

MUD DIAPIR DI PERAIRAN SELATAN PULAU MADURA

Oleh:

L. Arifin dan D. Kusnida

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jl. Dr. Junjuran 236 Bandung-40174

Diterima : 22-02-2009; Disetujui : 25-10-2009

ABSTRACT

Shallow seismic reflection study along the southern water of Madura Island indicates the occurrence of diapir and sediment bearing gas. Normally, the occurrence of diapirism is associated with sediment bearing gas. These phenomena can be observed along the southern waters of Madura, from Sampang until Kalianget. Diapir, fault, and gas charged sediment are indicated as the geological hazard. Offshore infrastructures and drillings have to consider the present phenomena because they can destroy those infrastructures.

Key word; diapir, fault, gas, geological hazard, Sampang

SARI

Penelitian seismik pantul dangkal di perairan selatan P. Madura menunjukkan adanya diapir di dalam lapisan sedimen yang mengandung gas. Biasanya keberadaan diapir diikuti oleh adanya lapisan sedimen yang mengandung gas. Gejala ini dapat diamati di sekitar perairan pantai selatan Madura, mulai dari perairan Sampang hingga ke Kalianget. Diapir, sesar, dan gas dalam sedimen diindikasikan sebagai bahaya geologi. Pembangunan atau pemboran di pantai dan lepas pantai harus mewaspadai keberadaan diapir dan gas dalam lapisan sedimen. Di tempat ini struktur tanahnya labil dan dapat menimbulkan kerusakan bangunan di atasnya.

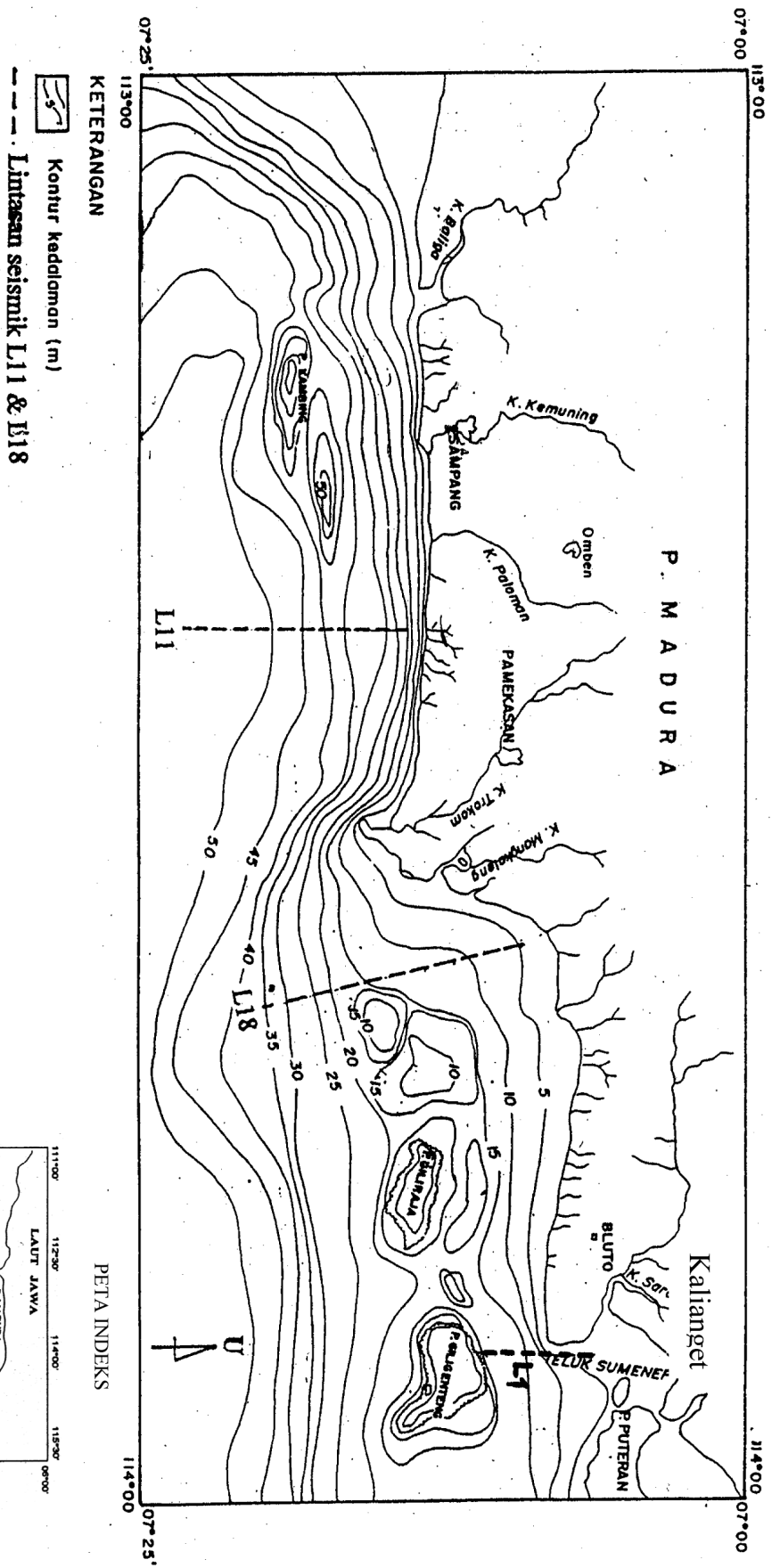
Kata kunci: diapir, sesar, gas, bahaya geologi, Sampang

PENDAHULUAN

Daerah penelitian terletak antara pantai utara Jawa Timur dan Pulau Madura, pada koordinat $7^{\circ} 00' 00'' - 7^{\circ} 25' 00''$ LS sampai $113^{\circ} 00' 00'' - 114^{\circ} 00' 00''$ BT. (Gb. 1). Latar belakang dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi keberadaan diapir di perairan selatan pulau Madura. Adapun maksud dan tujuannya adalah untuk menginterpretasikan karakteristik diapir dan kondisi geologi di bawah permukaan berdasarkan penafsiran rekaman seismik pantul dangkal. Dari data seismik pantul dangkal di daerah penelitian dapat ditafsirkan adanya struktur geologi seperti; pengangkatan,

patahan, keberadaan gas dalam sedimen, dan diapir. Dalam tulisan ini akan dibahas terutama tentang karakteristik diapir sedangkan untuk struktur geologi yang lainnya tidak banyak diuraikan.

Diapir didefinisikan sebagai sesuatu yang berbentuk kubah atau lipatan di tempat mana batuan yang menindih telah dipatahkan atau diterobos oleh bahan inti plastis (Usna, 1997). Menurut Satyana (<http://annelis.wordpress.com/2008/11/23>), diapir diartikan sebagai intrusi oleh massa yang relatif lebih *mobile* terhadap lapisan yang sudah ada sebelumnya akibat adanya *buoyancy* dan perbedaan tekanan. Diapirisme, dengan material berupa lumpur yang memadat



Gambar 1. Peta lokasi, batimetri dan lintasan seismik di daerah penelitian

(*undercompacted mud*) atau serpih, biasanya berlangsung dalam bentuk intrusi vertikal terhadap batuan yang lebih kompak di atasnya sepanjang rekahan atau pada zona yang lemah secara struktur. Dari definisi tersebut di atas maka dapat diidentifikasi karakteristik diapir di daerah penelitian dari penampang rekaman seismik pantul. Penelitian seismik pantul dangkal di perairan selatan pulau Madura seperti di Sampang, Pamekasan, Bluto, telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya Masduki dr., (1996), Arifin (1993, 2000), Rahardiawan dr., (2004), dan Faturachman dr., (2006). Peta struktur geologi (Arifin, 2000) menunjukkan adanya struktur geologi seperti patahan, pelipatan, dan sedimen mengandung gas. Dari penelitian-penelitian tersebut dapat dilihat keberadaan diapir yang tersebar di perairan selatan pulau Madura dengan berbagai karakter. Keberadaan diapir tersebut ditemukan mulai dari perairan Sampang, Pamekasan, Bluto, dan Sumenep menerus sampai ke perairan Kalianget. Dari penampang rekaman seismik pantul dangkal bentuk dari diapir tersebut sangat spesifik dan cukup mudah untuk diidentifikasi. Karena keberadaan diapir tersebut cukup dangkal dan mendekati dasar laut, maka dengan perekam seismik pantul dangkal saluran tunggal resolusi tinggi dapat terdeteksi.

GEOLOGI REGIONAL

Secara fisiografi daerah penelitian termasuk dalam lajur antiklinorium Rembang bagian timur (Bemmelen, 1949) yang ditandai oleh satuan perbukitan lipatan menggelombang. Satuan-satuan morfologinya berupa punggung sinklin, antiklin dan lembah homoklin. Struktur geologi umumnya berupa pelipatan dengan sumbu berarah barat-timur. Urutan stratigrafi berdasarkan peta lembar Waru dan Sumenep (Situmorang, dr., 1992) dari tua ke muda adalah Formasi Tawun, Ngrayong, Bulu, Pasean, Madura, dan Pamekasan. Formasi Tawun berumur Miosen Awal sampai Miosen Tengah yang terdiri dari batulempung, napal, batu gamping lempungan dengan sisipan batugamping. Formasi Ngrayong berumur Miosen Tengah yang menindih secara selaras Formasi Tawun dan tersusun oleh batupasir kuarsa berselingan dengan batu gamping orbitoid dan batulempung. Formasi Bulu menjemari dengan Formasi Ngrayong, berumur

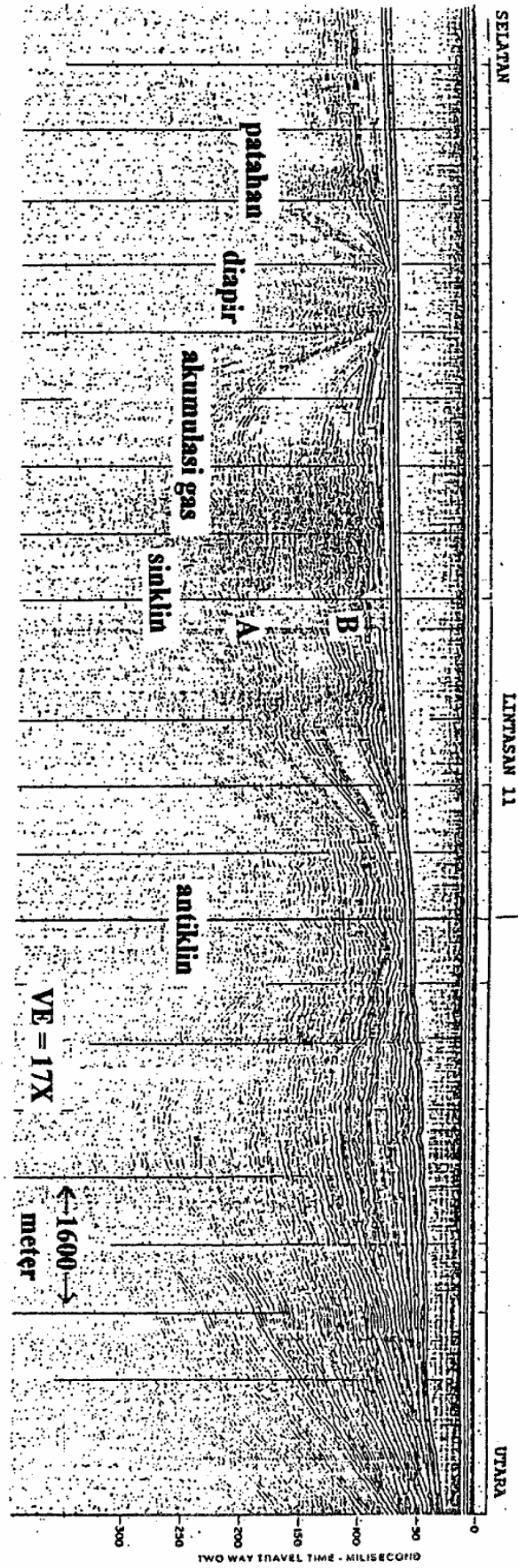
Miosen Tengah dan terdiri dari batugamping pelet dengan sisipan napal pasiran. Formasi Pasean menindih selaras Formasi Bulu, berumur Miosen Akhir dan terdiri dari perselingan napal. Formasi Madura berumur Miosen Akhir-Pliosen, menindih Formasi yang lebih tua secara selaras (di daerah Pakong) dan tak selaras menindih Formasi Ngrayong (di bagian utara Pakong), berumur Miosen Tengah. Formasi Madura terdiri atas batugamping terumbu dan batugamping dolomitan. Formasi Pamekasan berumur Pliosen menjemari dengan Formasi Madura, dan terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping. Aluvium berumur Holosen sampai sekarang, terdiri dari fraksi lepas berukuran lempung, kerakal dan terumbu koral yang banyak terdapat di sepanjang pantai.

METODE PENELITIAN

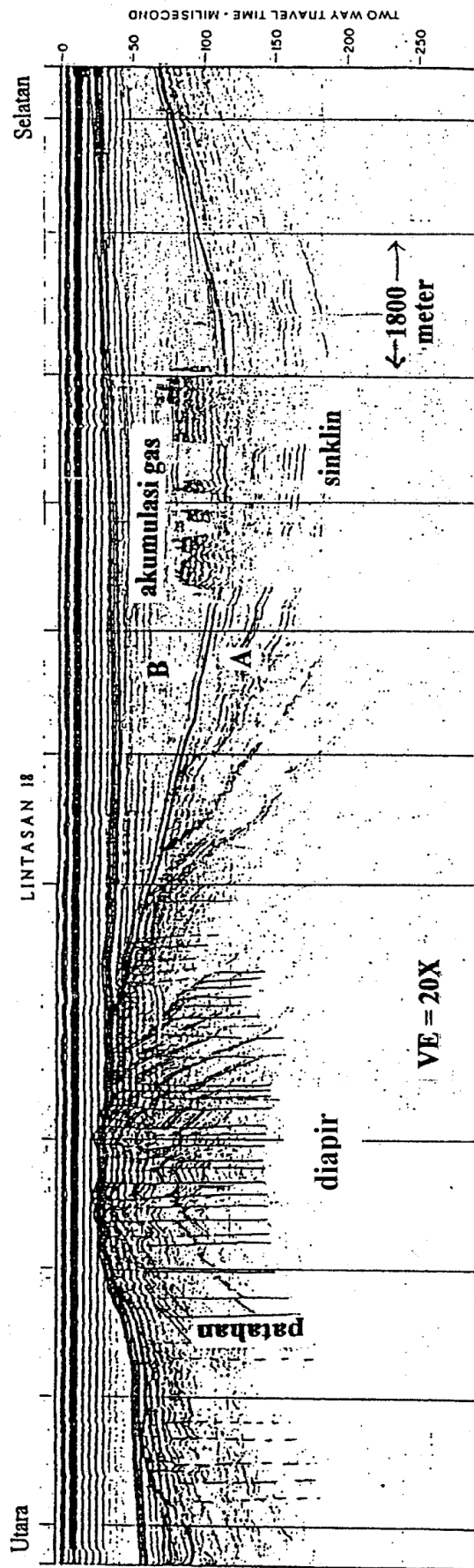
Metode penelitian yang digunakan adalah seismik pantul dangkal saluran tunggal dengan sumber energi suara Boomer sebesar 300 Joule. Perekaman data seismik dilakukan dengan menggunakan perekam EPC 3200 S dengan sapuan perekaman setiap $\frac{1}{4}$ detik dan picu ledakan diatur setiap 1 detik. Sinyal seismik yang diterima oleh hidropn di filter dengan *lowpass filter* dan *highpass filter* pada frekuensi 300 -2500 Hz dengan menggunakan *Khron hite filter*. Sistem penentuan posisi kapal menggunakan GPS Garmin 75 yang difix setiap 2 menit.

HASIL PENELITIAN

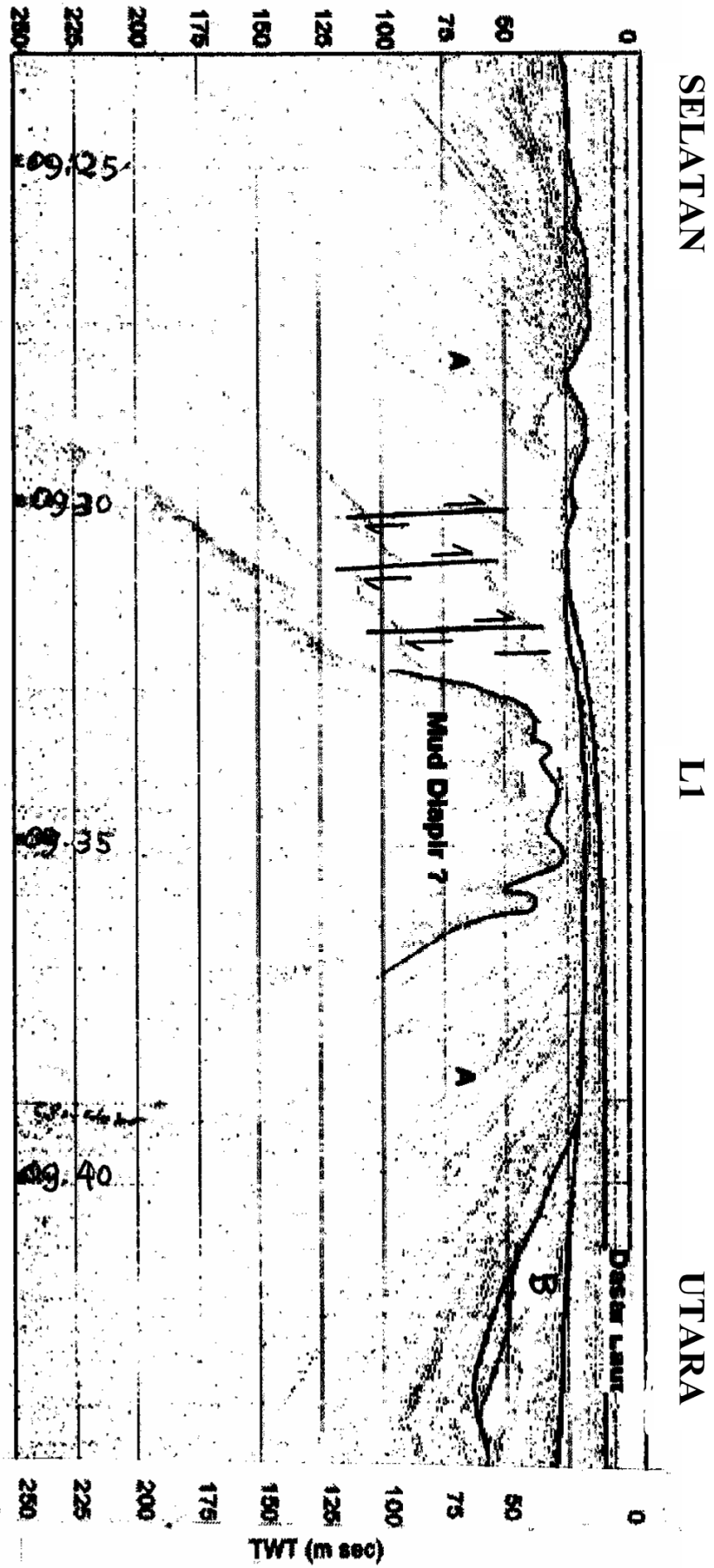
Dari rekaman seismik pantul dangkal yang dikumpulkan telah dipilih penampang seismik yang menunjukkan keberadaan diapir di Selat Madura dari mulai perairan Sampang, Bluto, dan Sumenep. Penampang seismik dari perairan Sampang, Bluto, dan Sumenep secara berurutan ditampilkan pada Gambar 2, 3, dan 4 di tempat mana lintasannya dapat dilihat pada peta lokasi (Gambar 1). Tiga penampang seismik pantul dangkal tersebut dianggap dapat mewakili untuk membahas karakteristik diapir di daerah penelitian. Disamping itu akan sedikit dibahas tentang kondisi geologi atau struktur geologi yang terdapat di bawah permukaan dasar laut dari penampang rekaman seismik yang ditampilkan. Hal ini dilakukan karena



Gambar 2. Penafsiran rekaman seismik di lintasan L11 perairan Sampang (Arifin, 2000)



Gambar 3. Penafsiran rekaman seismik di lintasan L18 perairan Pamekasan (Arifin, 2000)



Gambar 4. Penafsiran rekaman seismik di lintasan L1 perairan Kaliangget

keberadaan diapir berkaitan dengan adanya struktur-geologi seperti perlipatan dan sesar.

Penafsiran Seismik

Penafsiran data seismik pantul untuk memisahkan runtunan dilakukan dengan cara memperhatikan batas dan konfigurasi pantulan berdasarkan kaidah seismik stratigrafi menurut klasifikasi Sangree & Wiedmier (1979) dan Sheriff (1986). Penafsiran diapir dan struktur geologi bawah permukaan dasar laut dapat diketahui langsung dari kenampakan gambaran penampang seismik. Struktur sesar yang terdapat pada penampang seismik dapat dikenali dengan cara memperhatikan adanya pergeseran tegak lapisan dan ditandai dengan adanya kerusakan lapisan (Quillin dr.,1979).

Berdasarkan kaidah tersebut di atas maka runtunan seismik dapat di bagi menjadi runtunan A dan B yang dibatasi oleh bidang *erosional truncation* (pepat erosi). Runtunan A diperkirakan berumur Pra-Kuarter, dicirikan oleh beberapa siklus sedimen dengan karakteristik berupa perulangan bidang reflektor yang tidak menerus, kontinuitas baik, dan frekuensi sedang. Runtunan A ditandai dengan adanya aktivitas struktur geologi, di tempat mana runtunannya rusak dan tidak beraturan yang disebabkan oleh adanya pelipatan, pensesaran, dan adanya terobosan diapir. Runtunan B diperkirakan berumur Kuarter hingga Resen. Umumnya runtunan ini tidak dipengaruhi oleh adanya aktivitas struktur geologi seperti pengangkatan dan pelipatan di tempat mana runtunannya masih terlihat utuh dan tidak rusak.

Rekaman seismik lintasan L11 (Gb.2) memperlihatkan adanya kemiringan runtunan A di bagian utaranya dan bila ditelusuri merupakan penerusan dari daratan Pulau Madura tepatnya daerah antara Sampang dan Pamekasan. Beberapa kenampakan struktur geologi berupa sesar-sesar, antiklin, diapir, dan akumulasi gas dapat dengan jelas diidentifikasi pada lintasan ini. Bentuk diapir pada lintasan ini terlihat agak lebih mengkerucut. Lebar dasar dari dipir tersebut sekitar 4 kilometer dan tingginya sekitar 60 milidetik (skala waktu). Bila diamati terlihat bahwa diapir tersebut menerobos bagian dari antiklin di tempat mana puncaknya hampir mendekati permukaan dasar laut. Lapisan tipis dari sedimen Resen menutupi puncak diapir. Di

bagian utara diapir tersebut terdapat akumulasi gas yang mengisi sedimen yang ditandai oleh pantulan berbintik gelap (*opaque*). Gas tersebut terperangkap di bawah runtunan Kuarter dan diduga merupakan rembesan gas yang berasal dari runtunan Tersier. Gas tersebut merembes melalui rekahan-rekahan yang terbentuk karena adanya desakan diapir kepermukaan. Di bagian selatan diapir terlihat adanya sesar-sesar yang tidak begitu jelas tetapi tampak adanya akumulasi gas di sekitarnya.

Rekaman seismik lintasan L18 (Gb.3) memperlihatkan adanya struktur geologi berupa pelipatan dan pengangkatan. Struktur geologi yang dapat diamati di lintasan ini adalah sesar, diapir, dan akumulasi gas dalam sedimen. Lintasan seismik ini terletak antara Pamekasan dan Bluto. Karakter diapir di lintasan ini agak berbeda dengan diapir di lintasan 11. Lebar dasar diapir pada lokasi ini sekitar 12,6 km dengan ketinggian sekitar 50 mlidetik (skala waktu). Puncak diapir di lintasan ini muncul hingga kepermukaan dasar laut. Terlihat bahwa puncaknya ter-erosi, dan diduga erosi ini berkaitan dengan turunnya muka laut. Di bagian diapir diinterpretasikan banyak terdapat sesar-sesar dan tidak terlihat adanya akumulasi gas. Diapir di tempat ini menerobos bagian dari antiklin, sama halnya dengan yang di lintasan 11. Di bagian selatan diapir terdapat akumulasi gas yang tertahan pada runtunan Kuarter. Gas tersebut merembes dari runtunan Tersier dan terperangkap di bawah runtunan Kuarter.

Rekaman seismik di lintasan L1 yang terletak di perairan Kalianget agak berbeda dengan kenampakan penampang kedua rekaman seismik di lintasan L18 dan L11. Struktur geologi yang terdapat pada lintasan ini adalah sesar dan diapir. Bentuk diapir di lokasi ini tidak begitu nampak jelas. Terlihat bahwa diapir ini menerobos ke atas bukan di antiklin tetapi di bagian runtunan yang lemah. Terlihat kemiringan runtunan Tersier yang terangkat dibagian utara dan selatan diapir. Diperkirakan desakan diapir menerobos runtunan di atasnya agak lemah. Hal ini ditunjukkan oleh sedikitnya sesar-sesar yang berkembang di sekitar diapir. Tinggi diapir pada lintasan ini sekitar 100 milidetik (skala waktu) dengan lebar dasarnya sekitar 2 kilometer. Puncak diapir agak jauh dari permukaan dasar laut dan ditutupi oleh sedimen yang berumur Kuarter. Di sekitar diapir tidak

terlihat adanya akumulasi gas yang mengisi sedimen. Permukaan sedimen Tersier yang tererosi diduga ada kaitannya dengan penurunan permukaan air laut atau adanya pengaruh arus laut yang cukup kuat di lokasi ini.

PEMBAHASAN

Dari seluruh rekaman seismik yang diinterpretasi maka dapat dilihat sebaran diapir di daerah penelitian seperti pada Gambar 5. Keberadaan diapir tersebut diplot pada peta struktur geologi bawah permukaan dasar laut (Arifin, 2000), dan dihasilkan peta hasil modifikasi yang memperlihatkan sebaran diapir. Dapat dilihat dari peta bahwa diapir ditemukan lebih banyak di perairan Sampang. Di perairan Pamekasan dan Kalianget, tidak banyak ditemukan diapir. Pada Tabel 1 dapat dilihat gambaran atau karakter diapir di daerah penelitian.

Di sekitar diapir tersebut umumnya terdapat banyak rembesan-rembesan gas yang tersebar cukup luas di daerah penelitian. Gas tersebut diduga berupa gas metan yang berumur Pleistosen (Faturachman dan Marina, 2007). Pada peta Gambar 5 dapat dilihat bahwa umumnya sumbu pelipatan berarah barat-timur. Kondisi ini menunjukkan bahwa daerah penelitian adalah merupakan terusan jalur antiklinorium Rembang yang menerus ke perairan selat Madura. Satyana (2008) menyatakan bahwa kemunculan diapir pada Zone Bogor-Utara Serayu-Kendeng-Selat Madura disebabkan oleh tiga prakondisi geologi utama yaitu; 1) proses sedimentasi cepat, 2) posisi yang frontal dengan zona subduksi di selatan Pulau Jawa, dan 3) kehadiran sesar-sesar aktif. Kondisi geologi seperti ini menyebabkan *mud diapir/mud volcano* muncul banyak di Zone ini. Oleh karena itu kenampakan diapir dari

rekaman seismik, yang ditemukan di bawah dasar laut daerah penelitian adalah *mud diapir*. Disamping itu munculnya *mud diapir* di daerah penelitian ditunjang oleh faktor lain yaitu; adanya lapisan plastis seperti lempung (terdapat pada runtunan A), suplai gas dan potensi hidrokarbon yang tinggi (terdapat kilang migas di sekitarnya), *buoyancy* dan perbedaan tekanan yang tinggi, dan tatanan kompresi (subduksi di selatan Jawa). Faktor-faktor tersebut di atas menguatkan bahwa kenampakan diapir pada rekaman seismik pantul dangkal adalah *mud diapir* atau diapir lumpur seperti halnya yang terdapat pada lajur Kendeng-Rembang. *Mud diapir* yang lebih terkenal lagi yaitu yang terdapat di Sidoarjo yang disebut sebagai Lusi (Lumpur Sidoarjo), yang lumpurnya keluar dari lubang pemboran.

Proses pelipatan dan diapirisme yang terus berlangsung sampai sekarang memungkinkan muncul ke permukaan laut dan menjadi pulau kecil seperti pulau-pulau kecil lainnya yang terdapat di daerah penelitian.

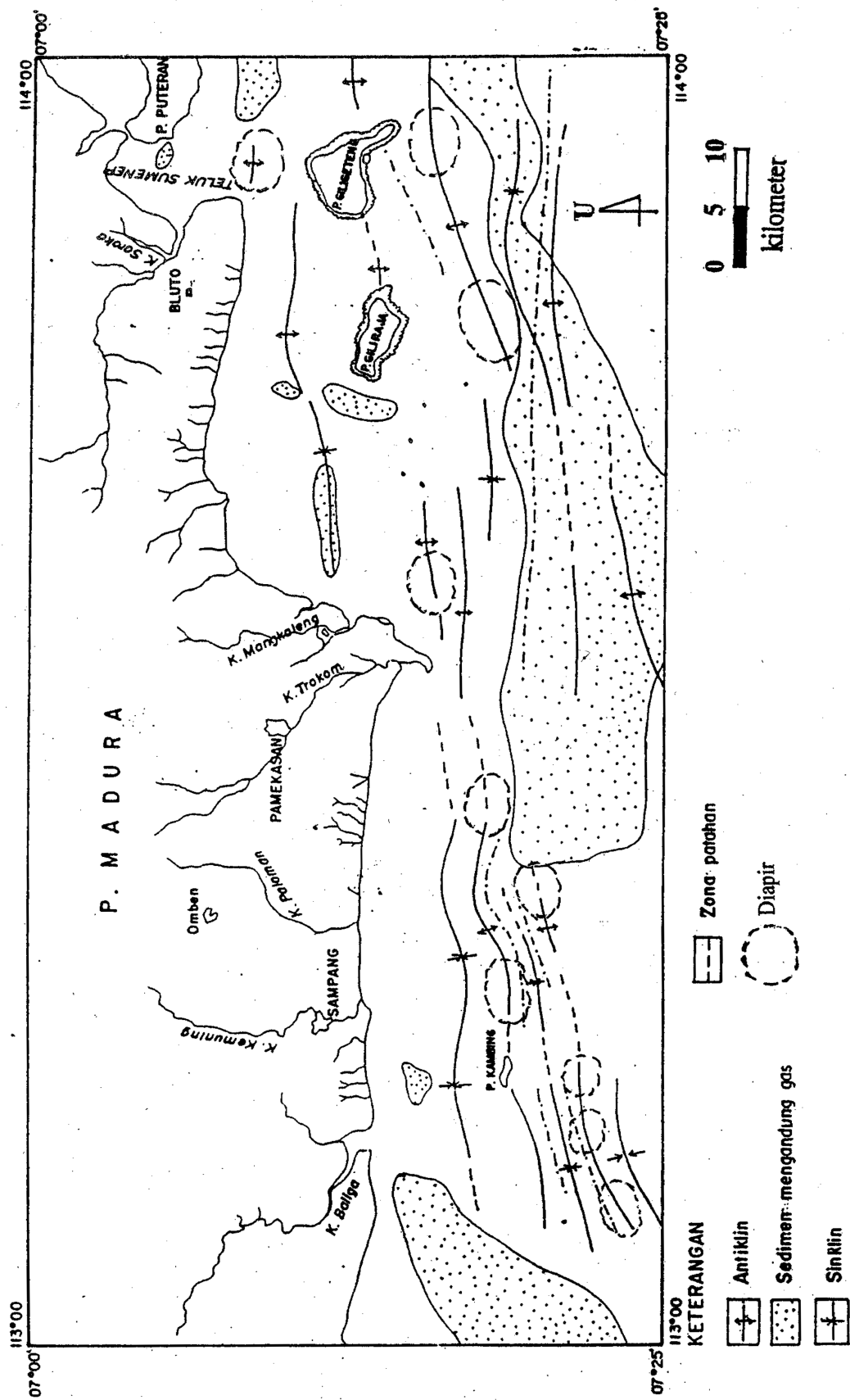
Adanya *mud diapir* pada daerah penelitian (sebarannya dapat dilihat di peta), perlu diwaspadai untuk mengantisipasi terjadinya bencana geologi. Tidak hanya *mud diapir* saja, tetapi munculnya sesar-sesar yang diduga sebagai sesar aktif dan keberadaan akumulasi gas menjadikan daerah penelitian termasuk katagori yang mempunyai resiko bencana geologi. Oleh karena itu untuk keperluan keteknikan seperti pembangunan di lepas pantai seperti anjungan, rig tempat pemboran di laut, kondisi tersebut perlu diwaspadai.

KESIMPULAN

Keberadaan diapir dari penampang rekaman seismik pantul dangkal resolusi tinggi dengan mudah dapat dikenali. Diapir tersebut

Tabel 1. Karakter diapir di daerah penelitian

No	Lokasi	Perkiraan tinggi (meter)	Perkiraan lebar alas (kilometer)	Jarak dari dasar laut (meter)	Tempat menerobos
1	Sampang	120	4	20	antiklin
2	Pamekasan	100	12,6	dipermukaan	antiklin
3	Kalianget	200	2	30	antiklin



Gambar 5. Peta struktur geologi dan diapir di bawah permukaan dasar laut daerah penelitian (Modifikasi dari Arifin, 2000)

merupakan diapir lumpur yang menerobos runtunan di atasnya. Umumnya diapir lumpur tersebut menerobos bagian antiklin dan mengakibatkan munculnya sesar-sesar. Melalui celah atau rekahan pada sesar-sesar tersebut maka gas yang terdapat di lapisan bawah merembes ke atas dan terperangkap di bawah runtunan yang berumur Kuartar. Akumulasi gas yang terperangkap tersebut diduga merupakan gas metan yang berumur Pleistosen. Patahan yang terdapat di daerah penelitian umumnya patahan normal dan sebagian besar diduga merupakan patahan aktif atau tumbuh. Proses pelipatan dan diaperisme diduga berlangsung sampai sekarang dan kemungkinan akan muncul ke permukaan laut menjadi pulau kecil seperti pulau-pulau kecil lainnya yang terdapat di daerah penelitian. Adanya struktur geologi seperti patahan, diapir lumpur, dan akumulasi gas dangkal di daerah penelitian merupakan indikasi adanya faktor bahaya bencana geologi. Oleh karena itu untuk keperluan keteknikan seperti membangun anjungan dan rig pemboran, kondisi bencana bahaya geologi perlu diwaspadai.

ACUAN

- Arifin, L., 1993, Shallow Seismic Reflection in Sampang-Pamekasan Waters, Madura Island, East Jawa, *Bulletin of Marine Geological Institute of Indonesia*, Vol. 8, Nr.4.
- Arifin, L., 2000, Struktur Patahan, Lipatan dan Akumulasi Gas di Perairan Sampang-Bluto dan sekitarnya, Madura, Jawa Timur, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, Vol.X, No.103.
- Arifin, L., Dida Kusnida, Kusnadi, Juniar, 2006, *Seismik Pantul Dangkal di Perairan Sumenep Kalianget Madura*, Laporan Intern. Tidak dipublikasi.
- Bemmelen, R.W., van, 1949, *The Geology of Indonesia*, vol. 1. The Hague, Martinus Nijhoff.
- Faturachman, A., L. Arifin, D. Kusnida, J.P. Hutagaol, Kusnadi, 2006, *Laporan Penyelidikan dan Pengembangan Potensi Gas Dangkal Perairan Sumenep, Madura*. Laporan Intern Puslitbang Geologi Kelautan, Tidak dipublikasi.
- Faturachman, A. dan S. Marina, 2007, Jalur Migrasi dan Akumulasi Gas Biogenik Berdasarkan Profil Seismik Pantul Dangkal dan Korelasi Bor BH-2 di Perairan Sumenep, Jawa Timur, *Jurnal Geologi Kelautan*, Vol.5, No.3.
- Masduki, R.Zuraida, D. Kusnida dan L. Arifin, 1996, *Laporan Geologi Wilayah Pantai Perairan Bluto-Pamekasan dan sekitarnya, Madura, PPGL*. Tidak dipublikasi.
- Quillin, R. Mc., Bacon, M., Barclay, W., 1979, *An Introduction to Seismic Interpretation*, Graham & Trotman Limited, London, 84p.
- Rahardiawan, R., Rina Zuraida, Masduki, Nasrun, Masagus Ahmad, *Penelitian Gas Biogenik di Perairan Pamekasan Madura*, 2004, Laporan Intern Puslitbang Geologi Kelautan Bandung, Tidak dipublikasi.
- Sangree, J.B. and J.M. Wiedmier, 1979, Interpretation Facies From Seismic Data: *Geophysics* 44, No.2, 131p.
- Satyana, A.H., 2008, <http://annelis.wordpress.com/2008/11/23/debat-makalah-tentang-lusi-seri-4/>
- Sheriff, R.E., 1980, *Seismic Stratigraphy: International Human Resources Development Corporation*, Boston, 222p.
- Situmorang, R.L., Agustianto, D.A. dan Suparman, M., 1992, *Geologi lembar Waru-Sumenep*, Skala 1:100.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.
- Usna, I., 1997, *Kamus Istilah Geologi Kelautan*, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan Bandung, Tidak dipublikasi.