

INVESTIGASI KEBOCORAN HIDROCARBON PADA PUSAT PENGOLAHAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

Trimadona^{1*}, dan A. R. Antari¹, H. Budiman¹, A. Sari²

¹ Teknik Eksplorasi Produksi Migas, Politeknik Akamigas Palembang

² Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan

Corresponding author: trimadona11@gmail.com

ABSTRAK: Metode Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan bagian dari metode geofisika yang menggunakan prinsip penjarangan gelombang elektromagnetik. Dalam industry perminyakan terdapat kegiatan produksi dan transportasi yang menyebabkan terjadinya proses distribusi minyak. Pada pusat pengolahan hidrokarbon dapat terjadi kebocoran yang berada di bawah permukaan. Alat GPR yang digunakan memiliki frekuensi 200 MHz dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran hidrokarbon di bawah permukaan dengan kedalaman sampai 4 m. Dalam proses interpretasi GPR yaitu berupa radargram yang dapat mendekteksi adanya lapisan dari permukaan alat hingga kedalaman maksimum yang mampu di tempuh oleh gelombang elektromagnetik pada alat GPR. Berdasarkan hasil radargram terlihat adanya beton, adanya zona bayangan yang mengindikasikan beberapa factor diantaranya *fresh-bio-generated*, resapan air ke dalam tanah atau kelembaban tanah dan adanya clay yang sudah terkontaminasi dengan variasi nilai konduktivitas listrik dan konstanta dielektrik pada tanah.

Kata Kunci: Ground Penetrating Radar, Kebocoran, Radargram

ABSTRACT: *Ground Penetrating Radar (GPR) survey was carried out in several petroleum plants to investigate hydrocarbon contamination beneath the surface. The hydrocarbon spills are generally recognized as Light Non-Aqueous Phase Liquids (LNAPL) if the plume of leakage is distributed in the capillary fringe above the water table and as Dense Non-Aqueous Phase Liquids (DNAPL) if it is below the water table. GPR antennas of 200 MHz and 400 MHz were deployed to obtain clear radargrams until 4 m deep. In general, the interpreted radargram sections indicate the presence of surface concrete layer, the compacted silty soil followed by sand layer and the original clayey soil as well as the water table. The presence of hydrocarbon plumes are identified as shadow zones (radar velocity and intensity contrasts) in the radargram that blur the layering pattern with different intensity of reflected signal. Based on our results, the characteristic of the shadow zones in the radargram is controlled by several factors: types of hydrocarbon (fresh or bio-degraded), water moisture in the soil, and clay content which contribute variation in electrical conductivity and dielectric constants of the soil.*

Keyword: *Ground Penetrating Radar, leakage, radargram*

PENDAHULUAN

Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan metode geofisika pasif yang dapat digunakan untuk investigasi dangkal bawah permukaan dan memiliki resolusi tinggi. Metode GPR memanfaatkan sinyal gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi sekitar 10 MHz - 2000 MHz. Metode GPR dapat digunakan untuk memperoleh informasi lapisan bawah permukaan dangkal, untuk mencari letak benda-benda purbakala yang tertimbun di bawah permukaan, untuk mengetahui keberadaan rangka bangunan beton/gedung, dapat digunakan untuk mengetahui seberapa dalam lapisan

lapuk yang ada disuatu wilayah tambang, untuk mengetahui lapisan keras suatu wilayah untuk dijadikan fondasi untuk keperluan sipil. Dari berbagai macam fungsi dan kegunaan dari survey GPR ini, yang membedakannya hanya terletak pada frekuensi yang digunakan serta target kedalaman yang diinginkan. Semakin dalam target yang diinginkan semakin kecil frekuensi yang digunakan dan sebaliknya jika semakin dangkal target kedalaman yang ingin dicapai maka frekuensi yang digunakan semakin besar.

Metode GPR dioperasikan dengan memancarkan gelombang mikro berenergi rendah ke dalam tanah melalui antena. Sinyal GPR akan dipantulkan kembali ke

antena oleh material-material dengan perbedaan sifat kelistrikan (dielektrik dan konduktivitas) dan sifat fisis batuan yang berbeda. Pantulan yang didapat pada rekaman GPR dapat terlihat tidak unik (*non-unique*), artinya bahwa objek yang berbeda dapat menimbulkan pantulan yang serupa, sehingga untuk menghasilkan interpretasi yang maksimal dilakukan dengan seksama dan dengan memperhatikan skala bar untuk nilai amplitudonya. Pantulan yang kuat biasanya di hasilkan dari objek metal, *watertable* (muka air tanah), dan lapisan lempung. Objek metal seperti pipa dan sistem pondasi biasanya menghasilkan pantulan hiperbolik beramplitudo tinggi pada rekaman GPR.

METODE

Gelombang Elektromagnetik dapat dijelaskan menggunakan persamaan Maxwell. Dalam metode GPR memerlukan parameter-parameter fisika seperti permeabilitas magnetik, konstanta permitivitas elektrik, permeabilitas magnetic, permitivitas dalam ruang hampa. Kecepatan gelombang radar pada medium adalah sebagai berikut;

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad \dots (1)$$

Dimana v adalah kecepatan gelombang radar
 μ adalah permeabilitas magnetik
 ϵ adalah permitivitas elektrik

Konstanta dielectric adalah perbandingan antara permitivitas elektrik terhadap permitivitas dalam ruang hampa, sehingga diformulasikan sebagai berikut;

$$\kappa = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \dots (2)$$

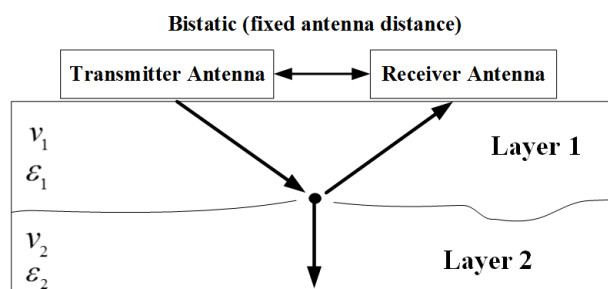
Dimana κ adalah Konstanta dielektrik
 ϵ adalah permitivitas elektrik
 ϵ_0 adalah permitivitas dalam ruang hampa

Metode GPR tergantung pada pendeteksian sinyal pantul. Sinyal yang dipantulkan tergantung pada kontras media dielektrik medium. Jika kontras media lebih besar dari energi elektromagnetik maka energi elektromagnetik juga besar. Koefisien reflektansi (Rf) digunakan untuk mengetahui besar energi yang dipantulkan. Koefisien reflektansi dirumuskan sebagai berikut;

$$Rf = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad \dots (3)$$

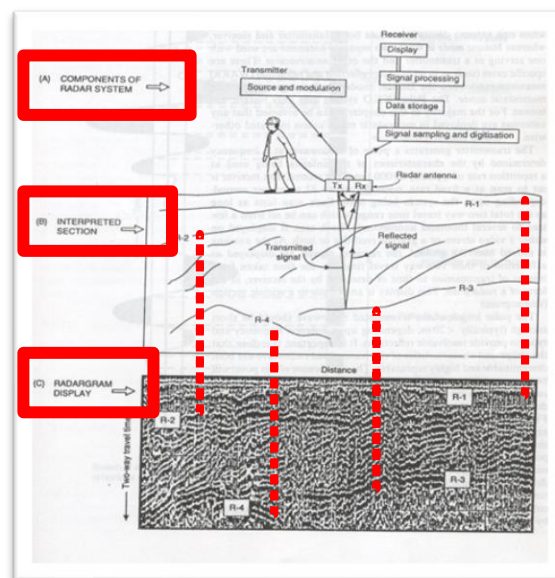
Dimana Rf adalah koefisien reflektansi
 ϵ_2 adalah kecepatan di medium 1
 ϵ_2 adalah kecepatan di medium 2

Ground Penetrating Radar GPR memanfaatkan fenomena pancaran dan pantulan dari gelombang elektromagnetik. Kecepatan dan intensitas gelombang dalam material dikontrol oleh adanya konduktivitas listrik dan permeabilitas material. Informasi mengenai penjarangan gelombang (*travel time*) yaitu data lapangan diproses untuk mendapatkan gambaran 2 dimensi yang menggambarkan struktur bawah permukaan. Penggambaran sinyal EM yang dipantulkan dan direkam pada antenna penerima dapat dilihat pada gambar.1.



Gambar 1. Ilustrasi penjarangan sinyal GPR

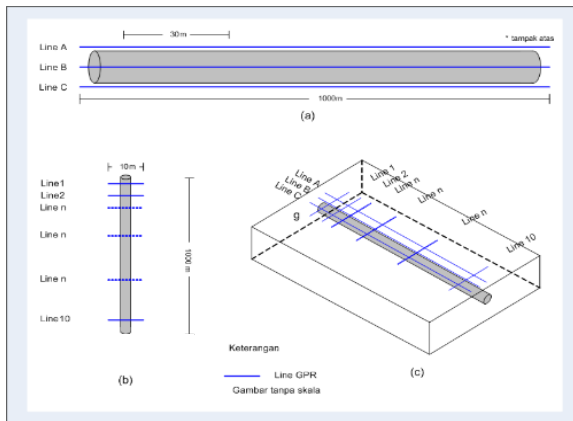
Gambar 2 memperlihatkan proses akuisisi data GPR yang terdiri dari 3 bagian utara yaitu komponen radar system yang berada diatas permukaan, bagian kedua menggambarkan ilustrasi bawah permukaan dan bagaimana perilaku sinyal gelombang elektromagnetik pada saat bertemu dengan medium di bawah permukaan dan bagian ke 3 adalah hasil dari pengolahan data GPR.



Gambar 2. Komponen Sistem GPR

Pada penelitian kali ini alat GPR yang digunakan menggunakan antenna dengan frekuensi 200 dan 600 Hz. Dalam proses mendapatkan *profile* radargram yang akurat, proses akuisisi dilakukan untuk pipa yang terkubur di bawah permukaan sebanyak 3 kali pengukuran GPR. Pengukuran dilakukan yaitu tepat sejajar diatas pipa, dan dua pengukuran lainnya di sisi kiri dan kanan dari pipa

utama dengan jarak sekitar 30 – 50 cm yang ditunjukkan pada gambar 3. Hal ini dilakukan untuk menjamin ketercakupannya data radargram dalam mengantisipasi kebocoran atau kontaminasi di bawah permukaan. Beberapa garis perlintasan juga dibuat untuk memverifikasi keberadaan dan kedalaman pipa dibawah permukaan.

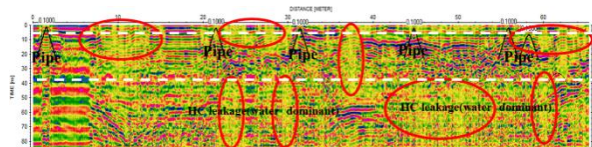


Gambar 3. Proses Akuisisi GPR

Untuk mendapatkan bagian GPR yang lebih jelas secara visual dan dapat diinterpretasikan, radargram mentah diproses melalui beberapa langkah seperti Dewow, DC Shift Correction, band pass filtering dan koreksi pergeseran DC, pemfilteran band pass dan background removal serta migration.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan data GPR memerlukan waktu yang lama, apalagi dalam melakukan proses interpretasi hasil gambaran 2D bawah permukaan. Pada penelitian ini hanya terfokus pada beberapa lintasan. Pada lintasan ini terlihat bahwa kedalaman yang dapat ditembus oleh sinyal GPR hingga kedalaman 80 cm. Dari hasil radargram jelas terlihat adanya bentuk hiperbolik yang mengindikasikan adanya pipa, ada pola perlapisan di bawah permukaan, terlihat adanya indikasi rembesan fluida yang diindikasikan bukan H₂O melainkan fluida lain diduga adalah rembesan hidrocarbon. Rembesan fluida ini dicirikan adanya *shadow zone* pada radargram.



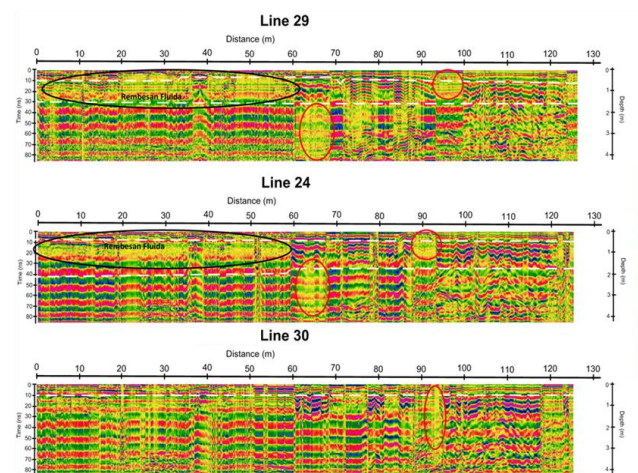
Gambar 4. Hasil radargram

Gambar diatas memperlihatkan pola lapisan pertama antara kedalaman 0.2-0.3 m yang diindikasikan merupakan *concrete* yang merupakan dasar dari area pengukuran GPR. Dibeberapa area terdapat *shadow zone* yaitu pada jarak 10 m, 20-30 m, 37 m dan 60-65 m. *Shadow zone* ini mempresentasikan adanya campuran rembesan

hidrocarbon dengan air hujan di permukaan (Gambar 5). Kedalaman *water table* sekitar 2 m. Low amplitude *shadow zone* mengindikasikan LNAPL dan DNAPL.



Gambar 5. Campuran tumpahan hydrocarbon dan air hujan di permukaan.



Gambar 6. Examples of radargrams

Gambar 6 merupakan radargram hasil processing. Radargram berada disebelah kanan pipa, berada tepat diatas pipa dan sebelah kiri dari pipa. Perlintasan ini diukur guna memvalidasi data radargram disekitar disekitar lintasan utama pipa jika terjadi keanehan pada lintasan radargram, maka akan dilakukan pengecekan terhadap lintasan yang terjadi keanehan. Keanehan ini mungkin disebabkan kemungkinan terjadi kebocoran dari pipa yang berisi fluida dibawah permukaan. Hal ini dicrosscheck dengan adanya tumpahan hidrocarbon yang berada di sekitar lintasan.

Berdasar hasil radargram diatas, pada lintasan tersebut terlihat lapisan pertama dengan ketebalan sekitar 0,3 m yang mengindikasikan pola lapisan yang berupa beton atau concrete. Dari singkapan batuan yang digali di dekat garis perlintasan (Gambar 7), dipastikan bahwa lapisan pertama merupakan lapisan beton yang ketebalannya hampir sama. Di bawah lapisan ini ditemukan lapisan lanau yang menutupi tanah berpasir yang padat. Pantulan lapisan ini teridentifikasi dengan jelas dari bagian dengan amplitudo sinyal yang relatif tinggi dari kedalaman sekitar 0,28 hingga 2.1 m. Di bawah tanah berpasir ditemukan lapisan lanau atau tanah liat. Permukaan air diidentifikasi dari bagian-bagian yang kedalamannya

sekitar 2 m dan hal ini diverifikasi dengan memeriksa beberapa sumur air yang berjarak ratusan meter dari garis.

Pada jarak lintasan horizontal sekitar 3 – 55 m dan 85 – 95 m dan kedalaman 0,2 – 1,4 m terlihat terdapat *shadow zone* dengan amplitudo rendah. Zona ini mungkin disebabkan oleh keberadaan LANPL di *vadose zone* di atas *water table* yang mengurangi reflektivitas sinyal. Selain itu *vadose zone* juga dimungkinkan terjadinya biodegradasi hidrokarbon dan gumpalan air yang didominasi campuran minyak dan air di lingkungan tanah liat. Batas *water table* yang nampak jelas di *un-shadow zone* (bagian kanan radargram) mungkin disebabkan oleh perbedaan permitivitas dielektrik antara lapisan lempung berpasir dan lapisan jenuh air, sedangkan di bawah *shadow zone* (bagian kiri radargram) disebabkan oleh perpindahan air dari zona transisi di atas pinggir kapiler.

Ciri khas gumpalan fluida juga teridentifikasi di bawah permukaan air antara jarak horizontal 58-68 m. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya DNAPL yang menggantikan air dari ruang berpori dan diendapkan melalui lapisan jenuh air. NDAPL tidak larut dalam air dan dapat bermigrasi sepanjang aliran air tanah.



Gambar 7. Outcrops disekitar pipa pengukuran GPR

KESIMPULAN

Investigasi pipa bawah permukaan menggunakan GPR telah dilakukan di industri migas dalam negeri. Interpretasikan penampang GPR/radargram yang menunjukkan adanya lapisan permukaan beton, tanah berlanau yang dipadatkan, lapisan pasir dan tanah lempung asli serta muka air tanah. Keberadaan hidrokarbon *plume* diindikasikan dengan *shadow zone* atau nilai amplitudo yang rendah yang diartikan adanya

LANPL pada *vadose zone* diatas *water table* sehingga mengurangi reflektivitas sinyal atau akibat terjadinya biodegradasi hidrokarbon dan akibat adanya campuran minyak dan air hujan di lingkungan berlumpur/ liat. Dari penampang radargram terlihat adanya zona bayangan yang mengindikasikan adanya pelemahan sinyal GPR yang mengindikasikan adanya tumpahan fluida, yang diindikasikan merupakan hidrokarbon. Dalam memastikan terdapat kebocoran, harus dilakukan korelasi dengan melakukan pemboran daerah yang teindikasikan adanya rembesan minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Reynolds, A. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley & Sons Ltd.
- Jol, H. M., 2009, *Ground Penetrating Radar theory and Applications*, Elsevier.
- Lu, Q., Feng, X., Liu, C., Li, H. L., Sato, 2011, Detection of LNAPL contaminated soils by GPR, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International, pp. 842-845.
- Campbell, D.L., Lucius, J.E., Ellefsen, K.J., Deszcz-Pan, M., 1996, *Monitoring of a controlled LNAPL spill using ground penetrating radar*, Proc. Symp. Applications of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP'96), pp. 511-517
- Benson, A.K., Mustoe, N.B., 1998, Integration of electrical resistivity, ground-penetrating radar, and very low-frequency electromagnetic induction surveys to help map groundwater contamination produced by hydrocarbons leaking from underground storage tanks. *J. Environmental Geosciences*, 5 pp. 61-68.
- De Castro, D. L., Gomes, Branco, R.M.G.C, 2003, 4-D ground penetrating radar monitoring of a hydrocarbon leakage site in Fortaleza (Brazil) during its remediation process: a case history, *Journal of Applied Geophysics* 54, pp. 127– 144.