

Penafsiran Struktur Geologi Bawah Permukaan di Kawasan Semburan Lumpur Sidoarjo, Berdasarkan Penampang *Ground Penetrating Radar* (GPR)

K. Budiono¹, Handoko², u. Hernawan¹, dan Godwin¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Jln. Dr. Djundjuna 236, Bandung

²Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo
Jln. Gayung Kebonsari No. 50. Surabaya

Sari

Penelitian *Ground Penetrating Radar* (GPR) dilakukan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo dengan maksud dan tujuan untuk melihat perkembangan struktur geologi dangkal sehubungan dengan semburan kecil yang sering muncul di sekitar semburan utama. *Ground Probing Radar* adalah metode geofisika yang dikembangkan sebagai salah satu alat bantu untuk penelitian geologi bawah permukaan dangkal dan terperinci. Prinsip penggunaan metode GPR ini tidak jauh berbeda dengan metode seismik pantul. Kedalaman penetrasi metode GPR ini sangat bergantung pada sifat kelistrikan geologi bawah permukaan, seperti: konduktivitas listrik dan konstanta dielektrik. Kedua sifat listrik tersebut berkaitan erat dengan sifat fisik tanah atau batuan yang antara lain kadar air dan sifat kegaramannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kedalaman dangkal sering dijumpai struktur geologi berupa perlipatan, patahan, dan rekahan. Berdasarkan hasil tersebut, metode GPR ini sangat bermanfaat untuk membantu menentukan daerah yang berpotensi terjadinya semburan-semburan kecil, sehingga hasilnya dapat dipergunakan untuk membantu perencanaan mitigasi.

Kata kunci: *Ground Probing Radar*, struktur geologi dangkal, Sidoarjo

Abstract

The Ground Penetrating Radar (GPR) survey has been carried out around the Sidoarjo mud eruption. The aim of the survey is to see how far the development of shallow subsurface geological condition related to the eruptions that frequently occur around the main eruption. Ground Probing Radar is one of the geophysical method which is developed as a tool for a relatively shallow and detailed subsurface geological survey. The use of GPR method is not different with the seismic reflection method. The penetration depth of GPR method depends on electric properties of subsurface geological condition such as electric conductivity and dielectric constant. Both of these properties are related to physical properties of soil or rock such as water content and salinity. The result of the survey shows that at a shallow depth the geological structure such as fold, fault, and joint is frequently seen. Based on these results, the GPR method is very useful to decide the indication of potential area of small mud intrusion, so that the result can be used to help the mitigation plan.

Keywords: *Ground Probing Radar, shallow geological structure, Sidoarjo*

Pendahuluan

Latar belakang penelitian GPR adalah mengingat semburan – semburan kecil gas kerap kali terjadi di sekitar semburan utama, sehingga diharapkan hasil pendugaan GPR ini dapat memberikan gambaran

mengenai hubungan semburan gas tersebut dengan kondisi geologi bawah permukaan dangkal.

Maksud dan Tujuan

Pendugaan *Ground Probing Radar* (GPR) dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan

gambaran mengenai keadaan geologi bawah permukaan yang relatif dangkal dalam bentuk penampang yang bersifat menerus.

Daerah penelitian merupakan kawasan di sekitar semburan lumpur Sidoarjo yang secara administratif terletak di Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur, dan secara geografis terletak pada koordinat $112^{\circ} 41' 57.0336''$ - $112^{\circ} 44' 4.3224''$ LS dan $-7^{\circ} 30' 42.5016''$ - $-7^{\circ} 32' 47.1264''$ BT (Gambar 1).

Pekerjaan ini telah dilaksanakan berdasarkan kerja sama penelitian antara Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) dan BALITBANG ESDM.

Geologi Regional

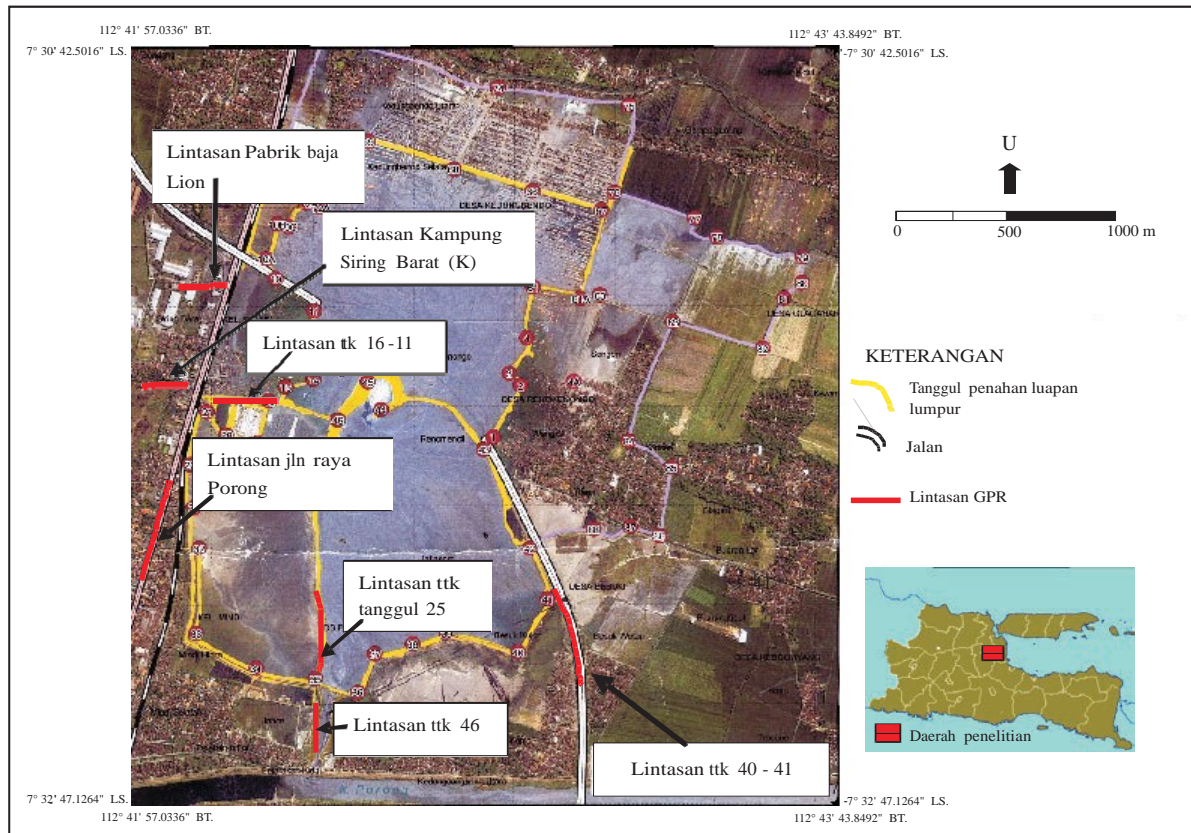
Berdasarkan peta geologi Lembar Malang, Jawa, yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (Santosa dan Suwanti 1992), kondisi morfologi dan geologi daerah penelitian dan sekitarnya adalah sebagai berikut (Gambar 2).

Aluvium

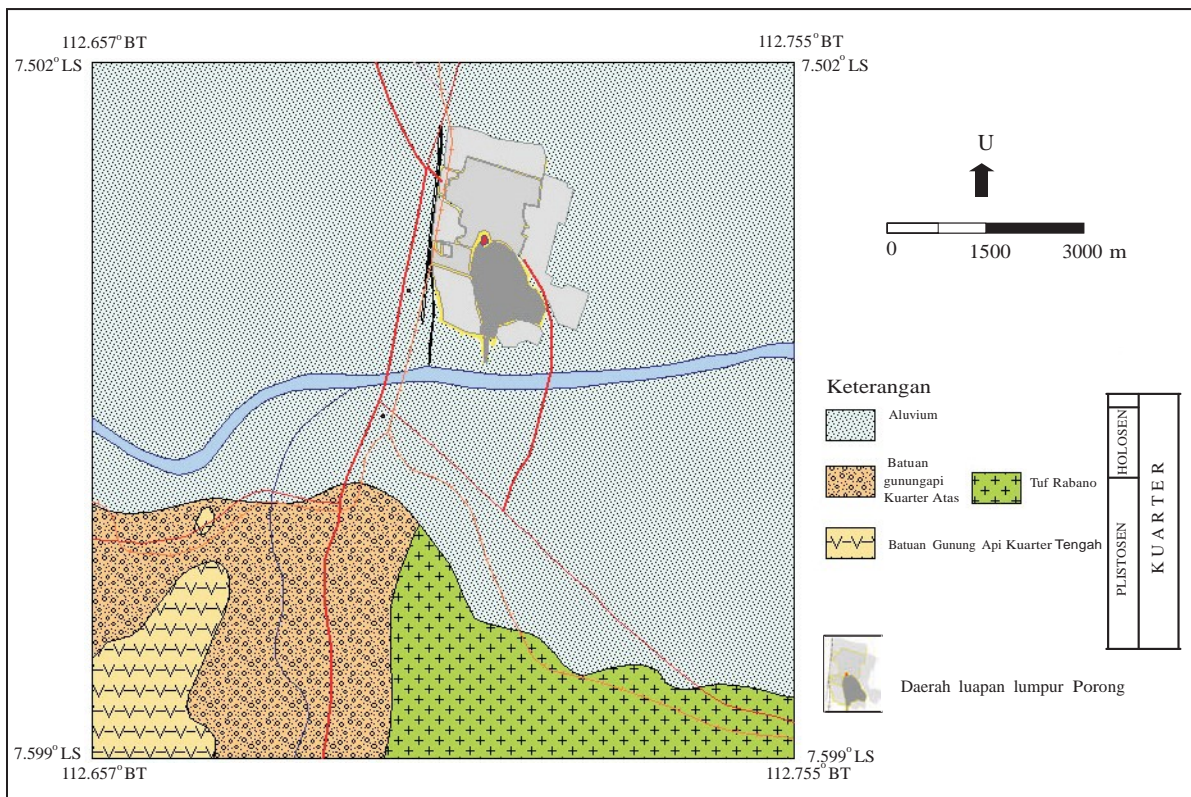
Endapan aluvium terdiri atas kerakal-kerikil, pasir, lempung, dan lumpur yang merupakan endapan sungai dan endapan pantai. Endapan sungai terlampar sepanjang daerah aliran Sungai Porong, Alo, dan Rejasa. Endapan pantai terlampar sepanjang pantai Selat Madura, yang sebagian besar berupa pasir kasar - halus dan lepas, setempat banyak tercampur pecahan cangkang moluska atau kerang-kerangan dan koral.

Batuan Gunung Api Kuartar Atas

Satuan ini terdiri atas breksi gunung api, lava, tuf, breksi tufan, aglomerat, dan lahar. Breksi gunung api, berwarna kelabu, hitam dan coklat, berbutir lapi-lapi hingga bom, menyudut - membundar tanggung, bersusunan andesit - basal. Lava, kelabu tua, hitam, dan kehijauan, bersusunan andesit hingga basal, porfiri, fenokris terdiri atas felspar dan piroksin dengan massa dasar mikrolit, olivin, mineral bijih, dan kaca. Breksi tufan, kuning keruh, kelabu dan



Gambar 1. Peta lokasi dan lintasan pendugaan GPR (Sumber BPLS, 2007).



Gambar 1. Peta geologi sekitar semburan lumpur Porong (Santosa dan Suwarti, 1992; BPLS, 2006).

coklat, bersusunan andesit, berbutir pasir hingga bom, menyudut tanggung - membundar tanggung, berkomponen felspar, kaca gunung api, batuapung, pecahan andesit atau basal, tersebar merata. Aglomerat, coklat hingga kelabu tua, bersifat menengah hingga basa, berbutir lapili hingga bom, membundar tanggung, berkomponen andesit, basal, obsidian, batuapung, felspar, dan kaca gunung api.

Tuf Rabano

Tuf pasiran, berwarna kuning keruh hingga coklat terang, berbutir pasir kasar hingga halus, setempat terdapat pecahan batuan berukuran kerakal yang tersebar tak merata, berkomponen mineral terang, andesit, kaca, dan pasir gunung api.

Batuan Gunung Api Kuartar Tengah

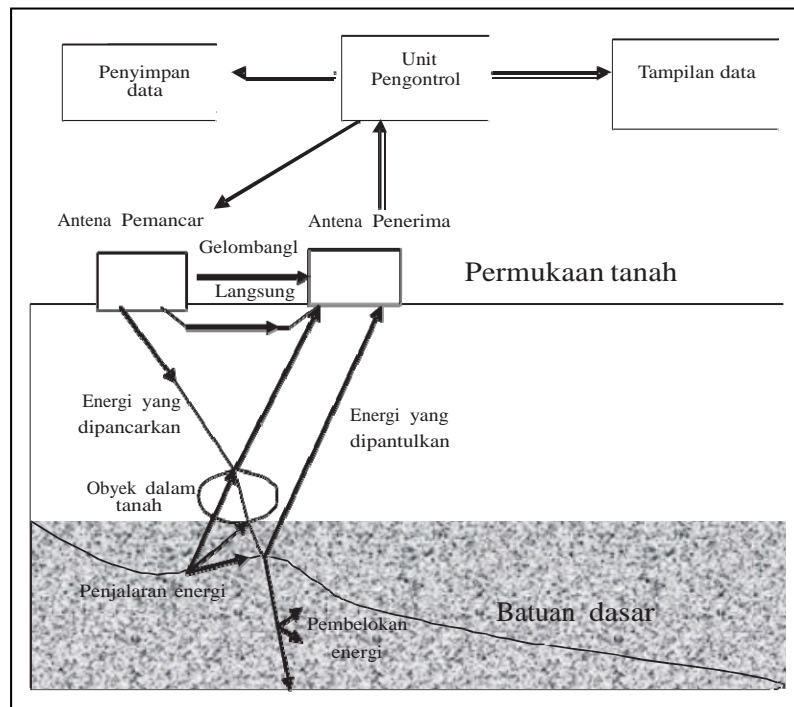
Satuan batuan terdiri atas breksi gunung api, tuf, lava, aglomerat, dan lahar. Breksi gunung api, berwarna kelabu, hitam, dan coklat, menyudut - membundar tanggung, bersusunan andesit. Lava, kelabu gelap, hitam, dan kehijauan, bersusunan

andesit hingga basal, porfiri, fenokris berupa felspar dan piroksen dengan massa dasar mikrolit, olivin, mineral bijih, dan kaca. Aglomerat dan lahar, coklat hingga kelabu gelap, bersifat menengah hingga basa, berbutir lapili hingga bom, membundar tanggung, berkomponen andesit, dan basal.

Metode Penelitian dan Peralatan

Ground Probing Radar (GPR) adalah salah satu metode geofisika yang dikembangkan sebagai salah satu alat bantu untuk penelitian geologi bawah permukaan yang relatif dangkal dan terperinci. Prinsip penggunaan metode GPR tidak jauh berbeda dengan metode seismik pantul, seperti identifikasi fasies dan sekuen lapisan bawah permukaan (Heteren drr., 1998).

Teknik penggunaan metode GPR (Gambar 3) adalah sistem *Electromagnetic Subsurface Profiling* (ESP), dengan cara memanfaatkan pengembalian gelombang elektromagnet yang dipancarkan me-



Gambar 3. Blok diagram cara kerja GPR.

lalui permukaan tanah dengan perantara antena. Pemancaran dan pengembalian gelombang elektromagnet berlangsung cepat sekali yaitu dalam satuan waktu *nannosecond* (Allen, 1979).

Kedalaman penetrasi dengan metode GEORADAR sangat bergantung sifat kelistrikan media yang diselidiki, seperti: konduktivitas listrik dan konstanta dielektrik. Kedua sifat listrik tersebut berkaitan erat dengan sifat fisik tanah atau batuan yang antara lain kadar air dan sifat kegaramannya. Berdasarkan pengalaman, metode GEORADAR ini penetrasinya akan mencapai 25 - 30 m apabila digunakan pada daerah yang kadar kegaramannya relatif kecil.

Khusus dalam pendeteksian material yang kadar besinya relatif tinggi, penetrasi GPR akan berkurang, sesuai dengan kadar besi yang terdapat pada material tersebut (Budiono, 1999).

Di daerah penelitian, kemampuan penetrasi pada masing-masing lintasan disesuaikan dengan tujuan utama pendeteksian, misalnya pendeteksian kondisi tanggul dan kondisi tanah atau batuan di sekitar semburan gas.

Secara garis besar peralatan *Subsurface Interface Radar* terdiri atas (Gambar 4):

- Model *Control Module*, *Surveyor 20* beserta Komputer.
- Model *Transducer (deep probing)*, 80 Mhz dan 200 Mhz).
- Model *Transducer (shallow probing)*, 1 GHz (*General purpose*).
- Kabel-kabel, *power supply* dll.



Gambar 4. Peralatan *Ground Probing Radar* (GPR).

Model *Control Module* adalah alat untuk meneruskan gelombang ke *transducer* dan ke komputer. Model *Main Frame* merupakan alat untuk merubah gelombang listrik menjadi *impulse* sumber. *Transducer* merupakan pengirim dan penerima gelombang. Sementara komputer untuk mengubah hasil menjadi penampang citra rekaman SIR.

Hasil Pendugaan

Tanggul Titik 16 - 11

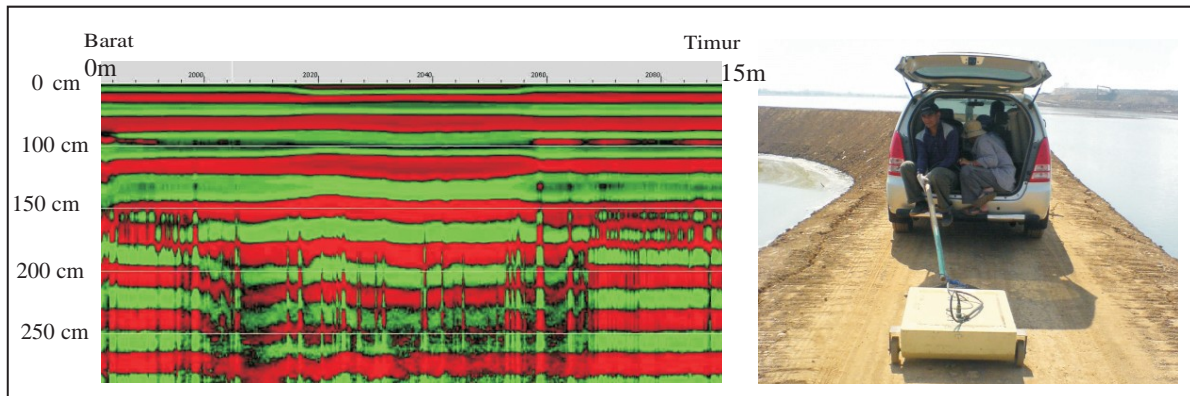
Pengambilan data GPR (*Ground Probing Radar*) sepanjang tanggul titik 16 sampai 11 telah dilakukan dengan menggunakan *transducer* 200 MHz dan 40 MHz (Gambar 5).

Penafsiran salah satu lintasan yang dilakukan di daerah ini adalah: Rekaman GPR memperlihatkan adanya proses penurunan di beberapa tubuh tanggul. Kondisi penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan sifat fisik dan keteknikan tanah yang bersangkutan, sehingga menyebabkan perbedaan sifat kompaksi tanah bahan urukan tanggul tersebut.

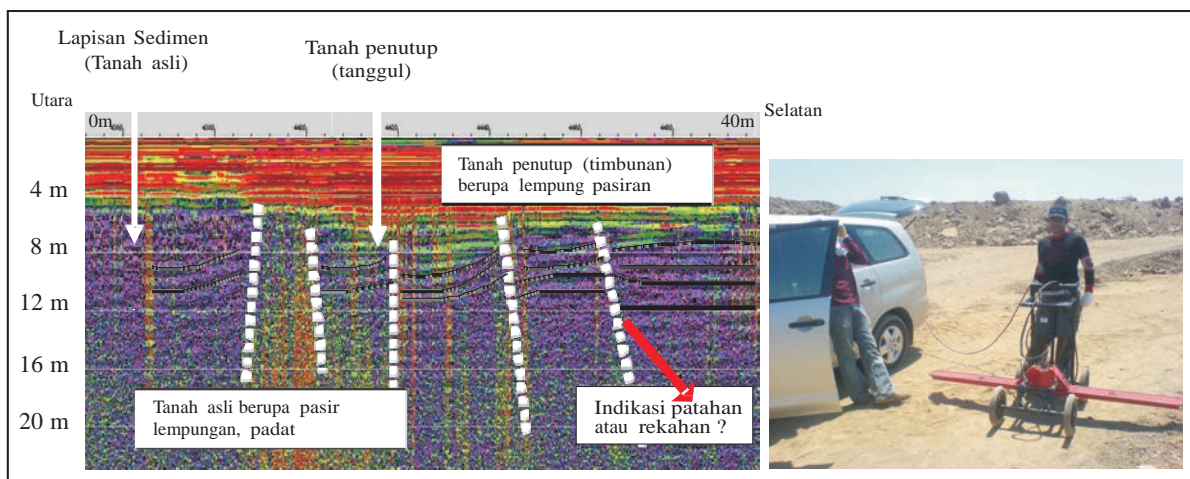
Penurunan tersebut menyebabkan timbulnya retakan-retakan di bagian atas tanggul, sehingga mempermudah terjadinya longsoran (Gambar 6).

Tanggul Titik 25

Hasil rekaman data GPR di sekitar tanggul titik 25 memperlihatkan kondisi tanah atau sedimen tempat bertumpunya tanggul sangat tidak stabil.



Gambar 5. Pendeteksian georadar *Digital Structure Scan III* dengan *Transducer* 200 MHz, di tanggul, sekitar titik 16 - 11.



Gambar 6. Indikasi patahan penyebab penurunan di sekitar titik tanggul 25 (GPR, *Digital Structure Scan III-Transducer* 40 MHz, penetrasi 20 m).

Kondisi ketidakstabilan tersebut diperlihatkan oleh pola struktur geologi berupa patahan atau rekahan dan penurunan yang bersifat lokal (Gambar 6).

Pada lokasi ini terlihat indikasi penurunan yang kemungkinan diakibatkan oleh pembebanan material di atasnya (Gambar 6 dan 7) atau kemungkinan juga diakibatkan oleh struktur geologi berupa patahan (Gambar 6).

Rekaman GPR di titik 41 - 40 di sekitar jalan tol lama, memperlihatkan struktur menyerupai antiklin yang cukup jelas (Gambar 8). Rekaman memperlihatkan puncak antiklin hampir mendekati permukaan tanah. Penampakan struktur menyerupai antiklin ini kemungkinan salah satunya akibat adanya tekanan gas dari bawah, namun demikian penafsiran ini perlu penelitian yang lebih terperinci.

Indikasi struktur bawah permukaan dijumpai pula di titik C-46 (Gambar 9). Struktur menyerupai antiklin disini terlihat lebih banyak dibandingkan dengan titik 40-41. Kondisi seperti ini kemungkinan karena tekanan gas di lokasi C-46 relatif lebih aktif.

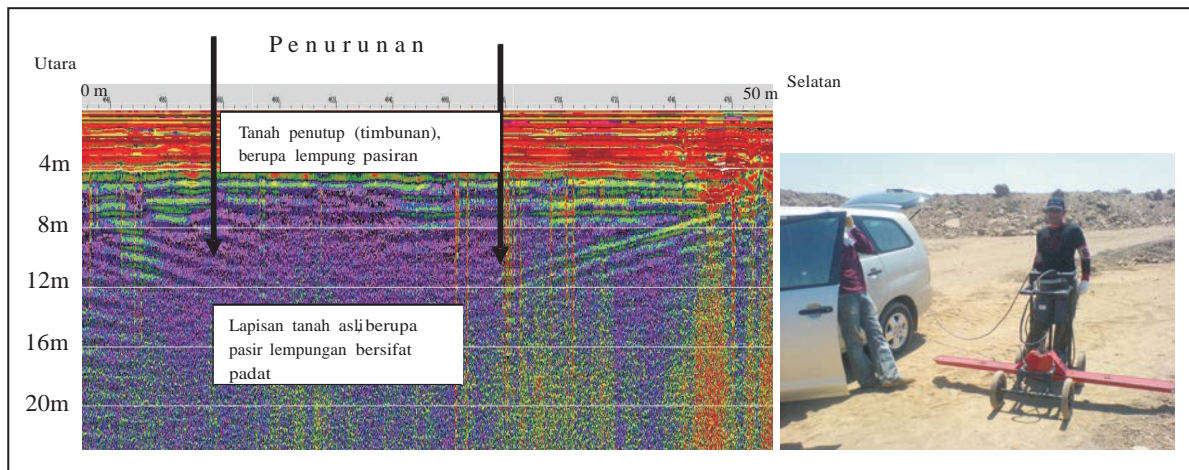
Indikasi jejak struktur perlipatan dijumpai pula di jalan raya Porong, namun penampakannya kurang jelas (Gambar 10). Reflektor sekuen paling atas berpola paralel sampai subparalel, sedangkan di bawahnya subparalel.

Struktur bawah permukaan di sekitar semburan gas dan air, menunjukkan adanya sayap struktur perlipatan menuju puncak perlipatan yang merupakan pusat semburan gas dan air di Kampung Siring (Gambar 11).

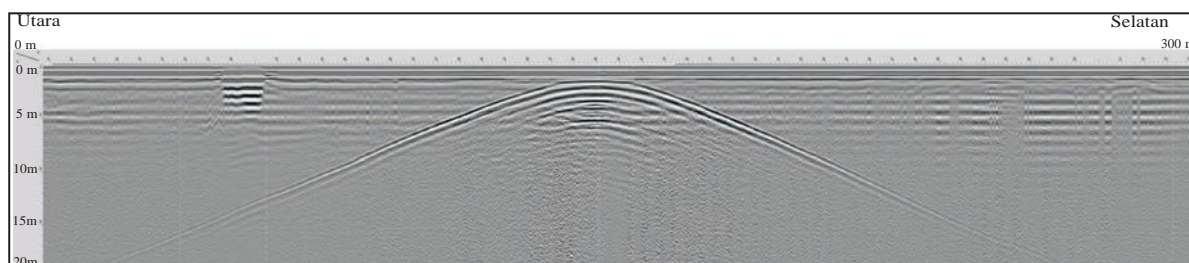
Pendeteksian di sekitar semburan baru di daerah Siring Barat dilakukan pada bulan Juni 2009 dengan mempergunakan *transducer* MLF 320. Rekaman memperlihatkan perbedaan reflektor yang cukup jelas, yaitu antara rekaman bebas reflektor dan subparalel (Gambar 12).

Pembahasan

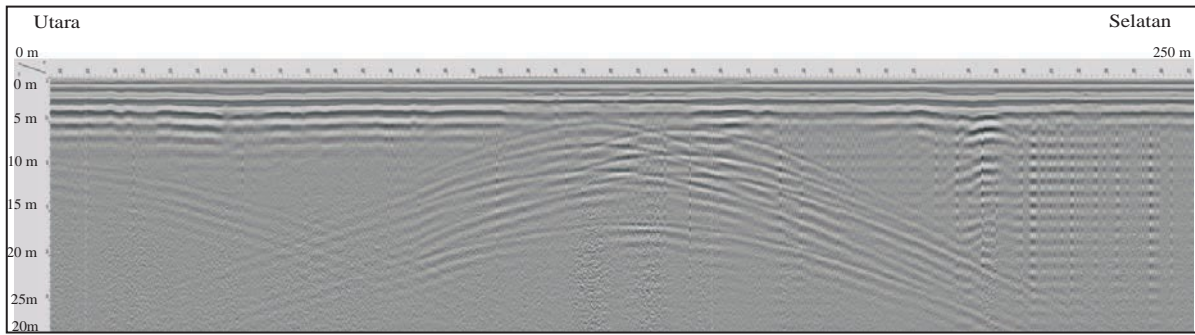
Pendugaan GPR telah dilakukan dengan mempergunakan GPR GSSI dengan mempergunakan



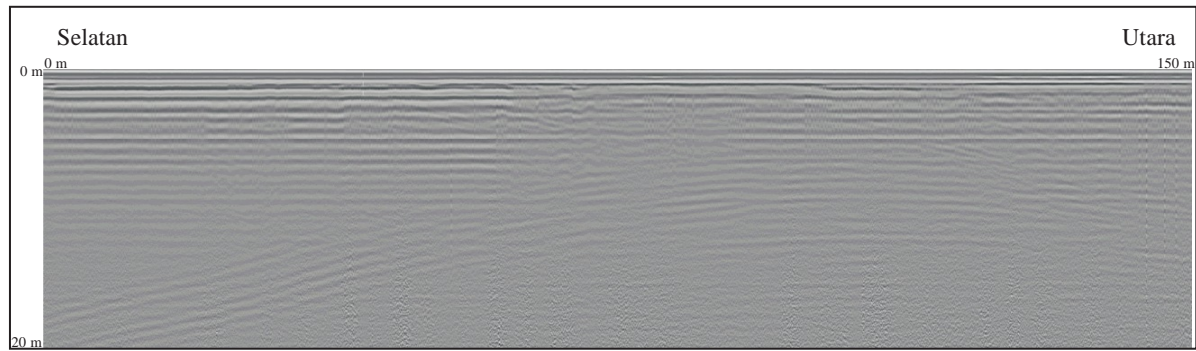
Gambar 7. Indikasi penurunan di sekitar titik tanggul 25 (GPR, *Digital Structure Scan III-Transducer* 40 MHz, penetrasi 20 m).



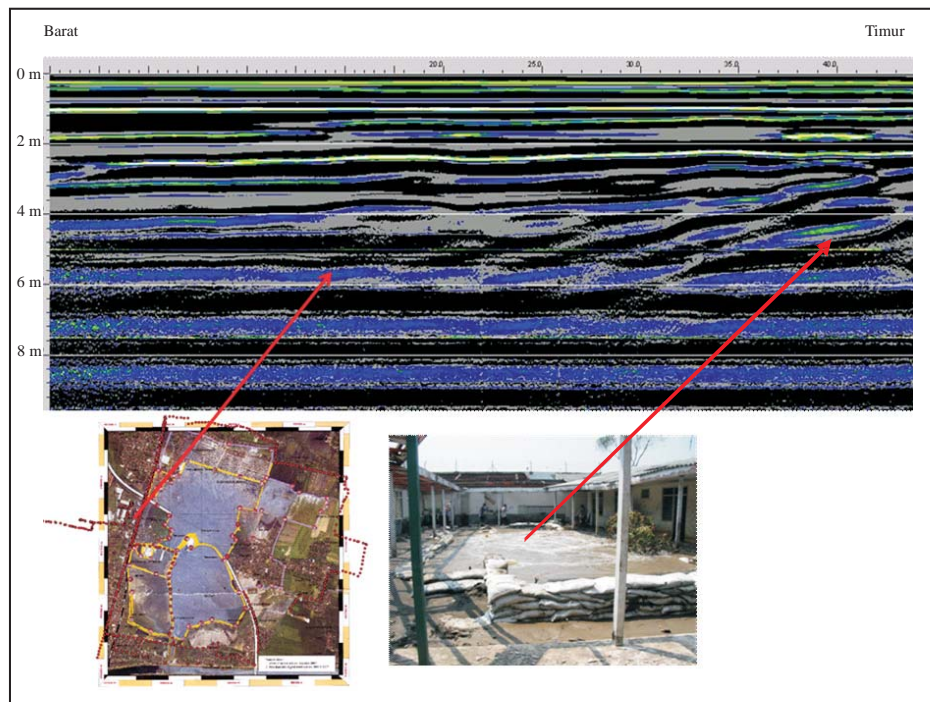
Gambar 8. Indikasi struktur menyerupai antiklin bawah permukaan di bekas jalan tol titik 41 - 40.



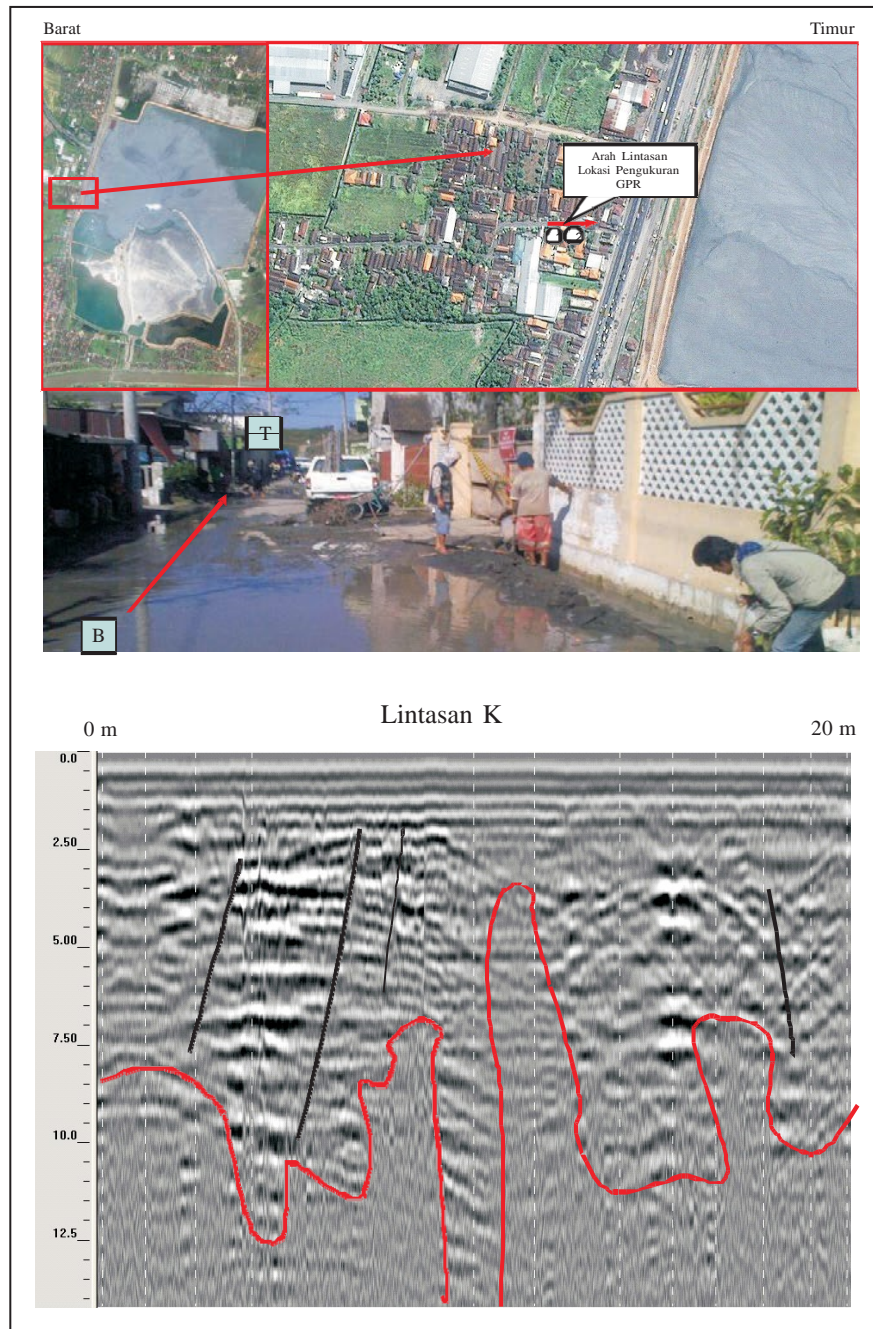
Gambar 9. Indikasi struktur menyerupai antiklin bawah permukaan di sekitar titik C-46.



Gambar 10. Indikasi struktur bawah permukaan di sekitar jalan raya Porong.



Gambar 11. Indikasi struktur bawah permukaan di lokasi semburan gas dan air di lokasi pabrik baja "Lion".



Gambar 12. Kondisi struktur dangkal bawah permukaan di Kampung Siring Barat.

transducer atau antenna 8, 16, 32, 40, 80, dan 200 MHz.

Reflektor yang terekam pada umumnya berpola paralel, subparalel, dan bebas reflektor. Pola reflektor paralel dan subparalel kemungkinan merupakan batuan sedimen, sedangkan yang bebas reflektor

kemungkinan merupakan batuan sedimen yang dipengaruhi oleh gas dan air, serta merupakan lapisan sedimen yang relatif jenuh air.

Rekaman GPR dengan pola bebas refleksi terlihat memotong lapisan batuan dengan pola paralel dan subparalel, dan kadang-kadang di bagian atasnya

berkembang struktur geologi berupa perlipatan dan rekahan. Struktur geologi bawah permukaan dangkal pada umumnya berkembang di sekitar semburan utama.

Kesimpulan

Struktur geologi yang menyerupai struktur perlipatan dan rekahan dijumpai secara jelas di lokasi titik 41 - 43, lokasi *SPILL WAY*, titik 47 - 25, dan di beberapa lokasi jalan raya Porong dan Siring Barat. Arah sumbu struktur tersebut relatif berarah barat-timur. Kondisi tersebut sesuai dengan gelembung gas baru yang muncul ke permukaan dan dijumpai sepanjang arah barat-timur.

Rekaman GPR di sekitar tanggul memperlihatkan badan tanggul bagian bawah relatif tidak stabil. Sifat kompaksi tidak merata sangat jelas terlihat pada rekaman. Hal ini kemungkinan karena adanya aliran air pada bagian bawah tanggul.

Patahan dan penurunan sangat jelas terlihat pada rekaman GPR di lokasi 47 - 25. Kondisi seperti ini mengganggu kestabilan tanggul di sekitarnya.

Ucapan Terima Kasih—Para penulis mengucapkan terimakasih kepada teman-teman yang telah memberikan koreksi, diskusi serta kritiknya sehingga selesainya tulisan ini. ucapan terimakasih secara khusus juga disampaikan kepada Bapak Ir. Subaktian Lubis, M.Sc. dan kepada Bapak Prof. DR.Ir. Hardi Prasetyo atas dukungannya dan dijinkannya data ini untuk dipublikasikan.

Referensi

- Allen, R.L., 1979. Studies in fluvial sedimentation: an elementary geometric model for the connectedness of avulsion-related channel sand bodies. *Sedimentary Geology*, 24, h.253-267.
- Budiono, K., 1999. Ground Probing Radar as a tool for heterogeneity estimation in Quaternary sediment. *Proceedings of Indonesian Association of Geologists*.
- BPLS, 2007. Peta Lokasi dan Lintasan Pendugaan GPR.
- Heteren, V.S., Fitzgerald, D.M., McKinlay, P.A., dan Buynevich, I.V., 1998. Radar facies of paraglacial barrier system. Coastal New England, USA. *Sedimentology*.
- Santosa, S. dan Suwanti, T., 1992. *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.