

## PEMATANG PANTAI PURBA SEBAGAI PERANGKAP GAS BIOGENIK DI PESISIR INDRAMAYU PROVINSI JAWA BARAT SUATU KAJIAN PENDAHULUAN

H. Kurnio dan T. Naibaho

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan  
 Jl. Dr. Junjuna 236, Bandung 40174  
 E-mail: hkurnio@yahoo.com

### S a r i

Potensi gas biogenik di pesisir Indramayu dikaji melalui pemetaan karakteristik pantai, pemercontohan sedimen lunak menggunakan alat penginti yang didisain khusus serta informasi rembasan-rembasan gas dari penduduk. Kajian pendahuluan ini juga dilakukan dengan menghimpun data-data sekunder dari berbagai sumber dengan tujuan untuk lebih memahami bentuk-bentuk pematang purba tersebut di pesisir Indramayu sekitar muara Sungai Cimanuk yang telah terkubur di bawah permukaan. Hasil kajian mendapatkan bahwa potensi gas alternatif ini terjebak dalam pematang-pematang pantai purba di wilayah pesisir Indramayu. Hasil kajian mendapatkan bahwa pematang-pematang pantai purba di bagian tenggara sistem delta Sungai Cimanuk paralel dengan garis pantai Resen yang berarah barat laut – tenggara berpotensi mengandung gas biogenik. Hal ini berdasarkan pengamatan lapangan, bahwa lokasi rembasan-rembasan gas adalah berada di pematang-pematang tersebut. Kajian juga menampilkan pemanfaatan gas biogenik oleh penduduk di selatan Indramayu.

Kata kunci: pematang pantai purba, perangkap gas biogenik, pesisir Indramayu

### Abstract

*Biogenic gas potency in Indramayu coastal area had been studied by coastal characteristic mapping, soft sediment sampling using specially designed gravity corer and information of gas seeps from local people. The preliminary study was carried out through gatherings of secondary data from many sources which meant to better understand the forms of paleo-dunes in coastal zone of Indramayu surround Cimanuk River deltaic system that already buried subsurface. The study found out that this alternative gas potency is trapped within paleo-beach sand in Indramayu coastal zone. The study also found that the buried beach sand at southeast of Cimanuk River delta's system parallel to northwest-southeast orientation of recent coastline is bearing biogenic gas potency. Based on field observation, the locations of gas seeps take place on the beach sand mentioned. The study also performed utilization of biogenic gas by community south of Indramayu.*

*Key words: paleo-coastal dune, biogenic gas trap, Indramayu coastal zone.*

### PENDAHULUAN

Kajian penelitian pendahuluan pematang pantai purba sebagai perangkap gas biogenik di pesisir Indramayu dilatarbelakangi oleh semakin mahal dan langkanya bahan bakar minyak dan gas bumi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mencari energi alternatif pengganti bahan bakar tersebut, terutama untuk daerah-daerah 'remote' atau terpencil yang jauh dari akses BBM dan listrik. Daerah-daerah terpencil yang memiliki potensi gas biogenik di sekitar pemukiman penduduk menjadi target penelitian ini. Penyelidikan geologi dan geofisika kelautan di wilayah pesisir dan perairan dangkal Laut Jawa dan Madura, menunjukkan adanya indikasi

gas rawa atau biogenik yang terperangkap dalam sedimen pematang pantai Holosen (Lubis, 2006). Sebagai salah satu sumber daya energi alternatif, gas biogenik mempunyai keunggulan yaitu murah dan ramah lingkungan.

Keberadaan gas biogenik pada jebakan pematang pantai purba ini merupakan kajian awal, masih diperlukan kajian lebih rinci tentang cara terjebakanya gas dalam sedimen; bagaimana hubungannya dengan air tanah; apakah gas terdapat dalam air tanah tertekan atau tidak; bagaimana asosiasinya dengan air tanah tersebut apakah gas bersifat menjenuhi air atau sudah berupa gas bebas yang lepas sebagai gelembung dalam kolom air; seberapa besar dimensi pematang baik lateral maupun vertikal

diketahui serta berapa persen gas mengisi ruang dalam pematang ini sehingga potensi gas betul-betul dapat diketahui. Kemudian sudah berapa lama fenomena 'exsolusi gas' tersebut berlangsung, semenjak turunnya muka laut pada sekitar pertengahan Holosen; apa pengaruhnya terhadap potensi gas di pesisir Indramayu; bagaimana efek pembangunan sarana di atas pematang terhadap potensi gas; apakah gas yang tersisa di dalam bumi masih layak untuk dimanfaatkan untuk penduduk sekitar keberadaan gas tersebut.

Pesisir Indramayu dipilih sebagai daerah penelitian, karena berdasarkan informasi yang dikumpulkan dari media cetak maupun elektronik, memperlihatkan terjadinya semburan-semburan gas di daerah penelitian. Pada beberapa lokasi di Indramayu, penduduk secara setempat-setempat telah memanfaatkan gas ini, yang lebih dikenal sebagai gas rawa. Secara geografi daerah penelitian terletak pada koordinat  $108^{\circ}00'00''$  -  $108^{\circ}30'00''$  BT dan  $06^{\circ}00'00''$  -  $06^{\circ}30'00''$  LS (Gambar 1).

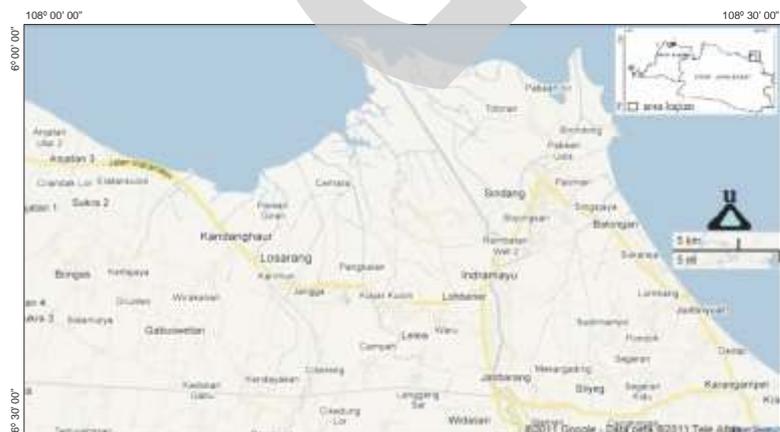
Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana gas biogenik ini terjebak, pada endapan pematang pantai purba. Pemahaman bentuk jebakan ini akan sangat berguna untuk menetapkan seberapa besar potensinya, agar dapat dimanfaatkan langsung oleh masyarakat setempat. Sebetulnya secara tidak sengaja penduduk telah memanfaatkan gas biogenik ini bagi keperluan hidup sehari-hari. Hasil tinjauan kami ke lapangan, penduduk di selatan Indramayu, dari hasil pemboran untuk air; mendapatkan juga gas yang keluar bersamaan dengan air. Gas tersebut yang diduga berasal dari rawa dan berasosiasi dengan sistem sungai purba bawah permukaan Sungai Cimanuk, langsung dimanfaatkan untuk memasak setelah dipanisasi ke dapur mereka (Gambar 2). Pada kunjungan di medio 2008 tersebut, kompor gas LPG yang telah dimodifikasi untuk tekanan rendah; telah disumbangkan kepada penduduk setempat. Aktivitas ini intinya mendorong penduduk untuk memanfaatkan sumber energi yang berada di sekitar tempat tinggalnya. Puslitbang Geologi Kelautan dalam hal

ini membantu dalam hal pengadaan alat-alat utilitas seperti kompor dan generator gas.

Metodologi penelitian ini terdiri atas : penelitian lapangan berupa pemetaan karakteristik pantai, serta uji laboratorium dan kajian pustaka yang dilakukan di laboratorium Puslitbang Geologi Kelautan – Cirebon dan kantor Bandung. Pemetaan karakteristik pantai adalah pemetaan di wilayah pesisir dengan parameter-parameter yang didata berupa morfologi, litologi dan karakter atau fenomena-fenomena yang dijumpai di garis pantai. Pemetaan karakteristik pantai ini diarahkan untuk mendukung kajian pematang pantai purba sebagai perangkat gas biogenik. Sedangkan uji laboratorium yang digunakan adalah 'gas chromatography' untuk mengetahui komposisi gas biogenik. Kajian pustaka dimaksudkan untuk menghimpun data dan informasi sekunder yang mendukung penelitian.

## Perangkap dan Pembentukan Gas Biogenik

Menurut Subroto dr. (2007), gas biogenik dapat terperangkap apabila pembentukan jebakan terjadi sedini mungkin, karena gas ini hanya dapat terakumulasi jika bermigrasi sebagai suatu fase gas bebas. Keadaan gas bebas terjadi jika pembentukan gas biogenik melampaui kelarutan gas dalam cairan pori atau jika terjadi pelepasan gas (*gas exsolution*) dari air pori yang ditimbulkan oleh berkurangnya tekanan hidrostatik. Berkurangnya tekanan ini dapat terjadi akibat dari penurunan muka laut atau aktivitas tektonik berupa pengangkatan dan erosi.



Gambar 1. Daerah penelitian di Indramayu (peta dasar dari earthgoogle terrain)

Pembentukan perangkap gas biogenik sangat tergantung pada proses sedimentasi yang berlangsung dengan cepat, karena sedimentasi cepat dapat mengurangi pengaruh oksigen terhadap paparan sedimen yang mengandung gas. Persyaratan perangkap lain adalah melimpahnya unsur organik karbon. Menurut Rice dan Claypool (1981), jumlah minimum unsur organik sekitar 0,5% TOC (*total organic carbon*) yang diperlukan untuk bakteri metanogenik menghasilkan metan dalam sedimen laut.

Menurut Shurr dan Ridgley (2002), gas biogenik dangkal non-konvensional dapat dikelompokkan ke dalam dua sistem yang berbeda, yaitu : system pembentukan – awal dan system pembentukan – akhir.

Sistem pembentukan-awal memiliki geometri seperti selimut (*blanketlike geometries*), dan proses pembentukan gas dimulai segera setelah pengendapan batuan reservoir dan sumber (*source rock*). Sistem pembentukan-akhir memiliki geometri seperti cincin (*ringlike geometries*), dan dalam interval waktu yang lama antara pengendapan batuan reservoir dan sumber dengan proses pembentukan gas. Kedua tipe sistem tersebut, kandungan gasnya didominasi oleh gas metan dan berasosiasi dengan batuan sumber yang tidak matang secara termal. Berdasarkan data geokimia, air yang menyertai gas adalah tawar dan relatif muda.

Sejarah perkembangan pemanfaatan kedua tipe sistem gas biogenik tersebut memiliki kesamaan. Pada awalnya, sedikit teknologi digunakan, dan gas dikonsumsi secara lokal; kadang-kadang, titik-titik kaya gas dieksploitasi, pemakaian reservoir non-konvensional meluas, dan transport gas berlangsung antar daerah atau internasional.

Teknologi pemboran dan eksploitasi berbeda untuk kedua tipe sistem. Sistem pembentukan-awal memiliki batuan reservoir sensitif-air, sehingga air dihindari atau diminimalisasi pada waktu pemboran dan eksploitasi. Sebaliknya, air merupakan penyusun utama sistem pembentukan – akhir; produksi gas sangat erat terkait dengan sistem pengeluaran air (*dewatering*). Walaupun kedua sistem menunjukkan akumulasi gas yang menerus, akan tetapi kerangka geologi merupakan kendala produksi ekonomis. Gas biogenik dangkal diketahui merupakan sumber daya yang penting untuk memenuhi kebutuhan gas yang meningkat baik domestik maupun internasional.



Gambar 2. Tinjauan lapangan di selatan Indramayu pada rumah penduduk yang telah memanfaatkan gas biogenik untuk keperluan sehari-hari mereka. Pipedisasi gas secara sederhana telah dilakukan oleh penduduk dengan menggunakan pipa besi di ujung aliran gas untuk memasak (gambar kiri atas dan atas tengah), setelah dialirkan menggunakan pipa PVC (gambar kanan atas). Sedangkan gambar bawah adalah konversi pipa PVC dengan selang gas yang disambungkan dengan kompor LPG tekanan rendah; serta penyerahan kompor tersebut kepada pemilik rumah.

### Proses Pembentukan Pematang Pantai

Gas biogenik diketahui terjebak dalam reservoir pematang pantai purba. Pematang pantai purba di pesisir Indramayu merupakan hasil perkembangan delta Sungai Cimanuk yang sangat dinamis. Perkembangan delta ini juga sangat tergantung dari muatan sedimen di daerah hulu Cimanuk. Data sekunder yang berhasil dihimpun ([www.unu.edu](http://www.unu.edu)), daerah hulu Sungai Cimanuk memiliki daerah resapan yang luas yaitu 9.650,2 km<sup>2</sup> – terluas di pantai utara Jawa Barat. Panjang sungainya adalah 182 km. Dengan kondisi yang demikian perkembangan delta dapat mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Kondisi geologi daerah resapan yang disusun terutama oleh batuan vulkanik berumur Kuartar yang belum mengalami konsolidasi sempurna, ditambah dengan aktivitas penduduk di daerah hulu; mengakibatkan muatan sedimen Sungai Cimanuk menjadi sangat tinggi.

Perkembangan pematang pantai purba, tidak terlepas dari perkembangan garis pantai di daerah Indramayu. Pematang pantai purba tersebut merupakan pematang-pematang pasir Holosen yang terkubur di bawah permukaan. Sistem sedimentasi di muara delta Cimanuk, secara alami memisahkan sedimen-sedimen fraksi halus lempung dan lanau yang diendapkan di lingkungan energi marin rendah seperti di lepas pantai dan belakang pematang pantai; sedangkan sedimen fraksi kasar pasir – yang sesungguhnya merupakan 'bed load' atau muatan dasar sungai, diendapkan pada lingkungan

pengendapan energi marin tinggi seperti di pematang-pematang pantai sekarang yang membentuk pematang pantai berpasir.

### Hasil Penelitian

Hasil pemetaan karakteristik pantai menunjukkan bahwa pasir pematang pantai sekarang (Resen) ini terdapat sepanjang garis pantai, serta diselingi oleh vegetasi bakau. Hasil kajian juga mendapatkan bahwa keberadaan hutan bakau ini penting untuk mempertahankan zonasi metan dalam sedimen di bawahnya (Krithika dr., 2008). Kombinasi vegetasi bakau dan pematang pantai yang telah tertutupi oleh sedimen semi-impermeabel merupakan potensi gas biogenik bawah permukaan. Bukti-bukti lapangan telah mendapatkan rembesan-rembesan gas pada beberapa lokasi.

Selain itu, terlihat bahwa garis pantai pesisir Indramayu adalah berupa pasir pematang pantai (beach sand) yang diselingi oleh hutan bakau, dengan lebar pematang berkisar antara 5 hingga sekitar 20 meter, bersudut kemiringan 5° sampai 10°. Pematang pantai tersebut disusun oleh pasir pantai berwarna kelabu hingga kehitaman, ukuran halus hingga kasar, pemilahan sedang, urai, banyak mengandung mineral hematit dan magnetit, terdapat juga pecahan cangkang moluska. Untuk mengetahui pengaruh penurunan muka laut terhadap fenomena pelepasan gas (*gas exsolution*), dibuat area inundasi atau pengaruh genangan air laut ketika muka laut naik sekitar + 5 m dari muka laut Resen. Perkiraan area inundasi dibuat pada peta topografi dan citra dari earthgoogle (Gambar 3 dan Gambar 4). Data ketinggian diperoleh dari data elevasi citra tersebut. Menurut Voris (2000), muka laut naik secara global sekitar 4.200 tahun lalu hingga posisi +5 m dari muka laut Resen, setelah itu turun hingga kondisi sekarang. Posisi area inundasi ini berkisar dari sekitar 2 km hingga 20 km dari pantai sekarang. Penurunan muka laut tersebut diduga memicu terjadinya fenomena 'gas exsolution' dari perangkap gas biogenik akibat berkurangnya tekanan hidrostatik dari air tanah. Dengan terjadinya fenomena ini, gas biogenik dari pori antar butir sedimen banyak terlepas ke perangkap-perangkap reservoir pasir dan atmosfer sebagai gas bebas. Sebaran pematang pantai purba pada area inundasi

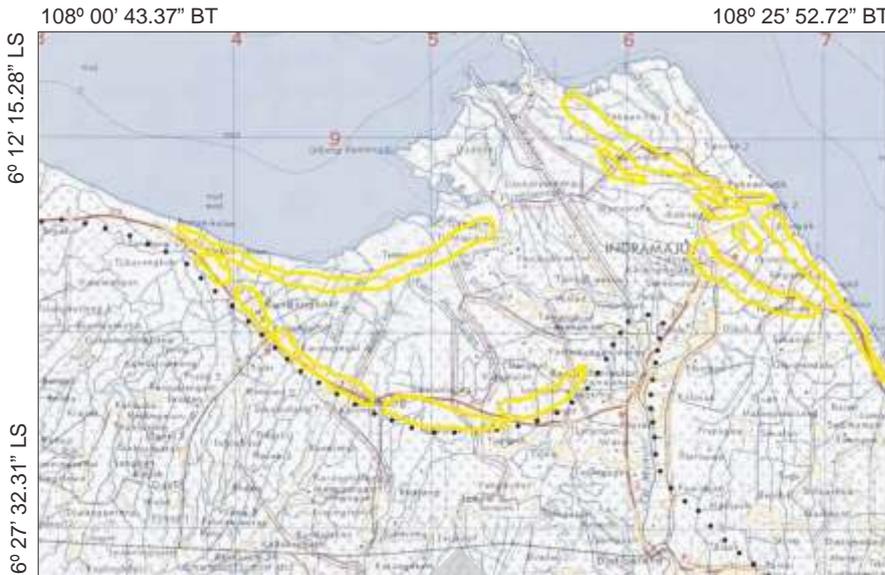
tersebut (Gambar 4), menguatkan dugaan bahwa fenomena pelepasan gas terjadi di pesisir Indramayu ini. Fenomena ini diperkirakan terjadi mulai dari sekitar pertengahan Holosen hingga Resen, ketika muka laut turun yang menyebabkan tekanan hidrostatik juga berkurang.

Pematang pantai purba (Gambar 4) dilokalisasi berdasarkan data sekunder dari peta geologi Indramayu yang dihimpun dari Pusat Survei Geologi (Achdan dan Sudana, 1992) dan data rembesan gas yang dijumpai pada waktu pelaksanaan penelitian di lapangan (Kurnio dan Naibaho, 2009).

Pematang pantai purba ini lebih berkembang di bagian timur dan barat (Gambar 4) daerah penelitian dikarenakan daerah-daerah tersebut energi marin lebih dominan (Ilahude dan Usman, 2009). Perkembangan pematang pantai yang terdiri dari fraksi kasar pasir memerlukan lingkungan pengendapan energi tinggi, di samping proses sedimentasi yang cepat untuk menjebak gas biogenik yang terbentuk.

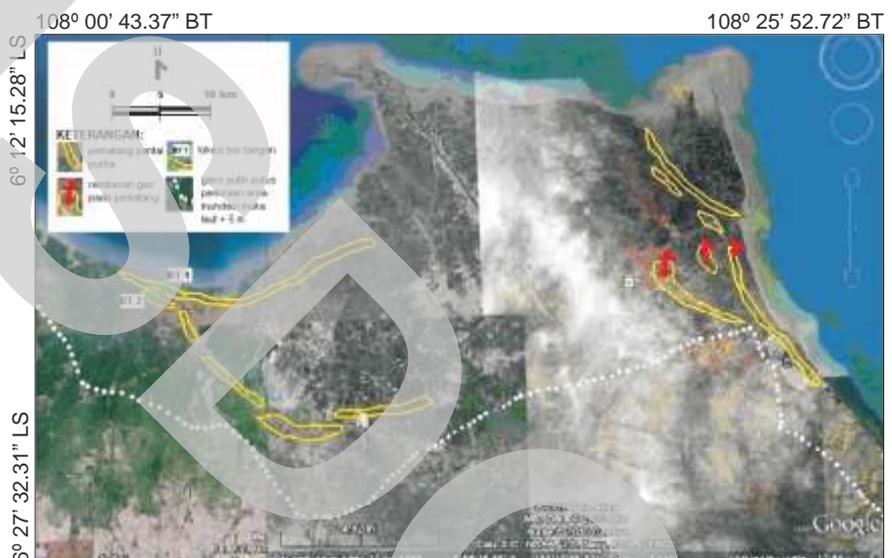
Data pembaratan pada pematang pantai di bagian barat daerah penelitian, yang dihimpun dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi – P3G (Rimbaman dr., 2002); mendapatkan pematang pantai ini terdiri dari pasir dengan lapisan tipis lanauan, bagian atas terpilah baik, banyak mengandung cangkang kerang. Pada pembaratan BT 1, pematang tersingkap di permukaan (Gambar 5, kiri); sedangkan pada BT 2, pematang pantai berada pada bawah permukaan, yaitu di bawah endapan dataran banjir (Gambar 5, kanan). Endapan pematang pantai tanpa sedimen penutup seperti tampak pada data bor BT 1, tidak berpotensi untuk terjebak gas biogenik.

Pematang pantai purba tersebut pada saat ini banyak dipakai untuk pemukiman dan sarana jalan. Jalur jalan raya pantai utara Jawa adalah melalui pematang-pematang ini. Hal ini dikarenakan sebagai lahan untuk perumahan dan jalan, kondisinya lebih solid, sehingga mampu menahan beban bangunan. Ketersediaan air tawar juga lebih bagus, karena pasir pada pematang pantai dapat berlaku sebagai reservoir air yang bagus, dengan sifat-sifat fisik pemilahan bagus, bersifat urai, sedikit dijumpai material fraksi halus lanau dan lempung.



Gambar 3. Delineasi pantai purba dari peta topografi pada saat muka laut naik + 5 m dari muka laut sekarang (Peta dasar topografi AMS skala 1:250.000) (Voris, 2000). Delineasi warna kuning merupakan sebaran pematang pantai purba.

Gambar 4. Sebaran pematang pantai purba hasil kompilasi dari peta geologi Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Achdan dan Sudana, 1992) dan data lapangan. Tampak lokasi rembesan-rembesan gas pada pematang di bagian tenggara daerah penyelidikan. Batas garis putih putus-putus adalah perkiraan area inundasi ketika muka laut naik + 5 m dari muka laut Resen, data elevasi ketinggian dari earthgoogle.



Hu dr. (2010) mengklasifikasikan gas biogenik sebagai hidrokarbon ringan karena rantai karbon yang pendek. Aktivitas bakteri merupakan suatu mekanisme penting untuk menghasilkan hidrokarbon ringan. Hidrokarbon ringan C1 – C8 terdapat dalam sedimen modern dan kandungannya bervariasi sesuai dengan karakteristik litologi sedimen berbutir halus pada temperatur rendah (<30°C). Hal ini mengindikasikan bahwa hidrokarbon ringan dihasilkan secara *in situ* oleh aktivitas bakteri. Di bawah gradient temperatur rendah, katalis dari logam transisi, seperti Zr dan Ti, tampaknya sebagai mekanisme utama pembentukan gas biogenik. Gradient temperatur yang paling memungkinkan untuk aktivitas bakteri adalah pada temperatur 35-45°C untuk kematangan kurang dari

0,3%, dan pada temperatur 50-85° untuk kematangan 0,3%-0,6%.

Uji analisis isotop dilakukan pada contoh hasil rembesan gas biogenik. Kandungan isotop  $\delta^{13}C$  terletak antara -90 hingga -45, disebut sebagai gas metan biogenik; jika  $\delta^{13}C$  lebih besar dari -45, maka termasuk gas metan petrogenik yang berasal dari hidrokarbon. Hasil analisis isotop terhadap contoh gas di Indramayu mendapatkan kandungan isotop antara -84‰ hingga -66‰, sehingga ditafsirkan bahwa gas tersebut adalah gas biogenik (Lubis, 2006). Kemudian hasil analisis laboratorium menggunakan GC atau Gas Chromatography di Puslitbang Geologi Kelautan, mendapatkan kandungan metan lebih dari 95%, CO<sub>2</sub> dan

Nitrogen sekitar 2%, serta H<sub>2</sub>S kurang dari 0,1%. Kandungan TOC dari contoh-contoh sedimen yang diambil dari pesisir dan lepas pantai Indramayu, mendapatkan kadar karbon antara 0,5 % hingga 1 %. Menurut Rice dan Claypool (1981), kadar TOC sedemikian cukup untuk bakteri metanogenik menghasilkan metan dari sedimen di laut.

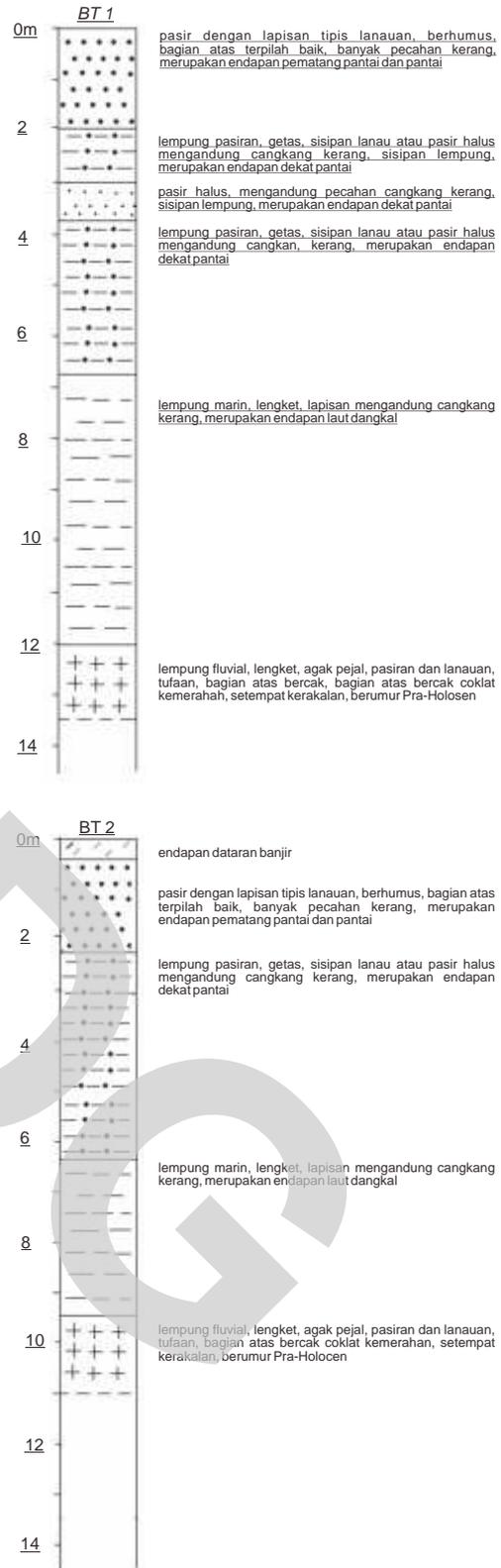
## Diskusi

Kesemua pertanyaan di atas memerlukan jawaban yang hanya bisa diperoleh melalui penelitian lebih rinci. Penelitian rinci ini bisa berupa pemetaan sebaran potensi gas melalui pemboran tangan yang dilakukan secara terkisi (*grid*) yang dikombinasikan dengan 'ground penetrating radar' (GPR). Potensi gas di lapangan dapat diteliti secara langsung dengan menggunakan 'gas chromatography portable'.

Informasi yang berhasil dihimpun; pada beberapa sumur penduduk di daerah penelitian, air yang dipompa keluar bersamaan dengan gas. Oleh karena pada sumur air permukaan, gas tersebut berada pada air tanah tidak tertekan. Sifat yang demikian juga berakibat gas tidak menjenuhi air dan sudah berupa gas bebas yang lepas ke atmosfer berupa gelembung-gelembung udara di permukaan air yang diam. Hasil pengamatan di lapangan, semburan gas banyak dijumpai dalam tambak-tambak ikan dengan permukaan air diam. Kemudian dengan banyak dijumpainya gelembung-gelembung gas (*gas bubblings*) di daerah penelitian, tampaknya fenomena pelepasan gas (*gas exsolution*) akibat berkurangnya tekanan hidrostatis, telah berlangsung lama, semenjak turunnya permukaan air laut pada pertengahan Holosen.

## Kesimpulan

Gas biogenik di pesisir Indramayu terjebak dalam pematang pantai purba. Indikasi gas diperoleh dari hasil pemetaan di bagian tenggara daerah penelitian, dimana terdapat rembesan-rembesan gas yang diduga berasal dari pematang pantai. Potensi gas biogenik belum diketahui karena pematang pantai purba tersebut belum terpetakan dengan baik. Sebaran pematang umumnya merupakan data sekunder yang diperoleh dari Puslitbang Geologi. Karakter gas dalam reservoir juga belum diketahui dengan benar, akan tetapi dengan dijumpainya rembesan-rembesan, gas tampaknya berada dalam fasa bebas.



Gambar 5. Penampang bor tangan, BT 1 pada pematang pantai permukaan, BT 2 pada pematang pantai bawah permukaan (Sumber: Rimbaman dr., 2002). Bor BT 1 tidak berpotensi untuk menjebak gas biogenik, karena tidak terdapat sedimen penutup. Pada data bor ini tidak terjadi rembesan, sehingga potensi reservoir dan sumber gas tidak diketahui.

*Ucapan Terima Kasih*

Penulis mengucapkan terimakasih pada Kepala Puslitbang Geologi Kelautan yang mempercayakan penelitian ini kepada kami; ucapan terimakasih juga ditujukan kepada rekan-rekan di Puslitbang Geologi Kelautan atas diskusinya yang bermanfaat serta

menginspirasi untuk diwujudkan hasilnya dalam karya tulis ini. Ucapan juga disampaikan kepada Dewan Redaksi Jurnal Sumber Daya Geologi atas dimuatnya tulisan kami.

## Acuan

- Achdan, A. dan Sudana, D. 1992, Peta Geologi Lembar Indramayu, Jawa, skala 1:100.000. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*.
- Hu G.Y., Luo X., Li Z.S., Zhang Y., Yang C., Li J., Ni Y.Y. and Tao X.W., 2010, Geochemical characteristics and origin of light hydrocarbons in biogenic gas. *SCIENCE CHINA Earth Sciences June 2010 Vol.53 No.6: 832-843*.
- Ilahude, D. dan Usman, E., 2009, Pendekatan secara empirik terhadap gejala perubahan garis pantai daerah Indramayu dan sekitarnya. *Jurnal Geologi Kelautan*, Vol. 7, No. 2, Agustus 2009, h. 97-108.
- Krithika, K., Purvaja, R. and Ramesh, R., 2008, Fluxes of methane and nitrous oxide from an Indian mangrove, *Current Science*, Vol. 94, No. 2, 25 January 2008, pdf online.
- Kurnio, H. dan Naibaho, T., 2009, Potensi Gas Biogenik di Pesisir Indramayu. *Prosiding Hasil Litbang Geologi Kelautan 2009*, h. 15-21.
- Lubis, S., 2006, Semburan Gas Di Sawah Dan Rawa: Fenomena Geologi Yang Membawa Musibah Atau Berkah ? *Puslitbang Geologi Kelautan Balitbang ESDM*, artikel pdf on-line.
- Rimbaman, Sumanang, A. Dan Siregar, D.A., 2002, Peta Geologi Kuarter Lembar Eretan, Jawa. *Puslitbang Geologi*, terbit.
- Rice, D.D. and Claypool, G.E., 1981, Generation, Accumulation, and Resource Potential of Biogenic Gas. *AAPG Bulletin* Vol. 65, No. 1, pp. 5-25.
- Shurr, G.W. and Ridgley, J.L., 2002, Unconventional shallow biogenic gas systems, *AAPG Bulletin*, Volume 86, Issue 11, pp. 1939 - 1969.
- Subroto, E.A., Afriatno, B.Y. and Sumintadireja, P., 2007. Prediction of the Biogenic Gas Occurrences in Indonesia based on studies in East Java and Tomori (Central Sulawesi). *Journal of JTM* Vol. XIV No.3, pp. 115-124.
- (www.unu.edu)
- Voris, H.K., 2000, Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: shorelines, river systems and time durations. *Journal of Biogeography*, vol.27, pp.1153-1167.