). Runtunan B dapat dibagi menjadi Sub-runtunan B<sub>1</sub> dan B<sub>2</sub>. Kontak antara Sub-runtunan ini berupa kontak *downlap*.

Dalam Gambar 7, pada lintasan L-19 terlihat runtunan A dapat dibagi menjadi 4 (empat) sub-runtunan yaitu sub-runtunan A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, dan A<sub>4</sub>. Pembagian ini didasarkan pada adanya suatu gambaran pantulan dalam yang kuat dan menerus di antara sub-runtunan tersebut. Terlihat pada rekaman seismik bahwa runtunan A sudah mengalami gangguan tektonik berupa perlipatan (antiklin). Jika dikaitkan dengan geologi regional daerah penelitian, runtunan A dapat dibandingkan dengan Formasi Kabuh yang berumur Plistosen. Di bagian puncak antiklinnya terdapat rembesan gas (*gas charged sediment*). Rembesan gas yang terdapat pada Gambar 7 diduga merupakan gas termogenik dengan gambar pantul dalam yang bebas pantul (*free reflector*) bukan gas metan.

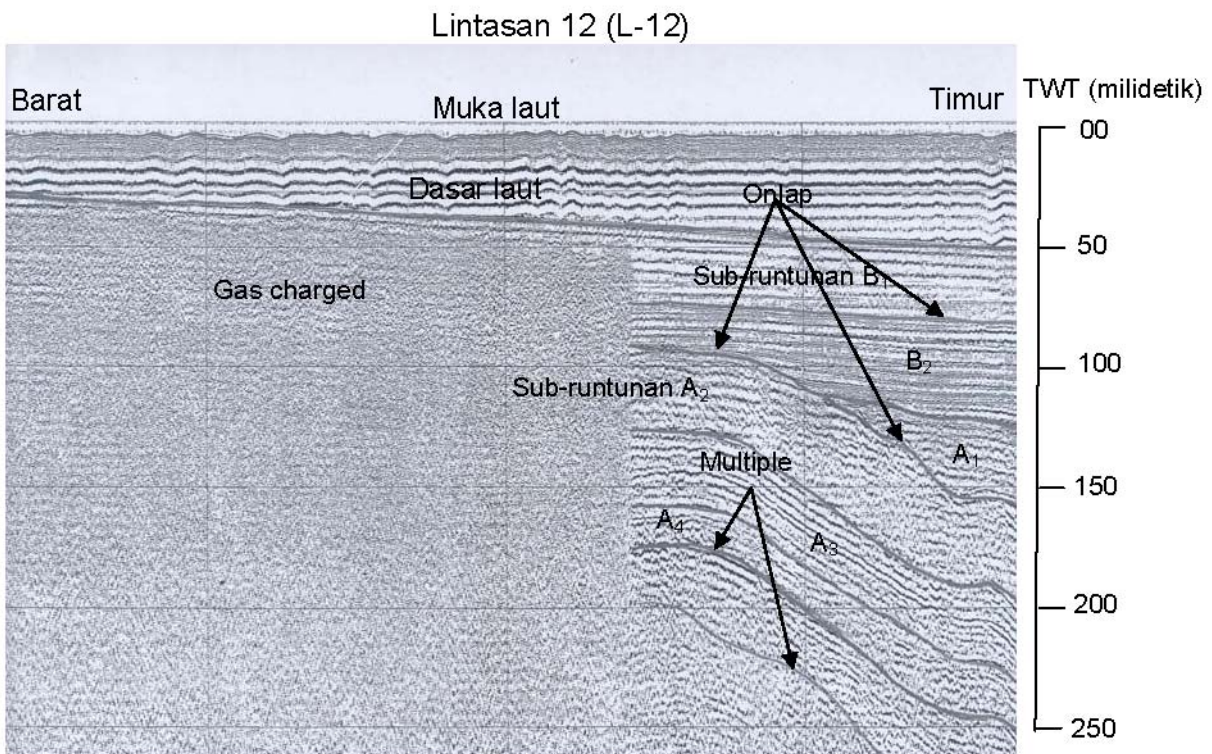
Karena pada rekaman seismik terlihat dengan jelas bahwa rembesan gasnya berasal dari runtunan A, sedangkan gas *charged sediment* yang dicari adalah gas dangkal, yang terperangkap dalam sedimen yang berumur Kuartar. Hal tersebut diperkuat dengan adanya data bahwa daerah penelitian terletak di *North East Java Basin*, yang kaya akan minyak dan gas bumi.

Runtunan B adalah runtunan termuda di daerah penelitian, yang proses pengendapannya masih berlangsung sampai sekarang. Runtunan B dibagi menjadi 2 (dua) sub-runtunan yaitu sub-runtunan B<sub>1</sub> dan B<sub>2</sub>. Gambaran pantul bagian dalamnya untuk sub-runtunan B<sub>1</sub> paralel, diduga material sedimen runtunan ini homogen dan diendapkan pada lingkungan tenang. Sub-runtunan B<sub>2</sub> gambar pantul dalamnya paralel hingga sub-paralel, diduga material penyusun runtunan ini relatif heterogen dan diendapkan pada lingkungan dengan energi arus yang relatif tinggi.

Sub-runtunan B belum mengalami gangguan tektonik baik berupa perlipatan maupun sesar. Jika dikaitkan dengan geologi regional daerah penelitian, runtunan B dapat dibandingkan dengan alivium yang berumur Kuartar.

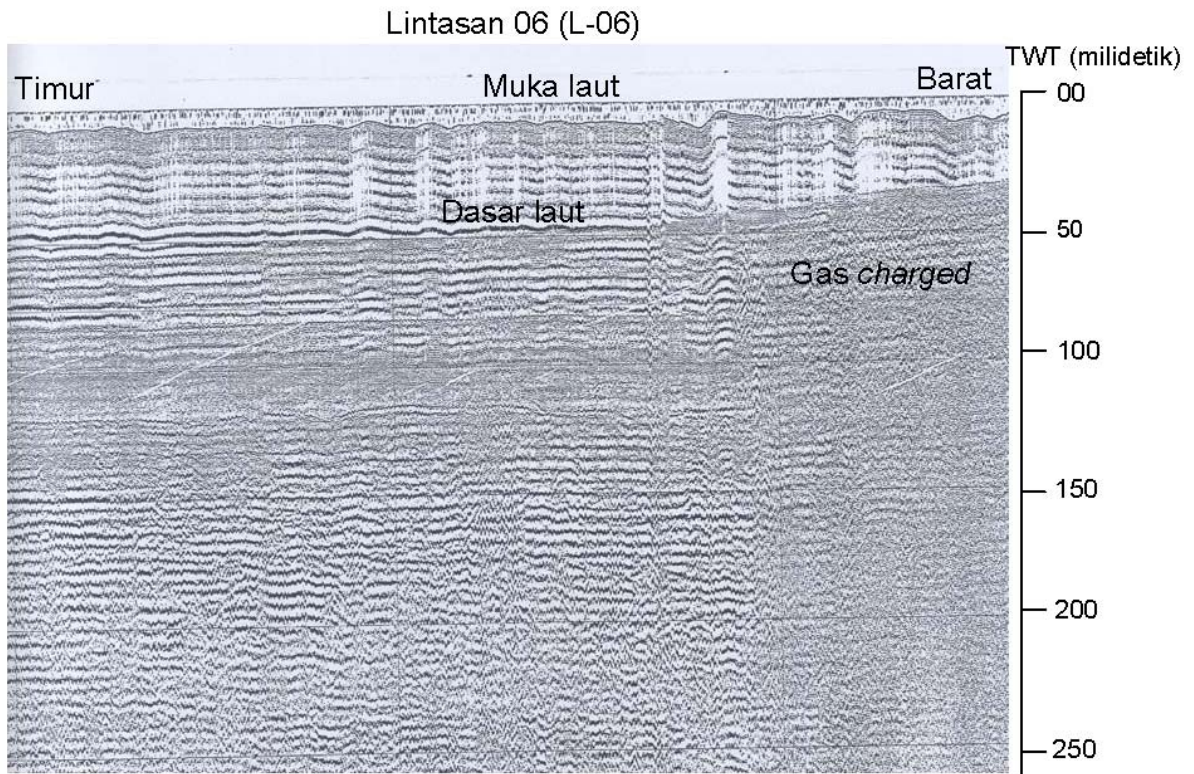


Gambar 7. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-19).

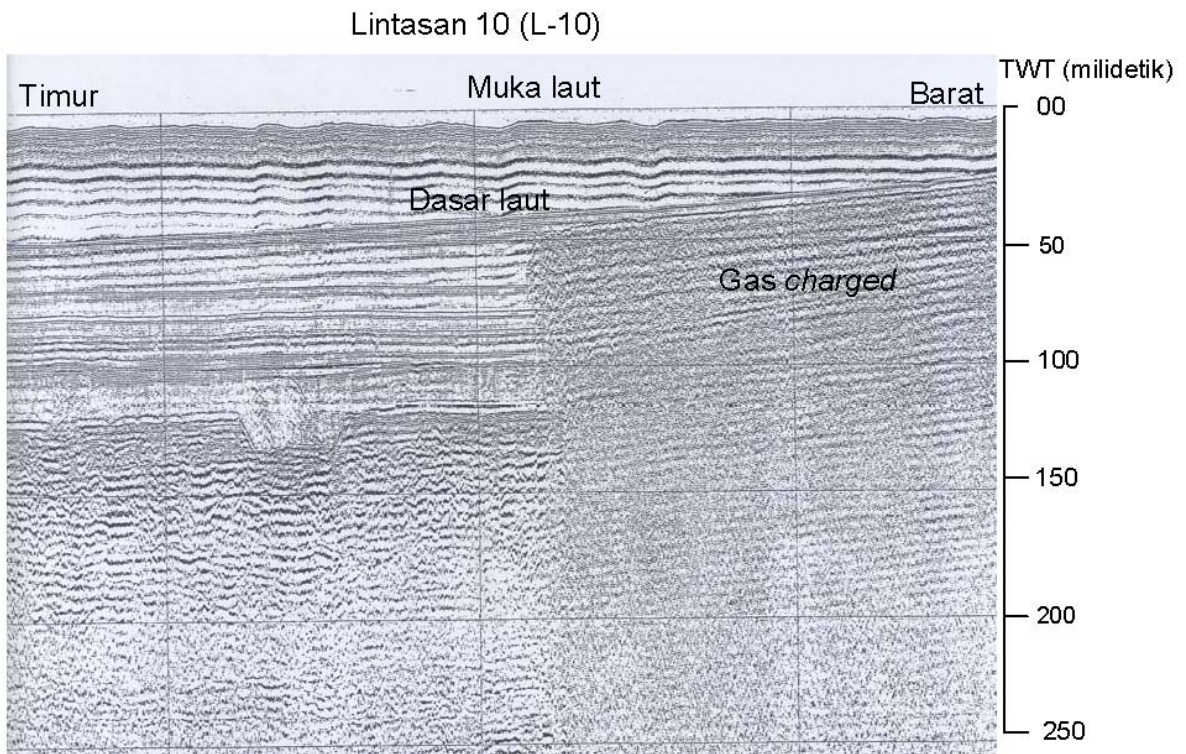


Gambar 8. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-12).

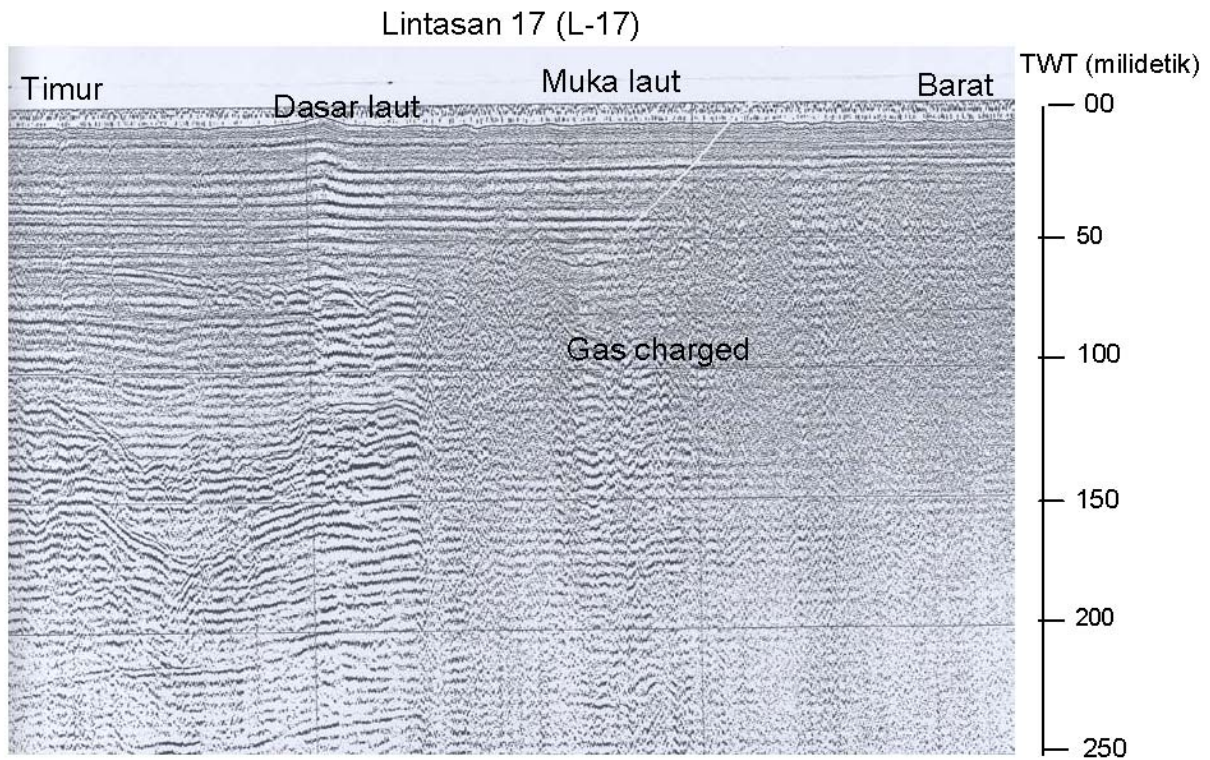




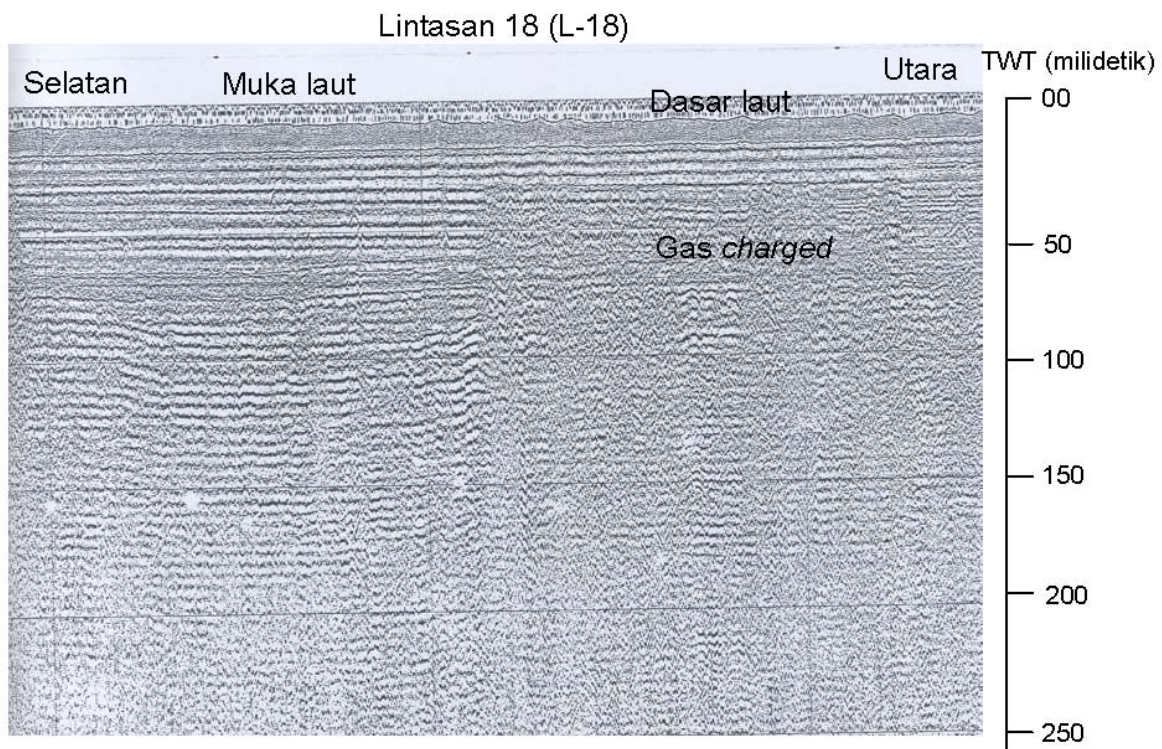
Gambar 9. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-06)



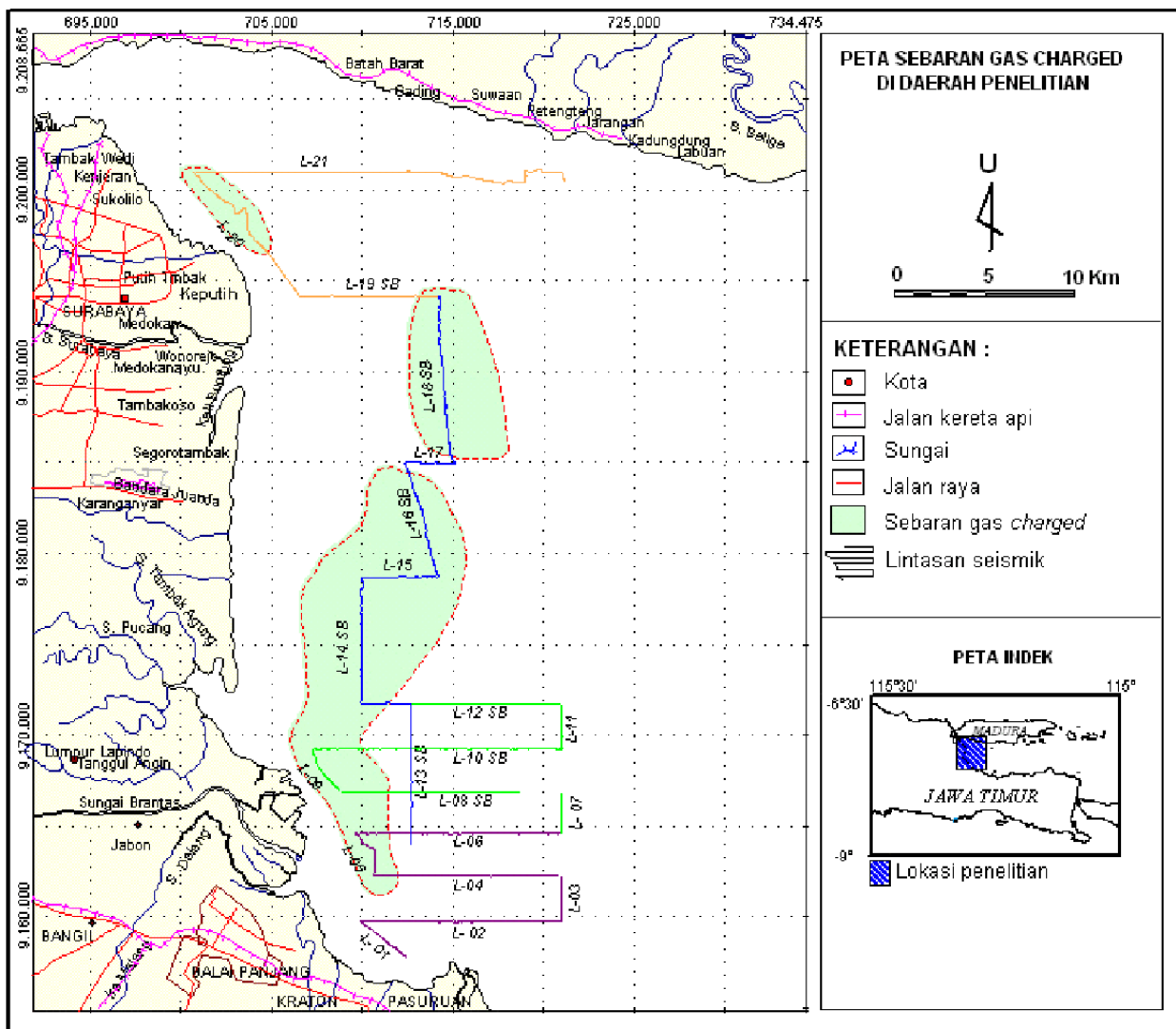
Gambar 10. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-10).



Gambar 11. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-17).



Gambar 12. Rekaman seismik dan penafsirannya (L-18).



Gambar 13. Peta Sebaran Gas charged bawah permukaan dasar laut di Daerah Penelitian.

Pada lintasan 12 (Gambar 8) terlihat konfigurasi pantulan seismik pada runtunan A adalah sub-paralel, dan *divergen*. Konfigurasi yang *divergen* biasanya disebabkan oleh variasi kecepatan laju pengendapan yang beragam atau kemiringan permukaan dasar laut tempat sedimen di endapkan pada lingkungan yang berenergi lemah sampai sedang.

Gambar pantul dalam runtunan B adalah paralel, pembagian runtunan ini menjadi 2 (dua) sub-runtunan yaitu sub-runtunan B<sub>1</sub> dan B<sub>2</sub>, karena kedua sub-runtunan tersebut dibatasi oleh reflektor yang kuat dan menerus. Pembagian runtunan A menjadi 4 (empat) sub-runtunan yaitu sub-runtunan A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> dan A<sub>4</sub>, juga berdasarkan karena adanya reflektor yang kuat dan menerus. Untuk sub-runtunan A<sub>1</sub> sampai A<sub>3</sub>, gambar pantul dalamnya paralel

hingga sub-paralel, diduga material sedimen yang menyusun relatif heterogen dan diendapkan pada lingkungan dengan energi arus relatif tinggi. Sub-runtunan A<sub>4</sub> gambar pantul dalamnya sub-paralel hingga *chaotic*, diduga material sedimen penyusunnya heterogen dan diendapkan pada lingkungan dengan energi arus cukup tinggi. Kontak antara runtunan A dengan B adalah kontak *onlap*.

Runtunan A sudah mengalami gangguan tektonik berupa perlipatan, jika dibandingkan dengan geologi regionalnya maka runtunan A ini dapat dibandingkan dengan Formasi Kabuh, yang merupakan bagian dari Lajur Kendeng. Formasi Kabuh berumur Plistosen, yang terdiri atas batu pasir, setempat kerikilan, kelabu muda, berbutir kasar, berstruktur perarian dan silang siur, konglomeratan, terpilah buruk, kemas

terbuka, berstruktur lapisan bersusun. Hal tersebut yang menyebabkan gambaran reflektor bagian dalam dari runtunan A bervariasi mulai dari *divergen*, semi paralel, *oblique*, dan pantulan bebas.

Dalam lintasan 12 (Gambar 8) terlihat rekaman seismik yang diambil dari daerah pantai menuju ke laut yang lebih dalam (arah barat-timur), gambar pantul bagian dalamnya di daerah pantai berupa bebas pantul, sedangkan semakin ke bagian laut yang lebih dalam, gambar pantul dalamnya terlihat cukup jelas. Hal tersebut diduga di bagian pantai daerah penelitian, sedimen dasar lautnya mengandung gas *charged sediment*. Pada rekaman seismik di lintasan 12 (L-12) runtunan A juga dapat dibagi menjadi 4 (empat) sub-runtunan yaitu sub-runtunan A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, dan A<sub>4</sub>, dan runtunan B masih tetap dapat dibagi menjadi 2 (dua) sub-runtunan, yaitu sub-runtunan B1, dan B2.

Pada lintasan 06, 10, 17, dan 18 (Gambar 9-12) terlihat adanya gambar pantulan bagian dalam yang bebas, dimana kondisi seperti ini diduga bahwa di daerah tersebut kemungkinan terdapat akumulasi gas *charged sediment*. Gas *charged sediment* di daerah penelitian sebarannya cukup luas, di samping pada lintasan tersebut di atas juga muncul pada rekaman seismik lintasan L-04, L-05, L-08, L-09, L-13, L-14, dan L-15. Jika sebaran gas *charged sediment* tersebut diplot ke dalam peta kerja, maka dapat dibuat Peta Pola Sebaran Gas *Charged sediment* dari hasil penafsiran rekaman seismik pantul dangkal saluran tunggal. Dari peta tersebut dapat dilihat bahwa sebaran gas *charged sediment* di daerah penelitian cukup luas, yang menempati lebih kurang 25 persen dari luas daerah penelitian (Gambar 13).

Sebaran gas *charged sediment* yang paling luas di daerah penelitian adalah di bagian tengah. Sebaran gas *charged sedimentnya* ada yang mencapai hingga lebih kurang 15 kilometer dari garis pantai, dan menerus hingga ke daerah bagian pantai.

Sebaran gas *charged sediment* di daerah penelitian, menempati mulai dari daerah pantai menuju ke laut. Kedalaman laut yang ditempati oleh gas *charged sediment*, mencapai 20 meter dari muka laut. Indikasi sebaran gas *charged sediment* menempati daerah mulai dari Sukolilo hingga ke muara Kali Porong. Sebaran yang paling luas terletak di bagian

tengah daerah penelitian yaitu antara Sukolilo dan muara Kali Porong.

Berdasarkan genesa gas biogenik dimana ada dua unsur yang penting dalam pembentukan gas biogenik yaitu pertama material organik (moluska, tumbuh-tumbuhan), dan kedua bakteri metanogenik sebagai katalisator. Gas metan biogenik akan terbentuk jika tersedianya material organik yang cukup dan berada pada lingkungan anaerobik (tidak ada oksigen) sehingga terjadi proses kimiawi reduksi. Unsur karbon (C++) yang terlepas dari material organik dan hydrogen (H-) yang berasal dari material organik, air tawar (H<sub>2</sub>O) oleh aktivitas bakteri anaerobik akan menghasilkan gas metan (CH<sub>4</sub>). Bakteri anaerobik tersebut sebagai katalisator. Gas yang dihasilkan ini dikenal sebagai gas metan biogenik (Holt, 1994). Berdasarkan hal tersebut gas *charged* di daerah penelitian diduga mengandung gas biogenik, karena gas *chargednya* tersebar di sekitar muara-muara sungai. Hal tersebut perlu dibuktikan dengan melakukan penelitian lebih rinci. Dalam penelitian tersebut perlu diterapkan metode pemboran dangkal untuk menganbil percontoh sedimen kemudian dianalisis menggunakan GC (*Gas Chromatography*), sehingga dapat diketahui jenis gas yang dikandung oleh gas *charged* tersebut.

## KESIMPULAN

Dari pemetaan batimetri diperoleh gambaran bahwa kedalaman terendah yang dapat direkam adalah 2 meter, dan terdalam 46 meter yang terletak di bagian timur daerah penelitian. Pola kontur batimetri di daerah penelitian hampir mengarah timurlaut-baratdaya. Di bagian baratlaut daerah penelitian, morfologi dasar lautnya sangat landai, dengan kedalaman berkisar antara 2 meter hingga 6 meter

Hasil penafsiran rekaman seismik, diperoleh bahwa rekaman seismik dapat dibagi menjadi 2 (dua) runtunan yaitu runtunan A dan B. Runtunan A dapat dibagi lagi menjadi 4 (empat) sub-runtunan, yaitu sub-runtunan A1, A2, A3, dan A4. Gambar pantul dalam sub-runtunan A1, A2, dan A3 adalah paralel hingga sub-paralel, sedangkan gambar pantul dalam sub-runtunan A4 adalah sub-paralel dan *chaotic*. Runtunan sudah mengalami gangguan tektonik yaitu berupa perlipatan atau antiklin. Runtunan B dapat dibagi menjadi 2 (dua) sub-runtunan

yaitu sub-runtunan B<sub>1</sub>, dan B<sub>2</sub>. Gambar pantul dalamnya adalah paralel hingga sub-paralel dan belum mengalami gangguan tektonik baik berupa perlipatan maupun sesar.

*Gas charged sediment* di daerah penelitian sebarannya cukup luas, dan muncul pada rekaman seismik lintasan L-04, L-05, L-06, L-08, L-09, L-10, L-13, L-14, L-15, L-17, dan L-18. *Gas charged sediment* diduga terbentuk pada runtunan A dan sub-runtunan B<sub>2</sub>, dan tertahan oleh sub-runtunan B<sub>1</sub>. Sebaran *gas charged sediment* di daerah penelitian cukup luas yaitu menempati lebih kurang 25 % dari luas daerah penelitian.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang tujuannya untuk mengetahui secara pasti jenis gas yang terkandung dalam *gas charged sediment*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya tulisan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Bandung, atas kepercayaannya kepada penulis untuk melakukan penelitian seismik pantul dangkal saluran tunggal di Perairan Sidoarjo dan sekitarnya, Jawa Timur, serta teman-teman yang ikut dalam pelaksanaan penelitian lapangan yang tidak dapat kami sebut satu persatu.

#### ACUAN

Astawa, I N., Luga, I W., Kurnio, H., Salahuddin, M., Achmad, M., Surachman, M., Wijaya,

P.H., Nurdin, N., 2010. Laporan Hasil Penelitian Gas Charged, di Sungai Purba Kali Berantas, Jawa Timur, *Puslitbang Geologi Kelautan*, tidak dipublikasikan.

Gary, M., R. McAfee, Jr., and C.L. Wolf (eds). 1974. Glossary of Geology: Falls Church, American Geological Institute. <http://marine.usgs.gov/fact-sheets/gas-hydrates/tite.html>  
[http://pubs.usgs.gov/fs/fs123-00/fs\\_123-00/fs\\_123-00.pdf](http://pubs.usgs.gov/fs/fs123-00/fs_123-00/fs_123-00.pdf)

[http://waterquality.montana.edu/docs/methane/cbtfnaq.shtml# what%20is%20coal%20bed%20met hane? http://www.gaschem.com/determ.html](http://waterquality.montana.edu/docs/methane/cbtfnaq.shtml#what%20is%20coal%20bed%20met%20thane?http://www.gaschem.com/determ.html)  
<http://www.sheffield.ac.uk/JGASP/homepage.htm> Kompas, 13 Juli 2003

Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., Williams, S.T., 1994. Bergey's *Manual of Determinative Bacteriology*, 9<sup>th</sup> ed., The Williams and Wilkins Co., Inc.

Sangree, J.B. and J.M. Widmier, 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of sea Level. **Part 9 : Seismic Interpretation of Clastic Depositional Facies**, AAPG Memoir 26. p. 165-184.

Sukardi, 1992. *Peta Geologi Lembar Surabaya dan Sapulu*, skala 1 : 250.000, Jawa Timur, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

