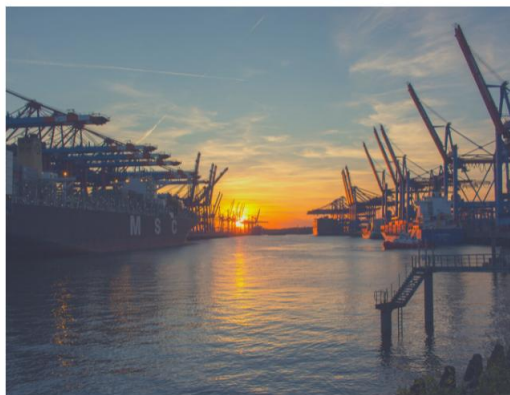




TAHUN 2021

OVER VIEW SUMUR TUA DAN IMPLIKASINYA

EDDY IBRAHIM
MAULANA YUSUF



**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

Overview Sumur Tua Dan Implikasinya

Universitas Sriwijaya 2021 Kampus
Unsri Palembang
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. 0711-360969 / 085366741970
email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com
website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 005.140.1.6.2021
Anggota IKAPI No. 001/SMS/96 302

144 halaman : 14,8 x 21 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN : 978-623-399-039-4

KATA PENGANTAR

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.01 Tahun 2008, Sumur Tua adalah sumur-sumur minyak bumi yang di bor sebelum tahun 1970 dan pernah di produksi serta terletak pada lapangan yang tidak diusahakan pada suatu wilayah kerja yang terikat kontrak kerja sama dan tidak diusahakan lagi oleh kontraktor. Sumur-sumur tua yang masih berpotensi dapat di produksi ulang oleh pihak pemohon melalui serangkaian tahapan.

Potensi sumur tua Indonesia sekitar 13.824 sumur, hal tersebut menunjukkan potensi cadangan minyak dan gas bumi cukup besar jika di eksplorasi dan eksploitasi dengan benar. Perkiraan awal potensi sumur tua tersebut membutuhkan pengkajian lebih lanjut dan pembuktian nilai fisiknya serta mengkoreksinya. Oleh sebab itu buku ini menggambarkan bagaimana eksplorasi, eksploitasi, dan teknologi pemanfaatanya di deskripsikan secara holistik dan komprehensif, terutama dari sisi teknis dan sangat dibutuhkan untuk menilai prospek dan tidaknya sumur tua dalam hal pemanfaatan cadangan minyak sisa yang ada di reservoir yang sudah lama ditinggalkan.

Akhir kata, semoga buku ini bias menambah wawasan dan informasi dalam rangka kontribusinya bagi peningkatan sumber energi khususnya minyak bumi

Palembang, Oktober 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. POTENSI SUMUR TUA DI SUMATERA SELATAN.....	6
2.1. Metode Geofisika dalam Pencarian Potensi Sumur Tua	6
2.2. Metode Magnetik.....	12
2.3 Pengantar Metode Listrik dan Elektromagnetik	30
2.4 Metode Radar Penetrasi Tanah	98
BAB 3. TEKNOLOGI PEMANFAATAN SUMUR TUA .	112
3.1. Teknologi Sumur Tua Secara Mekanis.....	112
3.2. Teknologi Pengambilan Minyak Pada Sumur Tua	122
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN.....	135

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1. Deklinasi dan Kemiringan Arah Medan Magnet.....	15
2.2. Skema Kurva Anomali Medan Magnet.....	19
2.3. Magnetometer.....	24
2.4. Aeromagnetik.....	24
2.5. Rentang Resistivitas pada Batuan	33
2.6. Distribusi Arus dan Potensial untuk Dua Elektroda	37
2.7. Skema Mekanisme Sel Galvanik.....	53
2.8. Skema Kurva Lapangan Sekunder pada TDEM.....	69
2.9. Penelitian Kedalaman pada TDEM.....	71
2.10. Skema Umum Sistem Dipole-Dipole EM.....	74
2.11. GEM-3.....	76
2.12. Sistem EM Airborne.....	77
2.13. Sistem Zonge NanoTEM.....	79
2.14. Respon EM dari Pipa Baja Stainless yang Terkubur.....	83
2.15. Penyiapan Survei CSAMT.....	91

2.16.	CSAMT Pseudosection	92
2.17.	Refleksi Radar	103
2.18.	Penggunaan Sistem GPR.....	106
2.19.	Citra GPR.....	107
3.1.	Artificial Lift	113
3.2.	Water Flooding.....	115
3.3.	Injeksi Campuran	118
3.4.	Injeksi Kimiawi	119
3.5.	Injeksi Thermal	120
3.6.	Injeksi Mikroba	121
3.7.	Kegiatan re-opening Sumur Tua dengan Tombros	126
3.8.	Pengangkatan Tombros menggunakan Liyer	127
3.9.	Kegiatan Pengurasan Sumur menggunakan Timba	128
3.10.	Kegiatan Pengurasan Sumur menggunakan Mesin Truck	128
3.11.	Kegiatan Produksi Minyak menggunakan Timba	130
3.12.	Kegiatan Produksi Minyak menggunakan Mesin Truck	130

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1. Sumber Anomali SP dan Rentang Amplitudo	61

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran .1 KOORDINAT LOKASI SUMUR TUA SUMSEL.....	133
Lampiran .2 PETA SUMUR TUA SUMATERA SELATAN	141

BAB 1

PENDAHULUAN

Penggunaan minyak bumi dari tahun ke tahunnya mengalami peningkatan, sedangkan cadangannya yang ada tinggal sedikit. Produksi minyak bumi Indonesia tahun 2010 mencapai 344,5 juta SBM dengan cadangan terbukti yang hanya dapat menyediakan minyak selama 11 tahun (*Outlook Energy Indonesia, 2012*). Keterbatasan cadangannya yang semakin menipis ini mengharuskan Pemerintah Indonesia untuk melakukan alternative untuk memenuhi kebutuhan energi nasional khususnya pada minyak bumi, alternative itu salah satunya berupa produksi ulang sumur-sumur tua.

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.01 Tahun 2008, Sumur Tua adalah sumur-sumur minyak bumi yang di bor sebelum tahun 1970 dan pernah di produksi serta terletak pada lapangan yang tidak diusahakan pada suatu wilayah kerja yang terikat kontrak kerja sama dan tidak diusahakan lagi oleh kontraktor. Sumur-sumur tua yang masih berpotensi dapat di produksi ulang oleh pihak pemohon melalui serangkaian tahapan.

Dari kementerian ESDM diperoleh data total sumur tua di Indonesia saat ini mencapai 13.824 sumur. Dari total sumur tua yang ada di Indonesia, sebanyak 745 sumur tua yang berstatus aktif dan 13.079 sumur tua yang tidak aktif. Dari data yang ada dapat dilihat bahwa pemanfaatan sumur tua masih belum dilakukan secara maksimal. Total sumur tua yang terdapat di Indonesia tersebar di Provinsi Sumatera bagian selatan sebanyak 3.623 sumur, Sumatera bagian utara 2.392 sumur, Sumatera bagian tengah 1,633 sumur, Kalimantan Timur 3.143 sumur, Kalimantan Selatan 100 sumur, Jawa Tengah-Jawa Timur-Madura 2.496 sumur, Papua 208 sumur dan Seram 229 sumur. Propinsi Sumatera Selatan memiliki jumlah sumur tua yang lebih banyak dibandingkan dengan daerah lainnya, yaitu sejumlah 3.623 sumur. Artinya, Propinsi Sumatera Selatan memiliki peluang lebih besar untuk mengembangkan dan mengoptimalkan pemanfaatan sumur tua yang ada di Indonesia guna membantu meningkatkan produksi minyak bumi nasional.

Berdasarkan data dari dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Selatan, menyebutkan bahwa jumlah sumur tua terdata yang tidak dioperasikan lagi berjumlah 2.813 sumur tua. Jumlah sumur tua tersebut tersebar di tiga kabupaten, yaitu Kabupaten Lahat, Kabupaten Muara

Enim, dan Kabupaten Musi Banyuasin. Jumlah sumur tua terbanyak berada di Kabupaten Muara Enim dengan jumlah sumur terdata sebanyak 1.819 Sumur. Berdasarkan persoalan diatas, maka diperlukan suatu kajian baik secara teknis maupun ekonomis untuk mengaktifkan kembali sumur-sumur tua yang berada di Sumatera Selatan dan dapat menjadi salah satu solusi dalam rangka ikut serta pengembangan berkelanjutan produksi minyak bumi di Indonesia.

Dari 2.813 sumur tua yang berada di Provinsi Sumatera Selatan, berdasarkan data SKK Migas Sumsel terindetifikasi (memiliki koordinat) dalam penelitian ini sebanyak 138 sumur yang tersebar di beberapa Kabupaten. dimana kabupaten yang paling banyak sumur tua yaitu Kabupaten Musi Banyuasin. Dan jumlah yang paling sedikit yaitu terdapat di Kabupaten Banyuasin. Berikut rangkuman data sumur tua di Sumatera Selatan. 138 sumur inilah yang akan menjadi Object Penelitian.¹ Buku ini bertujuan menggambarkan beberapa hal antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Karakteristik daerah sumur tua berdasarkan pengamatan geologi permukaan, selain itu juga untuk mengetahui kondisi dinamik pengendapan minyak bumi dan gas melalui data permukaan dan data bor lapangan-

lapangan minyak baru yang berada dekat daerah penelitian.

- b. Respon Geolistrik *Inversion Vertical Electricity Logging* (IVEL); *real resistivity*, *imaginer resistivity*, *complex resistivity*, *frekuensi response* yang dikaitkan dengan analisis data geologi
- c. Menggambarkan metode yang tepat, baik dari aspek pengukuran dan analisis serta interpretasi data hasil riset.
- d. Memetakan potensi ekonomis cadangan minyak terukur di lokasi penelitian berdasarkan hasil integrasi data geologi dan geofisika (geolistrik).

Dari gambaran diatas secara khusus diperoleh potensi sumur tua yang prospek di Sumatera Selatan, cara estimasi awal cadangan minyak pada sumur tua serta menentukan cadangan pada sumur tua yang layak untuk diproduksi ulang.

Potensi sumur tua Indonesia sekitar 13.824 sumur, hal tersebut menunjukkan potensi cadangan minyak dan gas bumi cukup besar jika di eksplorasi dan eksploitasi dengan benar. Perkiraan awal potensi sumur tua tersebut membutuhkan pengkajian lebih lanjut dan pembuktian nilai fisiknya serta mengkoreksinya. Oleh sebab itu buku ini menggambarkan bagaimana mengkajinya dengan pendekatan komprehensif,

terutama dari sisi teknis dan sangat dibutuhkan untuk menilai prospek dan tidaknya sumur tua dalam hal cadangan minyak dan gas. Buku ini diharapkan dapat menambah informasi dan pengetahuan khususnya dalam kaitan sumur tua terutama dari sisi letak, potensi dan teknologinya.

BAB 2

Potensi Sumur Tua Sumatera Selatan

2.1 Metode Geofisika dalam Pencarian Potensi Sumur Tua

Metode geofisika digunakan untuk menyelidiki komposisi, struktur, dan sifat permukaan bawah permukaan yang telah mencapai tingkat kecanggihan yang tinggi dalam beberapa tahun terakhir. Dorongan untuk perbaikan teknologi telah menjadi kesadaran bahwa geofisika dangkal dapat membantu mengatasi masalah sosial yang terkait dengan lingkungan dan teknik, selain masalah tradisional dalam eksplorasi minyak dan mineral yang banyak metode awalnya dikembangkan.

Perbaikan pada kedua presisi instrumen dan efisiensi komputasi telah membuat teknik listrik, seismik, gravitasi, magnetik, dan teknik lainnya cukup berhasil untuk menggambarkan permukaan bawah dangkal hingga resolusi yang diperlukan untuk mengatasi masalah rekayasa dan lingkungan. Beberapa metode yang dibahas dalam manual ini, seperti radar penetrasi darat magnetik (GPR), dan beberapa teknik elektromagnetik (EM), telah berhasil digunakan untuk

mendeteksi langsung sumur terkubur atau terbengkalai. Metode lain, seperti resistivitas, potensi diri (SP), sumber frekuensi radio-frekuensi yang dikendalikan (CSAMT), dan teknik bunyi elektromagnetik sementara (TEM), dapat menggambarkan wangi parine permukaan bawah atau kebocoran lubang bor lain yang mungkin merupakan satu-satunya bukti yang tersisa dari penetrasi lubang bor.

2.1.1 Survei Geofisika

Praktik geofisika menggunakan pengukuran medan potensi alamiah bumi, seperti gravitasi atau medan magnet, atau pengukuran respons bumi terhadap sumber energi terapan, seperti energi akustik, arus listrik, atau pulsa radar. Secara umum, variasi pengukuran ini di permukaan bumi mencerminkan perubahan sifat geometri dan material permukaan bawah permukaan. Dalam geofisika, pengukuran disebut sebagai 'data', dan sifat bawah permukaan yang dihitung sering disebut sebagai 'model' atau 'parameter model'. Konsep model adalah kunci untuk memahami kekuatan dan keterbatasan metode geofisika modern. Model adalah deskripsi terbaik dari permukaan bawah yang mengoptimalkan kesesuaian dengan data dengan batasan kelayakan. Tujuan survei geofisika yang paling utama adalah memperkirakan

model bawah permukaan yang paling sesuai dengan data yang diamati di permukaan, yang tunduk pada batasan tertentu. Ini dikenal sebagai masalah invers, dan solusinya (model) umumnya tidak unik. Oleh karena itu, model, atau gambar di bawah permukaan, harus diinterpretasikan oleh ahli geofisika dalam hal kemungkinan benda penyebab (yaitu, apa yang ada di tanah)

2.1.2 Sinyal Versus Kebisingan pada Data Geofisika

Penafsiran terbaik data geofisika sangat terkait dengan apa yang oleh ahli geofisika menafsirkannya sebagai sinyal versus yang dianggap sebagai suara bising. Dalam setiap survei geofisika, penting untuk dipahami bahwa "kebisingan" adalah istilah relatif. Semua anomali geofisika memiliki sumber; variasi dalam parameter survei terukur yang disebabkan oleh sumber bunga dianggap sebagai sinyal (misalnya, anomali karena sumur yang terkubur), semua sumber variasi lainnya mungkin dianggap kebisingan. Sinyal yang berkepentingan dengan satu metode, atau untuk satu target yang ditinggalkan dengan baik mungkin merupakan kebisingan di negara lain.

Sebagian besar survei geofisika yang dilakukan untuk sumur terbengkalai adalah survei 2-D, atau survei permukaan, di mana data dikumpulkan pada grid atau beberapa pola jalur traverse. Dalam jenis survei ini, kebisingan dapat dicirikan

sebagai koheren spasial atau spasial yang tidak koheren. Dua jenis kebisingan ini memiliki sifat yang sangat berbeda yang harus dipahami untuk melakukan survei dengan prosedur pengendalian kualitas terbaik, dan untuk menafsirkan data dengan pertimbangan sumber kebisingan yang tepat. Penting untuk diingat bahwa meskipun respons geofisika dari target tertentu dapat diprediksi, kebisingan, termasuk kondisi latar belakang setempat, juga menentukan pendeteksian target.

Kebisingan koheren secara spasial mungkin memiliki karakteristik spektral yang menyebabkannya terlihat seperti sinyal dari sumber yang diminati. Proses acak alami di bumi sering menghasilkan pola koheren spasial (misalnya awan, topografi, dll.). Instrumen yang pembacaannya melayang seiring waktu juga dapat menghasilkan kebisingan koheren secara spasial (karena cara data diperoleh secara teratur), seperti juga fitur budaya di situs survei. Kebisingan koheren secara spasial sulit dibedakan dari sinyal saat memproses dan menganalisis data geofisika, dan sangat penting untuk memahami semua sumber suara koheren yang dapat diidentifikasi yang ada di lokasi survei tertentu. Ini melibatkan pertimbangan semua informasi yang tersedia tentang penutupan tanah, air tanah, sedimen, litologi, struktur geologi, topografi, dan karakteristik vegetasi, serta lokasi dan

karakteristik fitur budaya seperti jaringan pipa, tiang listrik, struktur, dan puing di lokasi.

Secara spasial tidak koheren, terkadang disebut noise "putih", lebih mudah dikenali dan penyaringan sederhana seringkali bisa menekan jenis kebisingan ini. Suara yang tidak koheren seperti suara statis di layar televisi; itu tidak memiliki pola yang jelas untuk itu. Kebisingan instrumen, kesalahan presisi pengukuran, dan kesalahan penentuan posisi survei sering menghasilkan suara tidak koheren spasial, atau obrolan, dalam data geofisika. Pemeriksaan fungsi kontrol kualitas prosedur survei harus dilaksanakan dalam survei geofisika manapun untuk membantu mengidentifikasi kebisingan yang tidak koheren dalam data.

2.1.3 Pentingnya Interpretasi Terpadu Data Geofisika

Karena ambiguitas inheren dalam model bumi yang diperoleh dari data geofisika, pentingnya pendekatan terpadu untuk penyelidikan geofisika tidak dapat terlalu ditekankan. Semua informasi yang diketahui mengenai permukaan dan sifat bawah permukaan di suatu lokasi harus digunakan untuk memandu pemilihan batasan parameter, model, dan berbagai kemungkinan interpretasi. Juga, dua atau lebih kumpulan data geofisika independen, yang sensitif terhadap sifat tanah dan faktor kebisingan yang berbeda, dapat meningkatkan

keakuratan model bumi. Untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan, interpretasi gabungan dua kumpulan data geofisika independen akan sangat meningkatkan kesempatan untuk berhasil mengidentifikasi sumur yang terkubur. Paine dkk. (1997) dan Takata et al. (2001) memberikan contoh yang bagus tentang bagaimana pendekatan geofisika terpadu dapat dimanfaatkan untuk memenuhi tujuan survei wilayah yang luas untuk sumur terlantar atau target serupa.

Bagian manual berikut terdiri dari ikhtisar teknis dari berbagai metode geofisika yang diidentifikasi berpotensi untuk pencarian yang baik. Metode ini dibagi menjadi metode magnetik, metode elektromagnetik dan elektromagnetik (EM), dan metode ground-penetrating radar (GPR). Metode elektrikal dan EM selanjutnya dibagi menjadi resistivitas, self-potential (SP), waktu dan frekuensi domain EM (TDEM dan FDEM), dan metode sumber frekwensi radiootel frekuensi (CSAMT) sumber terkontrol. Semua metode yang disajikan dalam buku petunjuk ini berpotensi berguna untuk pencarian yang baik.

Dalam setiap deskripsi metode geofisika, sebuah pernyataan ikhtisar singkat singkat menggambarkan tujuan utama, dalam hal pencarian baik yang ditinggalkan. Dasar fisik dan metodologi survei dari metode ini dibahas. Penerapan spesifik terhadap riwayat pencarian dan riwayat kasus yang

ditinggalkan segera disajikan selanjutnya. Akhirnya, perkiraan waktu dan biaya diberikan diikuti oleh daftar referensi terpilih yang berlaku untuk setiap metode spesifik. Meskipun panduan ini menyajikan berbagai metode secara individual untuk kemudahan referensi, pembaca harus mengingat bahwa pendekatan yang mengintegrasikan lebih dari satu metode geofisika mungkin lebih efektif memenuhi sasaran survei dari penelusuran sumur yang ditinggalkan.

2.2 Metode Magnetik

2.2.1 Pendahuluan

Metode magnetik adalah salah satu metode survei geofisika tertua. Telah digunakan selama beberapa dekade di industri mineral dan perminyakan untuk memetakan tren basement geologi, kesalahan, dan prospek mineral atau minyak bumi. Metode magnetik telah digunakan dalam beberapa tahun terakhir untuk berbagai aplikasi teknik dan lingkungan termasuk menemukan sumur terbengkalai, tangki yang dikuburkan, jaringan pipa, dan persenjataan yang tidak meledak; menggali lubang, parit dan tempat pembuangan akhir yang berisi puing-puing logam; dan pemetaan situs arkeologi, geologi dangkal, dan tanah.

Metode magnetik relatif cepat dan hemat biaya dibandingkan dengan metode geofisika lainnya, dan memiliki rekam jejak yang terbukti untuk menemukan sumur terbengkalai. Dalam kebanyakan kasus, alat ini harus dipertimbangkan sebagai alat utama yang harus dipekerjakan sebelum metode lain diterapkan, terutama jika sumur kompeten yang dicari baja dicurigai.

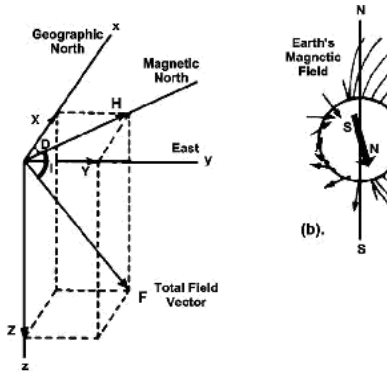
2.2.2 Dasar Fisik

2.2.2.1 Medan Magnetik Bumi

Medan magnet bumi dianggap berasal dari gerakan fluida di inti luar konduktif yang mungkin digabungkan ke sel konveksi termal yang didorong di dalam mantel. Lapangan ini dimanifestasikan sebagai lapangan dipolar yang bervariasi dengan mudah dengan kutub magnet selatan dan utara yang sejajar dengan kutub utara dan selatan bumi. Medan magnet bumi adalah medan vektor, ditentukan pada lokasi tertentu dengan magnitudo gaya magnet (intensitas medan total) dan arahnya. Deklinasi (sudut antara utara dan utara geografis) dan kemiringan (sudut kemiringan) menggambarkan arah medan pada titik tertentu (Gambar 2-1). Intensitas lapangan total biasanya diberikan dalam satuan nanoTeslas (nT) atau Gammas (Tabel 2-1). Selama AS yang berdegup kencang, intensitas lapangan total bervariasi dari sekitar 48.000 sampai

60.000 nT, deklinasi bervariasi dari sekitar 20 derajat ke timur dari utara geografis sampai sekitar 20 derajat di sebelah barat utara, dan kecenderungannya bervariasi dari sekitar 52 sampai 72 derajat dari bidang horizontal .

Medan magnet bumi tidak konstan pada waktunya. Gerakan partikel terionisasi yang tinggi di atmosfer menciptakan arus listrik tidak teratur yang menginduksi medan magnet sekunder. Perubahan harian ini disebut variasi diurnal. Amplitudo variasi diurnal berkisar antara 20 nT sampai 50 nT pada siklus harian. Badai magnetik akibat aktivitas berjemur sering menyebabkan gangguan ekstrim di medan magnet selama periode beberapa hari sampai minggu. Selanjutnya, variasi lapangan sekuler (jangka panjang) terjadi selama periode bertahun-tahun sampai ribuan tahun. Untuk alasan yang tidak sepenuhnya jelas, medan magnet telah berubah polaritasnya, juga berkali-kali sepanjang sejarah bumi.



(a).

Gambar 2-1. (a). Diagram skematik komponen vektor medan magnet bumi di permukaan di utara, midlatitudes: D, deklinasi; I, kecenderungan; H, komponen horisontal; Z, komponen vertikal; F, vektor bidang total. (b). Diagram skematik medan dipolar bumi (dimodifikasi setelah Hinze, 1990).

2.2.2.2 Sifat Magnetik Bahan

Bumi alami dan bahan buatan manusia mungkin bersifat non-magnetik, atau mungkin menunjukkan jumlah magnetisasi yang bervariasi. Ada dua tipe dasar magnetisasi: diinduksi dan permanen, kadang disebut sebagai sisa. Magnetisasi total suatu benda adalah jumlah komponen yang diinduksi dan komponen permanen. Magnetisasi yang diinduksi pada material disebabkan oleh pelurusan preferensial mineral magnetik sebagai hasil penempatan material di medan magnet bumi.

Sebuah properti material yang disebut kerentanan magnetik bertanggung jawab atas sejauh mana material dapat dimagnetisasi oleh medan magnet induksi. Permanen, atau sisa, magnetisasi adalah milik beberapa bahan untuk mempertahankan magnetisasi tanpa adanya medan magnet (contohnya adalah magnet batang yang umum).

Kerentanan magnetik batuan dan tanah terutama bergantung pada jumlah magnetit mineral bantalan besi yang ada. Magnetit adalah mineral aksesori umum pada batuan beku dan metamorf, dan ditemukan dalam jumlah jejak dalam sedimen dan batuan sedimen. Benda buatan besi, seperti casing sumur modern, umumnya memiliki suseptibilitas magnetik beberapa tatanan lebih besar dari pada bahan alami. Kerentanan magnetik, k , adalah bilangan tak berdimensi dalam satuan sentimeter-gram-detik (cgs). Kerentanan magnetik sangat bervariasi dan dapat berkisar dari banyak pesanan dengan bahan yang serupa. Rentang kerawanan yang umum untuk berbagai batuan, sedimen, dan bahan buatan manusia.

2.2.2.3 Anomali Magnetik

Metode magnetik melibatkan pengukuran beberapa komponen medan magnet di dekat permukaan bumi. Variasi spasial kecil dalam bentuk medan di dekat permukaan bumi

mencerminkan kondisi di bawah permukaan. Variasi lokal ini, berkenaan dengan komponen regional yang bervariasi, disebut sebagai anomali magnetik. Delineasi dan interpretasi sumber anomali magnetik adalah tujuan utama survei paling magnetik.

Anomali magnetik disebabkan oleh magnet induksi dan permanen material bawah permukaan. Bentuk, dimensi, dan amplitudo anomali magnetik induksi adalah fungsi dari orientasi, geometri, ukuran, kedalaman, dan kerentanan magnetik tubuh serta intensitas dan kecenderungan medan bumi di lokasi survei.

Anomali magnetik dihasilkan hanya jika ada variasi lateral pada kerentanan magnetik, yaitu kontras suseptibilitas yang menyebabkan anomali. Karena medan bumi dipolar, bentuk anomali magnetik karena sumber tertentu akan bervariasi dengan garis lintang. Di pertengahan garis lintang utara seperti A.S. yang berdenyut, anomali magnetik lokal umumnya memiliki lobus utara negatif kecil dan lobus positif selatan yang lebih besar (Gambar 2-2). Bentuk anomali juga akan bervariasi tergantung kedalaman (atau jarak dari titik pengukuran). Amplitudo anomali akan menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman sumber, dan panjang gelombang anomali akan meningkat dengan bertambahnya kedalaman

sumber. Amplitudo anomali magnetik jatuh cepat dengan kedalaman, atau jarak dari magnetometer ke objek:

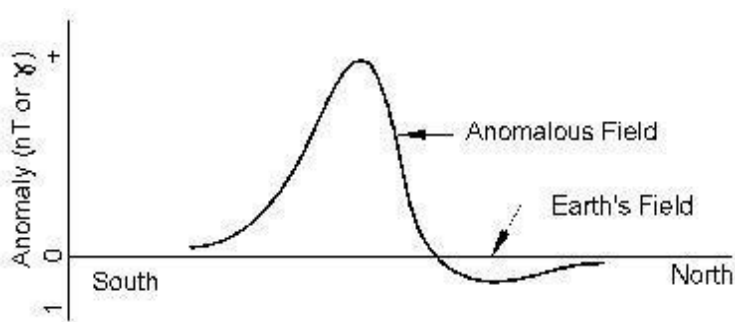
Intensitas total, T , karena sumber dipolar: $T \propto 2M/r^3$

Intensitas total, T , karena sumber monopolar: $T \propto M/r^2$

Dimana T adalah intensitas medan total, r adalah jarak ke kutub atau dipol, dan M adalah momen magnetik (momen magnetik sebanding dengan kerentanan magnetik dan intensitas medan induksi).

Untuk keperluan pencarian magnetik, banyak objek dapat diperkirakan sebagai dipol magnet atau, dalam kasus casing baja yang meluas ke kedalaman, magnet monopole untuk kemudahan pemodelan, ahli geofisika biasanya berasumsi bahwa anomali sepenuhnya disebabkan oleh magnetisme yang diinduksi. Namun, untuk casing yang baik, ada kemungkinan ada komponen permanen permanen yang dapat mempersulit pemodelan sumber. Namun, anomali karena selubung sumur umumnya cukup tajam dan besar dalam amplitudo, dan karena pendeteksian, bukan pemodelan kuantitatif, merupakan perhatian utama untuk penelusuran magnetik, ini bukan masalah.

Dalam prakteknya, intensitas medan total yang diukur dengan magnetometer adalah jumlah medan magnet bumi dan bahwa karena sumber lainnya. Anomali magnetik mewakili efek kumulatif dari banyak sumber pada kedalaman variabel. Ahli geofisika menggunakan berbagai prosedur pemrosesan sinyal untuk menganalisis data magnetik dan memisahkan anomali yang diminati.



Gambar 2-2. Skema kurva anomali total medan di atas sumber dipol magnetik di utara, midlatitudes (setelah Hinze, 1990).

2.2.3 Metode Survei

2.2.3.1 Magnetometer

Sebuah magnetometer digunakan untuk mengukur intensitas total medan magnet, atau beberapa komponen di lapangan. Sebagian besar magnetometer yang digunakan saat ini terdiri dari tiga tipe dasar: presesi proton, fluks-gerbang, dan uap alkali, kadang-kadang disebut magnetometer dengan

pompa optik. Magnetometer yang paling umum digunakan untuk tanah dan survei magnetik udara adalah magnetometer presipitasi proton dan magnetometer uap alkali.

Magnetometer presenter proton hanya mengukur intensitas medan total dan tidak bergantung pada orientasi. Sensitivitas instrumen modern ada pada urutan 0,1 nT. Magnetometer presesi Proton tidak memberikan pengukuran kontinu yang benar dengan waktu, namun banyak yang dapat beroperasi pada tingkat sampel setinggi 10 Hz. Magnetometer presesi proton sangat sensitif terhadap pengaruh mengganggu sumber daya AC dan gradien magnetik besar.

Uap alkali, atau optik yang dipompa, umumnya magnetometer yang paling sensitif, mampu mencapai ketepatan satu atau lebih pesanan dengan besaran kurang dari 1 nT. Mereka umumnya digunakan untuk pengukuran udara dari medan magnet total. Magnetometer yang dipompa secara optik umumnya merupakan tipe sensor magnetik yang paling mahal.

Kurang umum digunakan untuk survei geofisika adalah magnetometer fluks-gerbang. Flux-gate magnetometer diarahkan secara terarah, yaitu mereka harus berorientasi pada arah vektor medan magnet. Ini adalah kerugian, karena persyaratan tambahan untuk orientasi sensor, dan juga keuntungan karena komponen horizontal dan vertikal, serta intensitas total, medan magnet dapat diatasi. Sensitivitas magnetometer gerbang fluks umumnya pada urutan 1 nT.

2.3.3.2 Prosedur Survei

Survei magnetik dapat dilakukan baik sebagai survei darat atau dari pesawat terbang sayap tetap atau helikopter. Survei darat biasanya dilakukan dengan alat portabel yang dibawa dengan tangan sepanjang garis sejajar lurus sehingga operator mencakup area survei secara sistematis (Gambar 2-3). Survei aeromagnetik dilakukan dari pesawat terbang pada ketinggian tetap atau jarak tetap di atas permukaan tanah (Gambar 2-4).

Banyak model magnetometer model terbaru secara otomatis memperoleh data pada tingkat antara 1 dan 10 Hz, dan dapat mengintegrasikan data lokasi GPS (Global Positioning System) RTK (Real Time Kinematic) secara otomatis dengan data magnetik secara real-time. Jarak sepanjang garis (atau sample rate) dan jarak antar stasiun jarak

jauh didasarkan pada sasaran survei dan ukuran anomali yang diharapkan.

Untuk pencarian sumur yang ditinggalkan dengan menggunakan metode ground magnetic, line atau transect spacing harus tidak lebih dari sekitar 20 sampai 30 kaki, dan berorientasi ke utara-selatan tanpa adanya informasi yang mendikte sebaliknya. Dengan magnetometer dan instrumen GPS terkini, stasiun, atau jarak in-line, jarak dapat dengan mudah dicapai pada selang waktu 1 ft atau kurang dengan menggunakan kemampuan pengambilan sampel dan penempatan otomatis. Sebuah survei aeromagnetik pengintaian yang mencari anomali panjang gelombang pendek yang terlokalisasi karena selubung sumur, dapat menggunakan jarak garis terbang pada urutan 50 sampai 100 kaki.

Data survei magnetik dapat diperoleh baik pada medan total, gradien vertikal, atau mode gradien horisontal. Untuk pengukuran gradien, dua magnetometer ditempatkan berdekatan secara horisontal, atau berdekatan secara vertikal satu sama lain, dengan jarak pemisahan beberapa kaki atau lebih. Pengukuran gradien dapat memberikan resolusi yang lebih baik dari sumber yang sangat dangkal dan terlokalisasi. Mereka tidak peka terhadap variasi waktu di medan magnet dan variasi geologi regional dalam sifat magnetik. Pengukuran

gradien yang dilakukan di dekat permukaan tanah, bagaimanapun, biasanya lebih rentan terhadap kontaminasi kebisingan daripada pengukuran lapangan total. Survei magnetik yang paling berhasil untuk menemukan sumur terlantar sampai saat ini telah menggunakan pengukuran intensitas lapangan total, bukan pengukuran gradien.

Kontrol prosedural yang paling penting yang membantu memastikan data magnetik berkualitas baik meliputi penghindaran bahan magnetik pada atau di dekat magnetometer (termasuk pakaian atau barang pribadi pada operator), pendeteksian berkala dari stasiun base lokal untuk memastikan pengulangan pengukuran, kontinyu pemantauan variasi diurnal, dan di beberapa lingkungan, penentuan posisi magnetometer yang hati-hati cukup tinggi untuk menghindari gradien magnetik tinggi di dekat tanah. Dalam survei magnet darat yang menggunakan receiver GPS untuk penentuan posisi, perlu juga memastikan bahwa instrumentasi penerima GPS tidak mempengaruhi pembacaan magnet.



Gambar 2-3. Sebuah magnetometer darat portabel Magnometri 858 Mag Mapper dengan sistem penentuan posisi GPS Trimble terpadu (courtesy of Geometrics).



Gambar 2-4. Helikopter bertenaga helikopter milik Fugro ditransmisikan melalui sistem sensor magnetik (berdasarkan Survei Fugro Airborne).

2.3.3.3 Pengolahan Data dan Interpretasi

Langkah pengolahan data umumnya mencakup integrasi dengan data penentuan posisi, mengoreksi variasi diurnal, penyaringan, dan persiapan peta kontur untuk presentasi dan interpretasi. Pengendalian kualitas dilakukan pada berbagai tahap pengolahan data dan mencakup pengecekan terhadap data putus sekolah, keterulangan, dan hubungan garis survei (kesepakatan data pada persimpangan jalur). Untuk survei magnetik tanah, koreksi diurnal biasanya dilakukan dengan memantau stasiun pangkalan magnet di daerah tersebut secara terus menerus atau berkala selama survei berlangsung. Untuk survei di udara, faktor drift diurnal dan waktu bergantung lainnya dikeluarkan dari data dengan menyesuaikan ikatan jalur penerbangan, biasanya dengan metode kuadrat terbaik, paling tidak kuadrat. Koreksi untuk ketinggian pesawat terbang, orientasi, dan penyaringan low-pass sinyal domain waktu biasanya diperlukan dalam memproses data aeromagnetik.

Setelah langkah-langkah pengolahan data awal selesai, berbagai teknik penyaringan 2-D dapat diterapkan untuk meningkatkan interpretasi data. Pemindahan daerah, penyaringan pita-spasial, penyaringan derivatif dan gradien, dan pengurangan-ke-tiang adalah beberapa jenis pemrosesan

sinyal yang biasa diterapkan pada data magnetik. Data kemudian ditampilkan sebagai tampilan rencana, peta kontur warna menunjukkan luas intensitas total konstan. Sangat sering produk akhir akan menjadi peta 'residual' yang merupakan peta intensitas magnetik yang telah disaring secara spasial untuk menghilangkan tren regional sehingga anomali lokal diterangi. Peta diinterpretasikan bersama dengan informasi kontrol apa pun seperti fitur budaya yang terkenal untuk tren dan kemungkinan sumber anomali.

2.2.4 Penerapan

2.2.4.1 Kepekaan

Tiga faktor terpenting yang mempengaruhi pendeteksian sumur yang ditinggalkan menggunakan metode magnetik adalah kedalaman (atau jarak antara magnetometer dan puncak casing sumur, massa bahan feromagnetik yang terkait dengan sumur (yaitu berapa banyak casing yang tersisa), dan tingkat kebisingan magnetik latar belakang karena fitur geologi dan budaya Sedimen, tanah, batuan sedimen, air asin, air tawar dan udara biasanya memiliki tanda tangan magnetik yang tidak signifikan bila dibandingkan dengan yang diharapkan dari sumur baja atau sumur tutup, namun ada adalah pengecualian penting, terutama di sekitar sedimen permukaan dekat yang

sangat magnetik.

2.2.4.2 Target Terkait

Bahan konstruksi baik yang bisa dideteksi dengan menggunakan metode magnetik hanya mencakup casing baja atau sambungan baja. Karena magnetometer hanya mendeteksi sumber logam ferrous, sumur terlantar yang tidak ditutup, atau sumur yang lebih tua dengan bahan casing lainnya, seperti kayu, tidak akan terdeteksi. Baja atau besi teroksidasi yang sangat terdegradasi biasanya tidak terdeteksi dengan metode magnetik, tergantung pada tingkat degradasi. Sasaran yang terdiri dari besi atau baja adalah satu-satunya target praktis untuk metode ini (kecuali pengecualian rongga yang dibahas di bawah). Bahan lainnya, termasuk stainless steel (300 series) (Breiner, 1973), biasanya bisa dianggap non magnetik untuk aplikasi ini.

Rongga bawah permukaan di sekitar lubang sumur dapat dideteksi dengan survei magnetik tanah dengan resolusi tinggi yang diberi kondisi geologis tertentu. Kondisi pertama mensyaratkan bahwa rongga cukup besar dan dangkal secara mendalam (misalnya ukuran rongga pada orde puluhan sampai ratusan kaki dalam dimensi; kedalaman dalam kisaran puluhan sampai beberapa ratus kaki, tergantung pada ukuran rongga). Kondisi kedua mensyaratkan bahwa batuan di sekitarnya

memiliki kerentanan magnetik sedang atau tinggi, sehingga ada perbedaan kerentanan yang signifikan antara itu dan gua yang dipenuhi udara yang memiliki nol terhadap kerentanan yang tidak berarti.

Dalam beberapa kasus, pendeteksian struktur dan puing yang berhubungan dengan baik dapat membantu mengarahkan atau memperbaiki usaha pencarian untuk lubang bor yang sebenarnya. Namun dalam kebanyakan survei magnetik, sinyal karena fitur budaya bermasalah, dan dapat menyebabkan tingkat kelangkaan palsu yang tinggi. Kebisingan budaya semacam itu mungkin mencakup saluran listrik, bangunan, pagar, jaringan pipa, beton bertulang, pipa, atau baja dan puing besi baik di dalam maupun di tanah. Di daerah dengan sejumlah besar kebisingan budaya, anomali casing yang baik mungkin terkontaminasi oleh sejumlah gangguan yang signifikan, dan kemungkinan pendeteksian palsu meningkat. Kondisi geologi sekitarnya juga harus dipertimbangkan saat menafsirkan anomali magnetik di area pencarian. Variasi magnetisasi batuan di dekat permukaan dapat menyebabkan anomali serupa dengan yang disebabkan oleh selubung sumur.

2.2.4.3 Keuntungan dan kerugian

Keuntungan dan kerugian dari metode magnetik untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan dirangkum di bawah ini.

Keuntungan:

1. Metode ini dapat menemukan sumur yang dikuburkan yang tidak lagi memiliki bukti permukaan.
2. Metode aeromagnetik dapat memberikan cakupan area yang luas dan cepat untuk pengintaian menggunakan sistem sayap tetap rendah, atau medan dataran rendah mengikuti sistem helikopter.
3. Akuisisi dan perolehan data dapat diperoleh secara relatif cepat dengan menggunakan metode ground magnetic.
4. Modern, secara otomatis merekam magnetometer darat dengan GPS real-time untuk penentuan posisi dapat mencakup area lokal dengan resolusi yang cukup untuk menemukan celah sumur dalam beberapa kaki.
5. Metode ini termasuk teknik survei geofisika dengan biaya lebih rendah.

Kekurangan:

1. Hanya casing sumur logam besi, seperti baja, yang bisa dideteksi.
2. Sejumlah kecil casing atau persendian, atau casing yang sangat dalam, tidak dapat dideteksi.
3. Di beberapa daerah, kebisingan magnetik budaya akibat bangunan, jaringan pipa, dan puing-puing, atau anomali karena mineral magnetik yang terjadi secara alami di

batuan, sedimen, atau tanah di permukaan dekat, dapat menyebabkan pendeteksian palsu atau mengganggu pengakuan anomali casing yang terkubur.

4. Sebagian besar institusi komersial dan publik akan memerlukan bantuan teknis untuk melakukan, memproses, dan berhasil menafsirkan data dari survei magnetik.

2.3 Pengantar Metode Listrik dan Elektromagnetik

Dasar untuk semua metode elektromagnetik dan elektromagnetik (EM) adalah respons bumi terhadap medan elektromagnetik terapan atau alami. Metode listrik yang dibahas dalam manual ini mencakup metode resistivitas dan self-potential (SP). Metode listrik ini didasarkan pada pengukuran potensi di permukaan bumi sebagai respons terhadap arus listrik alami atau terapan di dalam tanah. Dalam resistivitas dan sebagian besar metode listrik lainnya (tidak termasuk metode SP), sumber energi adalah arus bolak-balik frekuensi langsung atau rendah yang dikirim ke tanah melalui dipol. Dipol, dalam survei listrik, adalah pasang elektroda yang dihubungkan oleh kawat konduktor terisolasi yang digunakan untuk menghasilkan atau mendeteksi voltase listrik.

Metode EM yang disajikan dalam manual ini mencakup

metode EM frekuensi waktu dan frekuensi. (Metode sumber frekuensi radio-frekuensi yang dikontrol ketat (CSAMT) telah disajikan secara terpisah dari metode EM lainnya karena sangat berbeda dalam cara survei dilaksanakan). Dengan metode EM, sumber energi paling umum terdiri dari lingkaran tertutup kawat dimana arus bolak-balik arus (walaupun dalam beberapa kasus, seperti metode CSAMT, ini bisa menjadi sumber dipol). Dalam metode EM, arus pemancar menghasilkan medan magnet. Medan magnet adalah energizer dalam metode elektromagnetik, berlawanan dengan arus listrik dalam metode listrik.

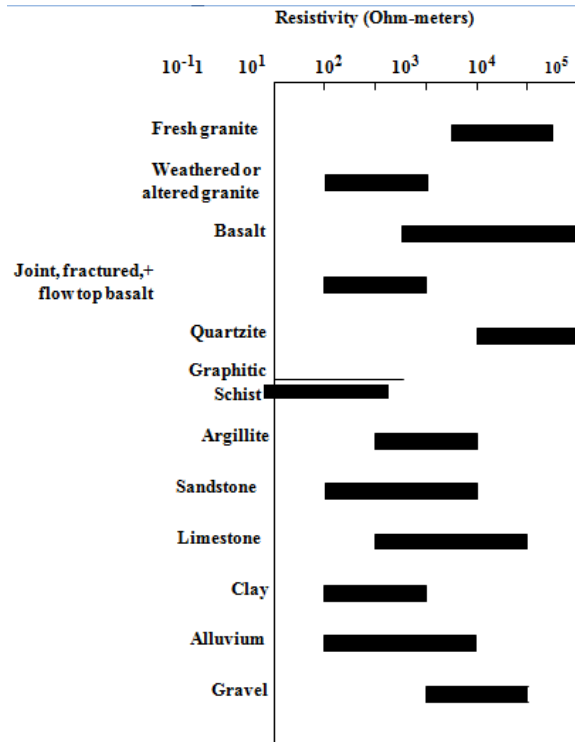
Ada perbedaan mendasar dalam respon yang diinginkan dari bumi dengan kedua metode ini: dalam metode EM, respons induktif diinginkan (lihat "induksi elektromagnetik" di bawah), dan pada metode elektrik efek induksi EM dianggap sebagai noise dan ini adalah respons galvanik yang diinginkan.

2.3.1 Resistivitas dan Konduktivitas Batu

Dalam kebanyakan metode elektromagnetik dan elektrik, properti utama yang diminati adalah konduktivitas listrik material di bumi. Konduktivitas, σ , adalah kemampuan material untuk melakukan arus listrik. Batu dan tanah sering digambarkan oleh properti terkait yang disebut resistivitas, ρ ,

yang merupakan resiprokal konduktivitas. Resistivitas analog dengan resistansi pada rangkaian listrik sederhana, kecuali resistivitas yang melekat pada material bulk.

Faktor utama yang mengendalikan resistivitas batuan dan sedimen adalah porositas, saturasi, dan kandungan fluida pori. Air murni bukanlah konduktor listrik yang sangat baik; Namun, garam terlarut, meski dalam jumlah kecil, sangat meningkatkan konduktivitas. Karena kebanyakan air tanah mengandung senyawa terlarut, porositas dan saturasi cenderung mendominasi pengukuran resistivitas listrik. Untuk alasan ini, penggambaran zona jenuh fluida, atau intrusi air asin yang sangat konduktif ke daerah perairan yang lebih segar merupakan sasaran umum dari banyak survei elektromagnetik dan elektrik. Meski tidak berpori, tanah liat juga sangat konduktif (resistivitas rendah). Resistivitas material tanah sangat bervariasi dan dapat berkisar beberapa kali lipat, seperti yang digambarkan oleh Gambar 2-5.



Gambar 2-5. Rentang khas resistivitas batuan dan sedimen (dimodifikasi setelahnya Ward, 1990). Sebagai perbandingan, resistivitas air laut sekitar 0,2 Ohm-meter; resistivitas air tanah berkisar antara 0,5 - 300 Ohm-meter, biasanya di kisaran 10 - 100 Ohm-meter.

2.3.2 Induksi elektromagnetik

Metode eksplorasi elektromagnetik (EM) didasarkan pada fenomena induksi elektromagnetik. Biasanya, medan elektromagnetik yang dihasilkan secara artifisial menghasilkan

energi sumber, dan metode ini digunakan untuk menentukan sifat konduktivitas permukaan bawah permukaan. Induksi elektromagnetik adalah proses dimana arus listrik dihasilkan pada bahan konduktif saat ditempatkan di medan elektromagnetik.

Jika arus listrik variabel waktu dihasilkan oleh pemancar di permukaan bumi (baik loop kawat atau grounded dipole listrik), medan magnet primer yang sesuai dengan frekuensi dan fase yang sama diatur. Medan magnet primer dapat menembus bahan atau benda konduktif di permukaan bawah bumi. Bila ini terjadi, sekunder, atau eddy, arus akan mengalir di konduktor bawah permukaan. Arus eddy pada gilirannya membentuk medan magnet sekunder yang garis gayanya melawan medan magnet utama. Oleh karena itu, tempat tubuh konduktif diberi energi oleh dua bidang: bidang utama dari pemancar dan medan sekunder karena arus eddy yang diinduksi. Bila karakteristik bidang yang ditransmisikan diketahui (seperti orientasi, frekuensi, amplitudo, dan fase), maka perubahan karakteristik lapangan yang diukur di lokasi penerima dapat mengindikasikan bahwa arus induksi mengalir

di tanah (setelah koreksi tertentu terjadi dibuat untuk geometri, atenuasi, dll.). Ini adalah dasar dimana struktur konduktivitas (atau struktur resistivitas) dari permukaan bawah diperkirakan.

Perhatikan bahwa seperti semua model yang dihitung dari data geofisika, struktur konduktivitas yang ditentukan oleh metode EM tidak ditentukan secara unik; Ini adalah perkiraan paling tepat dari model permukaan bawah yang mungkin yang akan menghasilkan data yang diamati di permukaan. Ini adalah konsep penting yang perlu diingat untuk teknik seperti CSAMT atau teknik lainnya di mana produk akhir adalah model struktur resistivitas bawah permukaan. Untuk teknik EM yang digunakan hanya untuk mendeteksi konduktor bawah permukaan (misalnya, sistem loop kecil yang cepat seperti sistem EM-61, GEM-3, atau NanoTEM), dan bukan karakterisasinya, titik ini kurang signifikan.

2.3.3 Metode Resistivitas

2.3.3.1 Pendahuluan

Metode resistivitas adalah teknik kelistrikan yang sangat cocok untuk mengidentifikasi bulu asin atau kebocoran cairan lainnya yang mungkin berasal dari sumur yang ditinggalkan. Tujuan survei dalam kasus ini adalah untuk menemukan sumber cendawan, yang mungkin berasal dari lubang bor yang

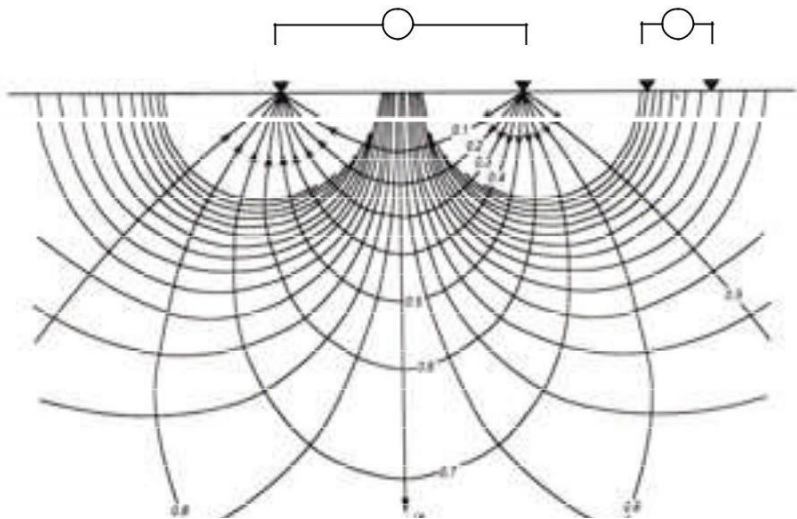
tidak dapat disambungkan atau bocor yang tidak benar. Karena ini adalah metode profiling yang mendalam, tidak tepat untuk pencarian area luas untuk bahan konstruksi sumur tertentu seperti casing atau jaringan pipa, walaupun keduanya dapat menyebabkan anomali pada data resistivitas.

Metode resistivitas telah digunakan selama beberapa dekade untuk eksplorasi minyak bumi, pertambangan, dan panas bumi. Dalam beberapa tahun terakhir, telah digunakan untuk berbagai aplikasi geoteknik dan lingkungan. Banyak yang berhubungan dengan air tanah: studi penggambaran air tanah, evaluasi, perlindungan, kontaminasi dan pelacak adalah aplikasi umum dari metode resistivitas. Ini juga telah digunakan untuk pemetaan geologi, terowongan, rongga, bahan terkubur dangkal, tempat pembuangan sampah, arkeologi, air asin serbuan, dan untuk studi tentang penghasinan tanah, evaluasi lokasi, integritas bendungan, dan tanah longsor.

2.3.3.2 Dasar Fisik

Tujuan utama dari survei resistivitas listrik adalah untuk menentukan resistivitas nyata dari tanah dan batuan sebagai fungsi kedalaman dan posisi. Dalam metode resistivitas, arus searah arus searah atau arus searah arus diterapkan ke bumi melalui sepasang elektroda dan perbedaan potensial diukur di dua elektroda penerima (Gambar 2-6). Entah arus AC arus

searah atau arus frekuensi rendah digunakan untuk menghindari efek dari induksi elektromagnetik yang, tidak seperti metode elektromagnetik, tidak diinginkan dalam kasus ini. Pasangan elektroda dalam survei resistivitas disebut sebagai dipol (dipol, dalam survei kelistrikan, adalah sepasang elektroda yang dihubungkan oleh kawat konduktor terisolasi yang digunakan untuk menghasilkan atau mendeteksi voltase listrik).



Gambar 2-6. Distribusi jalur arus dan potensial untuk dua elektroda saat ini di permukaan bumi sederhana dan homogen. Garis saat ini mewakili permukaan tabung yang masing-masing membawa sepersepuluh dari arus. Perhatikan bahwa sekitar

50% arus dibawa dalam kisaran kedalaman kira-kira sama dengan jarak pemisahan antara elektroda arus. Karena arus dan potensi dipol dipindahkan lebih jauh, jalur saat ini akan meluas lebih dalam; Namun, arus masukan lebih banyak diperlukan untuk mendapatkan sinyal terukur. (Gambar dimodifikasi setelah Ward, 1990).

Rasio output tegangan pada dipol penerima terhadap masukan arus pada dipol transmisi disebut sebagai impedansi listrik. Resistivitas nyata dari tanah kemudian dihitung dari impedansi dengan penskalaan oleh faktor koreksi yang menjelaskan geometri survei (khusus untuk jarak elektroda dan jenis array yang digunakan). Resistivitas yang tampak jelas adalah resistivitas rata-rata semua tanah dan batuan yang mempengaruhi aliran arus sepanjang jalur tertentu, dan dengan demikian agak berbeda dari resistivitas sebenarnya dari bahan. Resistansi resistif yang dihitung dari bumi, pada lokasi yang ditentukan oleh geometri dan pemisahan pemancar listrik transmisi dan penerimaan, terkait dengan amplitudo, atau komponen nyata, dari impedansi.

Pengukuran lain yang dapat dilakukan bersamaan dengan menggunakan peralatan yang lebih canggih daripada yang digunakan untuk survei resistivitas saja, terkait dengan fase, atau komponen imajiner, impedansi. Pengukuran ini berkaitan

dengan efek polarisasi induksi (IP), ukuran kemampuan bumi untuk melakukan polarisasi pada antarmuka dan dengan demikian mempertahankan muatan untuk beberapa saat setelah arus dimatikan (lihat Lampiran A). Resistivitas dan data IP sangat sering diperoleh bersamaan, karena IP dapat menghasilkan informasi tambahan mengenai material bawah permukaan. Sehubungan dengan pencarian sumur yang ditinggalkan, data IP mungkin tidak menghasilkan informasi diagnostik lebih banyak daripada resistivitas saja, terutama jika target utamanya adalah air asin (lihat Lampiran A).

2.3.3.3 Metode Survei

A. Prosedur dan Instrumen Survei

Survei resistivitas dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai teknik logistik termasuk yang mendalam, profil lateral, atau kombinasi. Dalam resistivitas yang terdengar, jarak antara pemancar saat ini (transmisi) dan potensial (penerima) diperluas secara teratur antara pembacaan, sehingga 'terdengar' untuk meningkatkan kedalaman dengan pemisahan dipol yang meningkat. Seluruh rangkaian kemudian dapat dipindahkan secara lateral di sepanjang garis (atau saluran berbeda yang digunakan dalam sistem multichannel) untuk mendapatkan kedalaman suara yang terdengar dan citra profil permukaan

bawah (model penampang resistivitas). Metode resistivitas pada umumnya terdiri dari serangkaian array survei dan metodologi yang berbeda. Beberapa di antaranya adalah tiang-dipol, dipol-dipol, Schlumberger, dan array Wenner.

Tomografi hambatan listrik (ERT) adalah jenis survei resistivitas di mana seluruh rangkaian pemancar dan pemancar dipol digunakan untuk menghasilkan citra permukaan dengan resolusi tinggi di antara dua susunan. Hal ini biasanya dilakukan baik di antara dua array dipol di permukaan, di antara array dipole lubang bor dan sebuah array di tanah, atau di antara susunan dipol di dua lubang bor terpisah. Sementara ERT cukup mahal karena logistik survei dan prosedur pengolahan data yang lebih kompleks, penggunaan metode

ERT akan dibenarkan saat menemukan sumber, atau memantau kemajuan dari hujan yang berhubungan dengan baik sangat penting. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan resistivitas selang waktu dan survei ERT telah menjadi sangat umum, terutama untuk memantau perkembangan air asin atau kontaminan lainnya.

B. Instrumen Resistivitas

Komponen dasar yang diperlukan untuk survei resistivitas meliputi sumber arus, ammeter, alat pengukur potensial yang serupa dengan voltmeter, elektroda, kabel kawat berisolasi, dan instrumen penentuan posisi untuk merekam lokasi elektroda. Sistem survey resistivitas yang lengkap dijual secara komersial. Meski tidak rumit, mereka umumnya membutuhkan teknisi geofisika atau geofisika yang berpengalaman untuk beroperasi dengan baik. Survei skala besar dimana kedalaman penyelidikan lebih besar dari sekitar 5 meter membutuhkan peralatan dengan dipol beberapa meter sampai beberapa ratus meter panjangnya. Ini diletakkan sepanjang spread linier yang panjang. Penerima geofisika pusat mengontrol di mana arus diarahkan dan mencatat arus dan potensi pada dipol yang dipancarkan. Sistem lain yang tersedia di mana sistem tarik-menarik portabel ditarik di tanah di

belakang kendaraan atau gerobak, dan beberapa sistem yang lebih baru menggunakan sistem array portabel kecil (misalnya, Panissod et al., 1998). Karena kedalaman penetrasi bergantung, sebagian, pada panjang dipol, sistem portabel kompak ini hanya berlaku untuk resistivitas pencitraan di beberapa meter atas permukaan bawah permukaan.

C. Sumber Kebisingan

Sumber kebisingan dalam pengukuran resistivitas meliputi polarisasi elektroda yang tidak diinginkan, induksi arus pada kabel, resistansi kontak tanah yang tinggi, dan kebisingan budaya. Sumber kebisingan budaya dalam pengukuran resistivitas dapat disebabkan oleh jaringan pipa, tiang listrik atau infrastruktur lainnya. Topografi juga dapat mempengaruhi pengukuran resistivitas dan harus diperbaiki. Kehadiran konduktor off-line di dekatnya dapat mengenalkan noise geologis ke dalam data, karena sumbernya tidak dapat dimodelkan secara memadai pada model resistansi resistif 2 dimensi sepanjang garis. Juga, sama seperti semua teknik listrik atau EM, zona dekat-permukaan yang sangat konduktif dapat membatasi kedalaman penetrasi untuk metode resistivitas.

2.3.3.4 Penerapan

A. Target Terkait

Target utama yang metode resistivitasnya bisa diterapkan untuk penelusuran sumur terlantar adalah butiran air asin atau lubang bor lainnya. Tujuan survei dalam kasus ini adalah untuk menemukan sumber cendawan, yang mungkin berasal dari lubang bor yang tidak benar atau bocor. Delineasi dan pemantauan selang waktu dari plume juga dimungkinkan dengan metode resistivitas. Karena ini adalah metode profiling yang mendalam, tidak tepat untuk pencarian area luas untuk bahan konstruksi sumur tertentu seperti casing atau jaringan pipa, walaupun keduanya dapat menyebabkan anomali pada data resistivitas.

Metode resistivitas menghasilkan perkiraan struktur resistivitas bawah permukaan. Ada beberapa kasus di mana anomali resistivitas mungkin terjadi yang terkait dengan sumur yang ditinggalkan. Pertama, lubang bor yang tidak disegel atau tidak terpasang dengan benar dapat menyediakan saluran air laut yang lebih dalam dan lebih asin untuk bermigrasi ke atas dan ke lateral di zona berpori yang mengandung air tanah tanpa garam. Situasi lain mungkin timbul jika lubang bor menyediakan saluran air dari bawah permukaan air untuk bocor ke atas ke zona tak jenuh atau vadose. Terakhir, cairan yang

bocor dari lubang bor mungkin mengandung kontaminasi hidrokarbon dalam jumlah signifikan atau residu fluida pengeboran. Cairan pengeboran, meski secara luas bervariasi dalam komposisi, umumnya bersifat konduktif, dan pada umumnya akan meningkatkan konduktivitas air tanah segar yang mereka hubungi. Metode resistivitas telah terbukti sangat efektif untuk memetakan konduktivitas kontras di air tanah karena kontaminan dan wabah air asin, dan untuk penyelidikan terkait (misalnya, Barker, 1990; Butler dan Llopis, 1990; Ward, 1990; Arda et al., 2000). Sebenarnya, metode resistivitas adalah metode geofisika yang paling umum digunakan untuk jenis investigasi ini.

B. Sensitivitas dan Keterbatasan

Apakah bulu yang berhubungan dengan lubang bor atau tidak dapat dilihat sebagai anomali resistivitas akan bergantung pada kontras dalam resistivitas bulu-bulu versus cairan pori-pori di sekitarnya, dan ukuran dan kedalaman bulu-bulu itu. Pada sebagian besar kasus yang dibahas di atas, anomali resistivitas rendah (konduktivitas tinggi) diperkirakan terjadi pada data geofisika Plume yang dangkal, tebal, dan lebih lateral, semakin baik kesempatan untuk mendeteksi dan mengatasi bulu-bulu dengan menggunakan data resistivitas

yang diukur di permukaan. Secara umum, resolusi lateral dari model resistivitas bergantung pada panjang dipol. Kedua resolusi lateral dan vertikal menurun dengan bertambahnya kedalaman. Kedalaman penetrasi bergantung pada panjang dipol, serta konduktivitas permukaan bawah. Aturan umum praktis untuk kedalaman penetrasi yang efektif adalah sekitar 2 sampai 3 panjang dipol: dipoles 10 meter dapat menghasilkan kedalaman hingga 20 atau 30 meter; Dipoles 200 meter bisa menghasilkan kedalaman hingga 400 sampai 600 meter. Meningkatkan panjang dipol agar gambar lebih dalam menurunkan resolusi lateral. Untuk meringankan keterbatasan yang melekat ini, dalam banyak survei, data akan diperoleh dengan menggunakan panjang dipol kecil untuk pencitraan dengan resolusi tinggi dan dangkal dari zona di dekat permukaan, dan kemudian lebih banyak data akan diperoleh melalui jalur yang sama dengan menggunakan dipol yang lebih panjang, secara berurutan untuk mendapatkan informasi resistivitas yang lebih dalam.

Untuk metode resistivitas, dan semua metode geofisika lainnya yang dibahas dalam manual ini, situasi yang paling sulit untuk dideteksi adalah ketika cairan anomali terbatas pada lubang bor yang tidak dikurangkan, sedikit memiliki batas lateral, dan tidak mencapai permukaan. Sementara sulit,

metode resistivitas mungkin dapat menggambarkan situasi ini jika lubang bor sesuai dengan elektroda potensial (atau kurang dari sekitar $\frac{1}{2}$ putaran dipol off-line). Semakin dekat lubang bor yang berisi cairan ke elektroda, semakin baik peluangnya menyebabkan anomali. (Metode lain yang mungkin bisa mendeteksi situasi ini adalah metode SP atau GPR).

2.3.3.5 Perkiraan Waktu dan Biaya

Waktu yang diperlukan untuk survei resistivitas bergantung pada area cakupan keseluruhan, jumlah baris yang terpisah, dan panjang dipol yang dibutuhkan. Penyiapan survei cukup memakan waktu, karena melibatkan pemasangan kabel dan penghubung dan penguburan elektroda. Daerah dan vegetasi yang sulit dapat menghambat kemajuan. Umumnya, awak lapangan yang terdiri dari 2 sampai 4 orang dibutuhkan untuk survei resistivitas mendalam yang mendalam; Pencitraan dangkal, sistem pull-along dapat dioperasikan oleh 1 atau 2 awak kapal.

Kontraktor survei klien dan resistivitas yang meminta harus berkonsultasi mengenai tujuan, karakteristik lokasi, dan parameter survei yang diperlukan untuk mendapatkan perkiraan biaya. Survei resistivitas biasanya terdiri dari dasar

berikut faktor biaya (biaya yang ditunjukkan hanya perkiraan umum, berdasarkan harga survei biasa yang berlaku saat ini):

- Mobilisasi dan demobilisasi: Biaya variabel. Sertakan perjalanan ke dan dari situs, dan biaya peralatan pengiriman.
- Produksi (perolehan data): ~ \$ 1.600 sampai \$ 1.800 per hari untuk kru survey resistivitas yang khas. Seorang kru dapat memperoleh dari ~ 25 sampai 100 stasiun per hari, tergantung pada panjang dipol, medan, dan lain-lain. Pencitraan dangkal, penarikan resistivitas yang menarik mungkin akan berkurang secara signifikan dan dapat memperoleh lebih banyak data lebih cepat daripada survei pencitraan mendalam.
- Downtime (misalnya, karena cuaca buruk): Biasanya 0,5 sampai 1,0 kali tingkat produksi.
- Biaya (per diem, penginapan, bahan bakar, biaya tak terduga): Biaya variabel.
- Pengolahan data dasar (termasuk kompilasi data, pemrosesan, laporan logistik, dll.): Ini biasanya termasuk dalam tingkat produksi
- Pengolahan ekstra, interpretasi, laporan interpretatif: Seringkali diberi harga dengan tarif konsultasi teknis tipikal ~ \$ 50 sampai \$ 150 per jam.

Daftar vendor yang komprehensif yang memberikan layanan survei resistivitas dan geofisika lainnya diberikan di Lampiran D dari manual ini.

2.3.4 Metode Self-Potential

2.3.4.1 Pendahuluan

Metode Self-Potential (SP) adalah metode survei listrik pasif yang relatif sederhana dan murah untuk diterapkan, walaupun akan agak padat karya untuk pencarian yang baik. Anomali SP telah dicatat di masa lalu di dekat sumur yang mengalami proses korosif. Selain itu, air asin atau cairan ionik lainnya yang bocor melalui lubang bor mungkin bisa dideteksi dengan metode SP. Untuk berbagai alasan, metode ini kurang dapat diandalkan daripada metode elektromagnetik atau magnetis untuk menemukan casing yang baik; Namun, ini mungkin berguna dan hemat biaya dalam beberapa kasus untuk menemukan asap air asin atau kebocoran cairan lainnya dari lubang bor.

Metode Self-Potential (SP) telah digunakan selama beberapa dekade di industri eksplorasi minyak bumi dan panas bumi dan telah digunakan sejak awal 1800an untuk eksplorasi mineral. Di industri lingkungan dan teknik, metode SP

terutama digunakan untuk menyelidiki pergerakan air bawah permukaan. Aplikasi terbaru meliputi penggambaran pola aliran di dekat kerusakan, tanah longsor, dan struktur teknik; menyelidiki pola aliran air tanah; dan pemetaan kebocoran atau rembesan dari struktur penahanan seperti bendungan, tanggul, kolam pencemar limbah, dan tangki penyimpanan bawah tanah.

2.3.4.2 Dasar Fisik

Reaksi elektrokimia antara benda logam atau cairan ionik dan batuan sekitarnya atau tanah menyebabkan potensi listrik yang menyebabkan arus DC terjadi secara alami di bumi. Potensi diri (kadang-kadang disebut polarisasi spontan) adalah potensi listrik alami yang terjadi secara alami akibat interaksi geologis, geokimia, dan hidrologi ini.

A. Potensi Listrik

Perbedaan voltase atau potensial, antara dua titik adalah ukuran dari jumlah pekerjaan yang dilakukan dalam memindahkan partikel bermuatan dari satu titik ke titik lainnya, dengan adanya medan listrik. Potensi listrik dinyatakan dalam satuan Volts (V), atau lebih umum dalam pekerjaan geofisika, miliVolt (mV). Kekuatan atau intensitas medan listrik adalah gradien potensial.

Asal-usul potensi diri di bumi tidak sepenuhnya dipahami, namun terdiri dari dua komponen dasar: potensi mineral dan potensi latar belakang. Potensi mineral timbul dari proses elektrokimia di dalam mineral konduktif di dalam tanah. Potensi latar belakang bervariasi seiring waktu dan terutama terkait dengan air tanah yang mengalir di tanah sebagai elektrolit. Berbagai jenis potensi yang biasa dihadapi dalam geofisika permukaan tercantum di bawah ini:

- Hasil potensial streaming dari aliran sebenarnya elektrolit (ion yang mengandung cairan) di tanah, seperti air garam atau air garam.
- Hasil potensial adsorpsi saat elektrolit bersentuhan dengan padatan dan perbedaan potensial terjadi di lapisan yang menyebar di dekat antarmuka tempat ion relatif bergerak.
- Potensi cairan, atau difusi, potensial dihasilkan pada kontak antara cairan dengan konsentrasi ion yang berbeda. Di sini, anion bermuatan mobile, cenderung menabrak permukaan kontak lebih mudah daripada kation bermuatan positif yang lebih besar, sehingga menghasilkan perbedaan potensial melintasi batas.
- Potensi serpih, biasanya dibahas relatif terhadap log wireline SP di lubang bor, hasilnya karena serpihan

bertindak sebagai membran kationik yang memungkinkan kation natrium mengalir melewatinya, tapi bukan anion klorida.

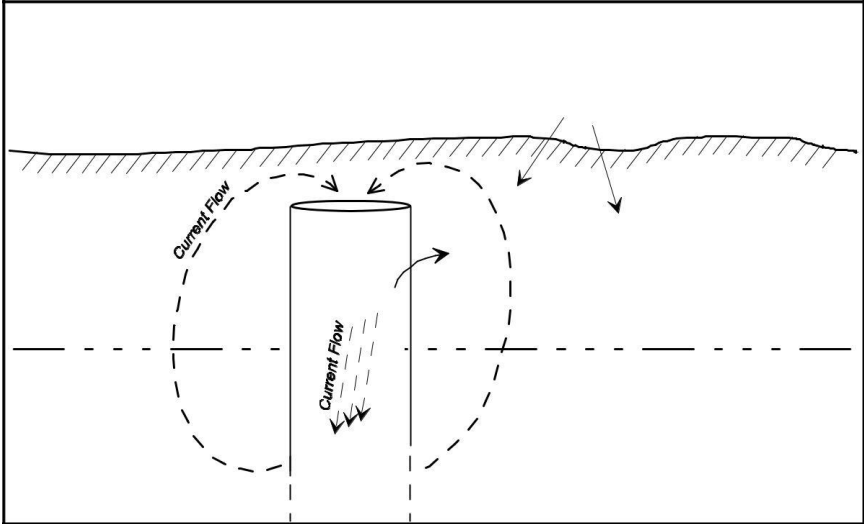
- Potensi kontak elektrolitik dikembangkan antara logam yang berbeda bila bersentuhan dengan elektrolit.
- Hasil potensial polarisasi dari polarisasi benda-benda yang mengandung mineral logam terutama di tanah. Polarisasi alami antarmuka di lapangan dapat terjadi karena proses konduksi ionik pada benda logam, atau polarisasi terinduksi pada antarmuka dapat terjadi karena konduksi elektronik yang diminati oleh medan listrik buatan buatan.

B. Sumber Anomali SP

Air tanah merupakan faktor umum dalam kebanyakan proses yang menghasilkan potensi diri. Tubuh bijih, terutama sulfida masif, yang bersentuhan dengan air tanah sering memiliki anomali SP besar yang terkait dengannya. Sumber anomali SP juga dapat disebabkan oleh aliran air tanah yang mengalir, perbedaan konsentrasi ion air tanah, berbagai interaksi mineral / air tanah, pengoksidasi benda logam di dalam tanah (seperti pipa atau casing sumur), dan kondisi mendekati permukaan yang mendekati sifat tanah, kejenuhan ,

dan vegetasi. Anomali SP Negatif kadang-kadang diamati di atas selubung sumur, dimana mekanisme pengurang oksidasi serupa dengan yang diamati pada tubuh bijih yang terkubur mungkin terjadi. Jika casing sumur menembus meja air, maka perbedaan jumlah oksigen bebas yang tersedia di atas dan di bawah permukaan air menyebabkan sel galvanis berkembang di tanah (sel arus DC, serupa dengan baterai), dan potensi negatif diukur. di atas sel relatif terhadap daerah sekitarnya (Gambar 2-7). Gambar 2-7 menunjukkan beberapa anomali SP aktual yang diamati pada pipa yang dikubur dan casing baja sumur.

Anomali SP sering diamati berkorelasi dengan topografi. Mereka biasanya negatif pada puncak topografi dan diperkirakan disebabkan oleh pergerakan turun permukaan air bawah permukaan. Potensi ini tidak terlihat secara konsisten, namun saat ini mungkin ada beberapa milliVolts per meter elevasi (Corwin, 1990). Anomali topografi paling sering diamati di sekitar geologi vulkanik, batuan permukaan dekat berpori, perubahan topografi besar, atau air tanah permukaan yang melimpah.



Gambar 2-7. Skema mekanisme sel galvanik yang mungkin terjadi untuk menghasilkan anomali SP negatif pada casing sumur yang terkubur.

2.3.4.3 Metode Survei

Kualitas data SP sangat bergantung pada konfigurasi dan prosedur survei, pemilihan dan pemeliharaan peralatan, dan penggunaan teknik reduksi data yang tepat. Metode SP telah berhasil digunakan selama bertahun-tahun; Namun, metode ini memiliki reputasi untuk masalah dengan pengulangan dan reproduktifitas. Perhatian yang sangat cermat terhadap teknik lapangan dan pengawasan yang tepat oleh ahli geofisika yang bertanggung jawab dapat menghasilkan data SP berkualitas

tinggi yang bagus.

A. Instrumen SP

Alat survei potensi diri relatif murah dan mudah diperoleh, walaupun sistem 'lengkap' peralatan survei SP kurang tersedia dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Peralatan survei SP hanya terdiri dari dua elektroda, kawat penghubung, dan voltmeter presisi tinggi. Voltmeter digital dengan impedansi masukan yang tinggi harus digunakan dengan presisi pengukuran 0,1 mV atau lebih baik. Elektroda harus terdiri dari elektroda berpori non-polarisasi. Ini umumnya menghasilkan data terbaik yang paling banyak diulang untuk survei SP dan terdiri dari sepotong logam konduktif, seperti tembaga, yang direndam dalam larutan jenuh garamnya sendiri, seperti larutan tembaga sulfat. Elektroda kemudian kontak dengan tanah melalui wadah keramik berpori (pot). Stasiun survei dapat diposisikan relatif terhadap tengara lokal dengan menggunakan pita dan rantai, atau dengan cara yang lebih cepat dan efisien seperti survei GPS real-time (lihat Lampiran B).

B. Prosedur Survei

Metode SP mengukur potensi listrik, atau voltase, antara

elektroda yang ditempatkan di tanah untuk menggambarkan sumber bawah permukaan yang menciptakan perbedaan potensial. Tingkat potensi yang diukur dalam survei SP selalu sewenang-wenang; Artinya, mereka diukur relatif terhadap stasiun pangkalan yang biasanya berada di luar area yang diminati. Nilai di base station sewenang-wenang menugaskan nilai 0 mV. Elektroda potensial kedua ditempatkan di berbagai stasiun pengukuran di area yang diminati, dan voltase yang diukur kemudian bernilai positif atau negatif relatif terhadap base station (panci dasar selalu menempel pada timbal negatif voltmeter). Untuk pencarian sumur yang ditinggalkan, jarak stasiun pada urutan 5 sampai 10 kaki akan dibutuhkan.

Survei SP relatif sederhana dan bisa dilakukan baik dengan satu orang, atau dengan awak lapangan dua orang. Bila menggunakan GPS untuk penentuan posisi stasiun, diperlukan dua orang, satu untuk membawa gulungan kawat dan antena GPS, dan yang lainnya untuk mengukur voltase stasiun dan pengukuran lokasi.

Kontrol prosedural yang membantu memastikan data SP berkualitas baik harus mencakup:

- Tidak ada potensi palsu yang harus diperkenalkan dengan teknik pengukuran atau peralatan.
- Elektroda referensi harus ditempatkan di luar sistem di

tempat kering (di atas meja air dan tidak di lingkungan yang mengurangi seperti rawa atau rawa).

- Desain survei harus meminimalkan pergerakan elektroda referensi sejauh mungkin.
- Monitor arus telluric harus dipasang yang memungkinkan pemantauan pada periode yang lebih lama, lebih dari 1 detik, arus kas khusus.
- Waktu harus dicatat untuk semua pembacaan stasiun dibandingkan dengan data pemantauan arus kas telluric.
- Stasiun tidak boleh ditempatkan di sekitar sumber kebisingan budaya seperti jalur listrik, saluran telepon, jaringan pipa, pembangkit listrik, gardu induk, dll. Elektroda stasiun induk harus ditempatkan paling tidak 500 meter dari tempat di atas.

C. Pengolahan Data dan Interpretasi

Data SP memerlukan sedikit pengurangan data dasar jika prosedur survei hati-hati telah diikuti. Profil waktu data dapat dibandingkan secara kualitatif dengan data pemantauan telluric untuk mengidentifikasi area yang mungkin berisik dan memeriksa pengulangan di area ini. Koreksi kuantitatif juga bisa diterapkan untuk variasi telluric. Pada profil 1-D, atau peta 2-D, data SP sering diperiksa untuk tren regional, dan peta atau

profil residu dihasilkan untuk menekankan anomali lokal yang diminati. Tren pola spasial vegetasi, topografi, variasi tanah atau saturasi harus dicatat dalam data lapangan untuk perbandingan.

Teknik interpretasi untuk data SP dapat berupa kualitatif atau berdasarkan program pemodelan analitis yang kompleks. Teknik penafsiran lain yang umum digunakan dan cukup bermanfaat adalah perbandingan anomali yang diamati dengan kurva standar atau kontur yang dihitung untuk model sumber sederhana.

2.3.4.4 Penerapan

A. Target Terkait

Ada dua target terkait baik yang dapat berhasil diidentifikasi dengan menggunakan metode SP. Ini adalah:

1. Sebuah lubang bor yang menyediakan saluran untuk kebocoran cairan ionik. Secara khusus, lubang bor yang tidak benar dapat menyediakan saluran air garam dari akuifer yang lebih dalam untuk bermigrasi ke permukaan. Kebocoran mungkin terbatas pada lubang bor itu sendiri dalam beberapa kisaran kedalaman, dapat bocor sampai ke permukaan, atau mungkin bocor secara lateral dari lubang bor ke lapisan bawah permukaan keropos yang tertutup.

2. Casing baik di mana zat besi atau unsur pengoksidasi lainnya bersentuhan dengan air tanah, dan proses korosif sedang terjadi.

B. Sensitivitas dan Keterbatasan

Multimeter modern dapat dengan mudah mengukur perbedaan potensial 0,1 miliVolts. Respon SP yang diharapkan dari casing sumur dapat bervariasi dari tidak ada respons terhadap amplitudo anomali pada orde 100 mV atau lebih, biasanya negatif. Kondisi lingkungan sekitar sumur akan menentukan apakah ada potensi elektrokimia yang disebabkan oleh casing sumur atau aliran fluida di dalam sumur bor. Kemampuan untuk mendeteksi sumur yang ditinggalkan menggunakan SP akan ditentukan oleh dua faktor berikut: 1), terjadi reaksi elektrokimia maupun tidak, di bawah permukaan karena adanya cairan sumur casing atau sumur sumur, dan 2), jika berpotensi anomali dihasilkan, apakah dapat dibedakan dari sinyal yang mengganggu dari sumber lain di daerah tersebut. Tabel 2-1 menunjukkan beberapa rentang amplitudo anomali SP yang umum yang diharapkan dari berbagai sumber alami.

Contoh anomali SP aktual dari diameter 5 cm, casing baja (ditunjukkan pada Gambar 2-8 di atas) berada pada orde -

100 mV dalam amplitudo (Corwin, 1990). Dalam uji SP dan metode geofisika lainnya untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan, Frischknecht (1983, 1984) menemukan anomali SP yang sama besar dan berbeda untuk 4 dari 11 sumur yang diketahui. 7 sumur yang tersisa memiliki anomali kecil yang dapat dibedakan secara jelas sesuai urutan 20 mV; Namun, Frischknecht menunjukkan bahwa ada anomali serupa lainnya yang tidak diketahui asal usulnya dalam data yang mungkin memiliki interpretasi yang rumit bahwa survei tersebut merupakan pencarian baik yang ditinggalkan, bukan sebuah studi uji.

Keterbatasan teknik SP yang terbesar adalah kepekaannya terhadap potensi latar belakang yang bervariasi secara alami, sumber-sumber yang banyak dan tidak dipahami dengan baik. Anomali SP sering diamati untuk target minat survei; Namun, kelimpahan anomali serupa dari sumber lain yang tidak diketahui dapat menyebabkan tingginya tingkat 'deteksi salah' target sasaran survei (Frischknecht, 1984; Mmann et al., 1997). Namun demikian, SP telah digunakan dengan sukses dan cukup sering untuk mengidentifikasi sumber kebocoran dan arus bawah permukaan (et al., Perry et al., 1996; Sirles, 1997).

Digunakan sendiri, metode SP mungkin hanya memiliki

reliabilitas moderat untuk deteksi sumur yang ditinggalkan. Casing sumur metalik paling baik diidentifikasi dengan menggunakan magnet atau metode elektromagnetik, dan metode ini juga akan sedikit lebih hemat biaya karena kecepatan dan efisiensi jangkauan tanah. Metode SP mungkin berguna dan alat hemat biaya untuk penggambaran permukaan yang dekat permukaan air garam atau kontaminan hidrokarbon yang terkait dengan sumur terbengkalai (mis., Corwin, 1990; Vichabian, 1999; Zonge et al., 1985). Secara keseluruhan, data SP dapat menyediakan kumpulan data independen yang sensitif terhadap faktor kebisingan yang berbeda daripada data magnetik atau elektromagnetik. Interpretasi gabungan dua dataset geofisika independen akan sangat meningkatkan kesempatan untuk berhasil mengidentifikasi sumur-sumur terlantar.

TABEL 2-1. Sumber Anomali SP dan Rentang Amplitudo

Source	Sign of Anomaly	Approximate Amplitude Range
Mineral Potentials		
Ore bodies (conductive minerals)	Negative	100 to 1000 mV
Quartz veins, pegmatites (resistive minerals)	Positive	10 to 100 mV
Background Potentials		
Fluid streaming, geochemical reactions	Positive or Negative	<100 mV
Bioelectric effects from vegetation (plants, trees)	Negative	<300 mV
Groundwater movement	Positive or Negative	100 to 1000 mV
Topography	Negative	up to 2000 mV (or up to few mV per meter elevation change)
Well Casings (geochemical/corrosive processes)	Negative	20 to 100 + mV

2.3.4.5 Perkiraan Waktu dan Biaya

Survei SP relatif cepat dan murah bila dibandingkan dengan kebanyakan survei listrik ground lainnya. Peralatannya sederhana dan mudah tersedia. Mungkin item yang paling mahal dalam survei SP untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan adalah penyewaan atau pembelian sistem GPS untuk penentuan posisi stasiun. Sistem akurasi sub-meter, seperti DGPS akan memadai (Lampiran B) untuk metode dan aplikasi ini. Survei SP akan terdiri dari faktor biaya dasar berikut (biaya yang ditunjukkan hanya perkiraan umum, berdasarkan harga survei dan peralatan biasa yang berlaku saat ini).

2.3.5 Waktu dan Frekuensi Metode Elektromagnetik Domain

2.3.5.1 Pendahuluan

Metode elektromagnetik, domain waktu dan frekuensi, memungkinkan informasi mengenai konduktivitas bawah permukaan (dan tingkat permeabilitas magnetik yang lebih rendah) yang diukur dari pengukuran permukaan.

Bahan anomali yang terkait dengan sumur terbungkalai umumnya konduktif dibandingkan dengan resistivitas latar belakang bumi. Dua target berbeda tersedia untuk mendeteksi sumur terbungkalai yang menggunakan metode

elektromagnetik. Yang pertama adalah deteksi langsung material logam di dalam dan di sekitar sumur. Bahan logam ini termasuk casing, lini produk, dan saluran air yang mungkin bisa menyebabkan sumur. Pipa baja, yang sebagian besar bahan ini dikonstruksi, berukuran 10.000 kali lebih konduktif daripada bahan tanah normal, menjadikannya sasaran induktif yang ideal. Selain itu, permeabilitas magnetik yang tinggi dari baja menambah respons elektromagnetik.

Target kedua yang mungkin sering dikaitkan dengan sumur terlantar adalah tanah konduktif yang dibuat oleh air asin yang bocor dari sumur dan meningkatkan salinitas dan saturasi air permukaan dekat (Sandberg, et al., 2002). Di

daerah di mana casing permukaan telah dilepas, metodologi ini bisa berhasil bila tidak ada target langsung, seperti casing logam, tersedia.

Selain pemetaan bahan metalik dan bulu konduktif, metode elektromagnetik bersifat non-invasif - tidak ada elektroda yang perlu dipasang ke bumi. Baik pemancar dan penerima dibawa, ditarik atau diterbangkan melintasi permukaan bumi tanpa sensor yang harus bersentuhan langsung dengan bumi. Hal ini dapat sangat penting di daerah yang sensitif terhadap lingkungan dan budaya serta daerah yang dilapisi aspal atau beton.

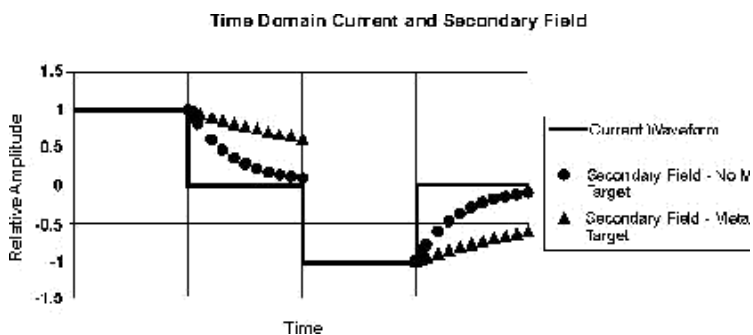
2.3.5.2 Dasar Fisik

A. Dasar-dasar Metode Elektromagnetik

Waktu dan frekuensi domain metode elektromagnetik didasarkan pada proses fisik fundamental yang sama. Pemancar, secara efektif satu lingkaran kawat, didorong oleh arus waktu yang bervariasi. Perubahan medan EM saat ini, dan yang dihasilkan, menetapkan arus gambar di dalam bumi sama besarnya namun berlawanan dengan pemancar. Citra saat ini kemudian berinteraksi dengan bahan konduktif, menyiapkan medan magnet sekunder yang diukur di permukaan bumi.

B. Time-Domain Electromagnetics (TDEM)

Teknik elektromagnetik atau TEM sementara, yang kadang-kadang disebut EM domain waktu (TDEM) atau pulsa EM (PEM), telah digunakan secara tradisional untuk pendengaran atau profil kedalaman vertikal, serta deteksi logam yang dalam. Dalam metode TEM, pemancar memancarkan pulsa arus gelombang kuadrat dari tanda bolak-balik dan medan sementara atau pembusukan, diukur saat pemancar tidak aktif. Dengan metode ini, kedalaman, konduktivitas total, dan permeabilitas magnetik dari konduktor yang terkubur tercermin terutama oleh besarnya medan sekunder, serta laju peluruhan dan tingkat spasial respons anomali. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2-8, metode TDEM bergantung pada tingkat peluruhan medan sekunder yang berbeda untuk membedakan antara respons bumi normal dan respon dari konduktor logam yang dikuburkan.



Gambar 2-8. Skema kurva peluruhan lapangan sekunder untuk data TDEM.

Peralatan terdiri dari sistem pemancar / penerima yang dapat diatur dalam geometri yang berbeda tergantung pada target minat dan desain survei. Antena pengirim dan penerima terdiri dari kawat di dekat tanah, dengan ukuran tergantung pada kedalaman eksplorasi yang diinginkan dan ukuran target. Kedalaman eksplorasi yang dicapai dalam konfigurasi suara vertikal dapat bervariasi dari beberapa meter sampai lebih dari 1.000 meter, tergantung pada ukuran loop pemancar dan geometri, daya yang tersedia dari pemancar, dan tingkat kebisingan sekitar.

Bingkai tegak vertikal TEM yang besar yang digunakan untuk pemetaan variasi resistivitas berskala besar menghasilkan jenis data yang serupa dengan metode CSAMT yang dibahas di Bagian 2.2.4 dari manual ini, namun variasi lateral resistivitas diratakan dan logistiknya berbeda. Di setiap lokasi yang terdengar pemancar diletakkan, dengan sensor berada di tengah lingkaran ini. Pengukuran medan magnet vertikal dibuat sebagai fungsi waktu setelah turnoff pemancar. Beberapa pengukuran, terkadang beberapa ribu, dirata-ratakan bersama untuk meningkatkan resolusi pengukuran ini. Kedalaman investigasi (Gambar 2-9) dengan menggunakan metode TDEM adalah fungsi resistivitas listrik dari permukaan bawah permukaan, waktu pengukuran setelah putaran

pemancar, dan momen pemancar total (produk dari ukuran pemancar saat ini disuntikkan ke dalam lingkaran.) Sistem seperti sistem Geonics ProTEM dan Zonge ZEROTem dirancang khusus untuk memenuhi persyaratan resolusi yang menuntut pada sistem ini.

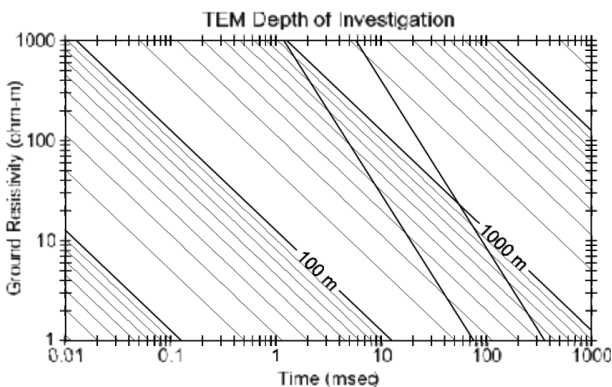


Figure 2-9. Depth of investigation for time-domain EM (TDEM).

TDEM loop kecil telah berhasil digunakan untuk menemukan sumur terbengkalai, persenjataan yang tidak meledak (UXO), tangki penyimpanan bawah tanah (UST), dan benda-benda metalik lainnya yang terkubur. Konfigurasi TEM array kecil biasanya terdiri dari loop pemancar dan penerima berukuran satu meter atau kurang. Sistem ini portabel dan efisien, dan beberapa dapat mencakup ground dalam mode kontinyu sehingga area survei dapat ditutup dengan efisiensi

yang serupa dengan survei ground magnetics. Namun, kedalaman investigasi untuk sistem TEM array kecil dibatasi sekitar 3 meter. (Target tiga dimensi harus kira-kira 10% dari kedalaman penguburan untuk deteksi. Contoh: Sebuah lembaran baja berukuran 1 meter x 1 meter akan terdeteksi jika dikubur hingga sekitar 10 meter.)

C. Frekuensi-Domain Elektromagnetik (FEM)

Dalam metode domain-frekuensi elektromagnetik (FEM), pemancar memancarkan arus yang bervariasi secara berkala pada frekuensi atau rangkaian frekuensi tertentu. Pada koil penerima, medan sekunder yang dihasilkan oleh arus induksi dalam tubuh konduktif terkubur diukur. Fisika proses identik dengan metode TEM; Perbedaannya adalah bahwa dalam metode domain-waktu, bentuk gelombang transien diukur saat pemancar tidak aktif, dan pada FEM bidang gabungan dari pemancar dan sekunder medan induksi diukur saat pemancar aktif. Pengukuran FEM memerlukan semacam fase-kunci atau referensi antara bentuk gelombang yang dikirim dan diterima untuk mengukur komponen fase-in dan fase di luar fase dari

sinyal yang diterima. Kedalaman dan ukuran konduktor terutama mempengaruhi amplitudo bidang sekunder, sedangkan kualitas konduktor pada umumnya mempengaruhi rasio komponen fase ke fase di luar fase (konduktor yang baik memiliki rasio yang lebih tinggi dan konduktor yang buruk memiliki rasio yang lebih rendah) . Tegangan yang diterima biasanya dilaporkan di bagian per juta (ppm) dari bidang utama.

Mirip dengan TEM, beragam jenis instrumen dan desain tersedia untuk FEM mulai dari detektor logam kecil yang murah, hingga instrumen yang jauh lebih canggih. (Sistem detektor logam daya rendah yang sederhana tidak akan dibahas dalam laporan ini.) Ukuran loop pemancar bervariasi, tergantung pada kedalaman penetrasi yang diinginkan. Frekuensi tunggal atau pita frekuensi sempit dapat digunakan. Instrumen broad-band FEM yang menggunakan beberapa frekuensi untuk menembus ke kedalaman yang berbeda (depth sounding) juga tersedia.

2.3.5.3 Metode Survei

Ada beberapa vendor untuk kedua instrumen waktu dan frekuensi domain di Utara Amerika. Di antara instrumen domain frekuensi, tersedia dua kelas instrumen umum. Yang pertama menggunakan beberapa variasi dari array "dipol-dipol"

elektromagnetik, dengan pemancar dan penerima dipisahkan oleh beberapa jarak tetap dan pemancar coplanar dan loop penerima. Sistem suara dangkal yang paling umum digunakan dengan konfigurasi ini adalah Geophex GEM-2, dan Geonics EM-31. Meskipun instrumen ini berbeda secara spesifik, namun instrumen ini serupa dalam keseluruhan fungsi.

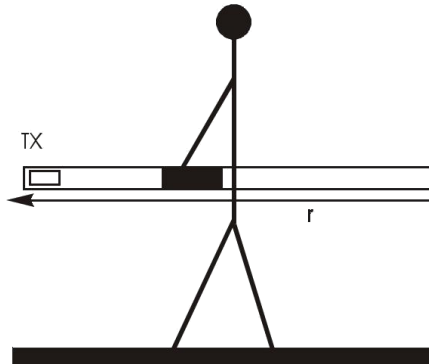


Gambar 2-10. Skema Umum Sistem Dipole-Dipole EM (Diagram dari www.geophex.com)

Kedalaman penyelidikan untuk sistem EM domain frekuensi bergantung pada frekuensi, resistivitas bawah permukaan, dan jarak intercoil ("r" pada Gambar 2-10). Secara umum, semakin rendah frekuensi semakin besar kedalaman penyelidikan; dan semakin tinggi resistivitas tanah, semakin

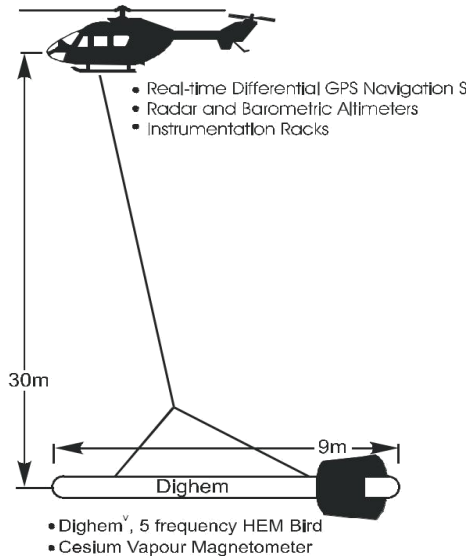
besar kedalaman penyelidikan. Namun, untuk sistem berbasis tanah, kontrol utama pada kedalaman penyelidikan adalah jarak intercoil, seperti yang ditunjukkan dalam catatan teknis Geonics TN-31. Untuk sistem ini, sebagian besar respons elektromagnetik adalah dari kedalaman 40% jarak intercoil dengan koil pemancar vertikal. Resolusi lateral dikendalikan terutama oleh jarak stasiun, yang merupakan komponen penting dalam desain survei.

Gaya kedua dari sistem domain frekuensi menggunakan orientasi loop tengah, dengan loop pemancar dan penerima keduanya berada dalam satu kepala sensor. Satu-satunya sistem yang tersedia di Amerika Utara dengan konfigurasi ini adalah sistem GEM-3 Geophex, yang ditunjukkan pada Gambar 2-11. Sistem ini menggunakan geometri pemancar khusus yang menciptakan zona di tengah lapangan yang tidak memiliki lapangan utama. Di area ini, loop penerima dapat mengukur bidang sekunder, tanpa efek dari medan utama yang mengganggu. Sistem ini telah dikembangkan terutama sebagai sistem detektor logam resolusi tinggi untuk digunakan dalam penempatan UXO dan ranjau darat dan tidak dirancang untuk memetakan resistivitas listrik permukaan bawah permukaan.



Gambar 2-11. GEM-3 (Foto dari www.geophex.com)

Instrumen domain frekuensi yang digunakan dalam survei helikopter (Gambar 2-12) juga menggunakan geometri array Dipole-Dipole dan beroperasi pada rentang frekuensi yang luas. Sistem saluran udara memiliki tingkat produksi yang jauh lebih tinggi, dengan cakupan berkisar antara 400 sampai 800 garis-kilometer dan kedalaman penyelidikan hingga 100 meter. Untuk menutupi area yang luas, survei elektromagnetik helikopter bisa menjadi alat yang penting. Namun, sehubungan dengan pencarian yang ditinggalkan, sistem helikopter tidak dirancang untuk mendeteksi target logam kecil dan lebih sesuai untuk mengukur variasi resistivitas yang dibuat oleh bulu asin.



Gambar 2-12. Contoh Sistem EM Airborne (Redrawn dari www.fugroairborne.com) (Informasi lebih lanjut tentang instrumen EM domain frekuensi dapat ditemukan di Geonics TN-31; McNeil, 1980; Won et al., 1996 dan Won et al., 1998).

Seperti dibahas di atas, instrumen domain waktu menggunakan beberapa variasi geometri lingkaran pusat untuk mengumpulkan informasi yang menjelaskan konduktivitas listrik material di bawah permukaan. Dua varian gaya data TDEM dapat dikumpulkan tergantung target. Metode pertama menggunakan loop pemancar dan penerima kecil dan dirancang untuk mendeteksi secara langsung respon dari item logam diskrit. Sistem ini tidak mengumpulkan informasi

mengenai resistivitas bumi dan sebaliknya secara efektif mendasari sistem deteksi logam. Sinyal anomali di akhir waktu menerima bentuk gelombang transien, bagaimanapun, menunjukkan logam yang terkubur atau konduktor lainnya yang sangat baik dan permeabilitas magnetik menambah respons ini. Sistem seperti Geonics EM-61 dirancang untuk mencatat respon akhir ini, menjadikannya sistem deteksi logam yang sangat efektif.

Sistem loop yang lebih besar digunakan untuk mendeteksi variasi dalam struktur konduktivitas keseluruhan. Jarak antar stasiun hanya perlu cukup dekat sehingga dua atau lebih stasiun ditempatkan di atas zona konduktif manapun. Oleh karena itu, beberapa perkiraan ukuran bulu kutu konduktif harus dihasilkan untuk membantu dalam perancangan survei.

Intermediate antara loop besar dan sistem loop kecil adalah sistem seperti sistem Zonge NanoTEM. Sistem ini dapat digunakan baik dalam konfigurasi loop pemancar kecil, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2-15, atau sebagai bagian dari sistem loop besar dengan receiver bergerak di dalam bagian tengah pemancar.



Gambar 2-13. Sistem Zonge NanoTEM

Sistem kedua ini, yang disebut sebagai sistem "fast turn-off" (mengacu pada turnoff pemancar) memungkinkan gelombang bentuk transien receiver awal dijadikan sampel. Jika loop pemancar cukup besar untuk menangkap respons bumi, waktu awal transien berisi informasi yang menggambarkan konduktivitas bumi, dan mungkin berguna untuk pemetaan perubahan permukaan atau kondisi tanah

dangkal lainnya yang menunjukkan kebocoran air garam. Data yang disajikan pada Gambar 2-16 dikumpulkan dari stasiun yang mengelilingi casing sumur yang dikubur menggunakan loop pemancar 10m dengan 10m. Data waktu awal, dari 0,0005 sampai 0,02 milidetik dalam hal ini respon bumi. Di lain waktu, khususnya 0,1 milidetik dan kemudian, ada pemisahan yang jelas dalam respon antara latar belakang dan respon terhadap casing sumur. Desain survei ini, dengan loop pemancar berukuran menengah dan loop penerima kecil memungkinkan informasi dikumpulkan yang menggambarkan struktur resistivitas listrik bumi saat mendeteksi tanda konduktif logam dari casing (Carlson, et al, 1996).

Pilihan mengenai ukuran loop pemancar, lokasi loop penerima, dan rentang waktu yang diukur semuanya secara signifikan mempengaruhi kemampuan sistem untuk mendeteksi target tertentu. Loop yang lebih kecil, kurang dari beberapa meter, umumnya digunakan untuk survei deteksi logam sementara loop yang lebih besar digunakan untuk memetakan variasi dalam tahanan listrik di bumi.

A. Pengolahan Data dan Interpretasi

Ada beberapa tahap dalam pengolahan data elektromagnetik. Langkah pertama adalah mengoreksi drift

instrumentasi tergantung waktu. Setelah koreksi drift, pengukuran elektromagnetik diintegrasikan dengan informasi spasial, baik dari survei atau rekaman GPS. Pemeriksaan kumpulan data terpadu ini karena profil kemudian dilakukan untuk mengidentifikasi masalah instrumentasi. Selain langkah-langkah pemrosesan dasar ini, berbagai jenis filter domain spasial dan waktu dapat diterapkan ke rangkaian data untuk mengurangi dampak sumber kebisingan.

Akhirnya, plot kontur dari medan sekunder yang diterima dihasilkan dan hasil kontur dibandingkan dengan sumber budaya yang diketahui, seperti pagar, tangki air, saluran listrik, dan lain-lain yang mungkin memiliki tanggapan yang serupa dengan sumur yang ditinggalkan.

2.3.5.4 Penerapan

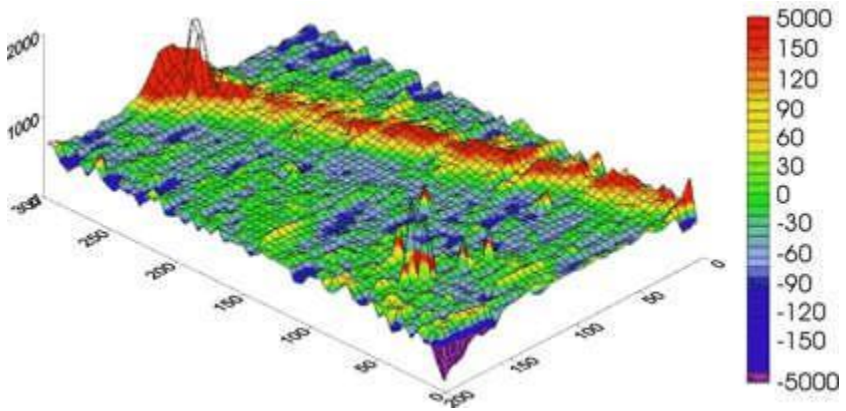
A. Sasaran dan Keterbatasan

Kontrol pada kemampuan mendeteksi sumur terbungkalai serupa dengan metode magnetik, yang dibahas pada Bagian 2.2. Dalam kasus pendeteksian casing di dalam lubang, ini mencakup pemisahan antara sensor elektromagnetik dan bagian atas casing sumur, konduktansi total material logam (yang terkait dengan ukuran dan jenis material casing), dan tingkat kebisingan latar belakang

Sumber kebisingan untuk pengamatan elektromagnetik dapat dipisahkan menjadi dua jenis, geologi dan budaya. Suara geologis adalah respon elektromagnetik dari bahan alami, seperti batuan yang sangat magnetik atau batuan konduktif, yang memiliki respons elektromagnetik besar. Suara budaya adalah respons dari barang buatan manusia, seperti pagar dan saluran listrik, yang mengganggu pendeteksian barang konduktif di bawah permukaan.

Jumlah data yang dipublikasikan mengenai besarnya respon dari casing logam terbatas dan juga merupakan fungsi dari tipe sensor dan geometri, total konduktansi casing, dan kedalaman ke atas target, dan oleh karena itu sulit dilakukan untuk memberikan berbagai kemungkinan tanggapan. Namun, instrumen elektromagnetik telah digunakan untuk berbagai masalah terkait mulai dari deteksi utilitas hingga lokasi Unexploded Ordnance (UXO).

Sebagai contoh, pemetaan pipa baja tahan karat berdiameter 18 inci yang dikuburkan pada 30 kaki di bawah permukaan memiliki respon lebih dari 5000 ppm dan didefinisikan secara jelas oleh data yang ditunjukkan pada (Gambar 2-14). Survei magnetik di daerah ini gagal mendeteksi objek ini, mungkin karena itu adalah stainless steel (data dan deskripsi dari www.geophex.com).



Gambar 2-14. Respon EM dari pipa baja stainless yang terkubur

Contoh penerapan metode EM untuk pencarian yang baik dan penyelidikan serupa dapat ditemukan di Allison, 2001; Carlson et al., 1996; Holladay dkk. 1981; Paine et al., 1997; Huang et al., 2000; Huang et al., 2001; Sandberg dkk., 2002; Xia, 2001; dan Xia, 2002.

B. Resolusi

Instrumen elektromagnetik domain frekuensi dan waktu dapat digunakan dalam beberapa konfigurasi yang berbeda tergantung pada kedalaman penyelidikan yang diperlukan, tingkat spasial dan konduktivitas target. Variasi geometri ini mempengaruhi kedalaman penyelidikan metode, ukuran target

yang dapat dideteksi, dan kemampuan sistem untuk menangani efek budaya. Oleh karena itu, desain survei sangat penting, mengendalikan keberhasilan penyelidikan elektromagnetik.

Target dangkal yang lebih kecil akan paling berhasil dideteksi dengan menggunakan sistem pembacaan loop pusat, baik di domain frekuensi atau waktu karena area yang lebih kecil yang diinginkan pemancar. Sistem ini memiliki resolusi lateral terbaik dalam pengukuran yang dapat dilakukan sepanjang melintasi interval beberapa inci, memungkinkan item dengan spasial kecil untuk dideteksi. Dalam kebanyakan situasi survei, cakupan lengkap area target harus diselesaikan untuk memastikan deteksi, karena sensor ini memiliki respons yang sangat rendah terhadap item yang tidak berada tepat di bawah lingkaran detektor. Mengingat bahwa sebagian besar sistem loop pusat lebih kecil dari 1 meter (3,28 kaki) lebarnya, mengumpulkan cakupan lengkap dapat memerlukan sejumlah besar data untuk dikumpulkan.

Untuk target yang lebih besar, terutama pemetaan bulu-bulu air asin pada kedalaman dangkal (umumnya kurang dari 50 meter) dan jalur produk dan air, sistem array Dipole-Dipole elektromagnetik dapat digunakan. Sistem ini, sebagai fungsi geometri mereka, rata-rata area yang lebih luas dan oleh karena itu kurang peka terhadap benda-benda kecil spasial seperti

casing sumur namun mampu mendeteksi perubahan struktur konduktivitas keseluruhan yang mungkin merupakan akibat kebocoran air garam dari bor yang tidak diantar dengan benar. lubang.

Dengan menggunakan loop pemancar besar, dari 20 sampai lebih dari 100 meter, metode TDEM dapat digunakan untuk menggambarkan keseluruhan struktur resistivitas pada kedalaman dari 50 meter sampai beberapa ratus meter. Barang yang lebih kecil, seperti casing, dan jaringan pipa, pada umumnya tidak dapat diamati.

Untuk target besar sistem EM helikopter, yang umumnya merupakan sistem domain frekuensi, bisa digunakan. Karena sistem ini memiliki tapak 50-100 meter, sulit bagi sistem EM helikopter standar untuk mengatasi anomali spasial yang lebih kecil yang terkait dengan casing dari sumur terbengkalai.

C. Keuntungan dan kerugian

Kelebihan dan kekurangan metode elektromagnetik untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan dirangkum di bawah ini:

Keuntungan:

- Metode elektromagnetik dapat menemukan casing sumur yang terkubur yang tidak lagi memiliki ekspresi permukaan.
- Survei elektromagnetik di udara dapat memberikan jangkauan

pengintaian yang cepat pada area yang luas dengan menggunakan sistem sayap tetap atau helikopter.

- Pengumpulan data dengan menggunakan metode berbasis ground adalah instrumen digital yang cepat dan modern yang terintegrasi dengan sistem GPS memungkinkan interpretasi tepat waktu dan akurat untuk diselesaikan.
- Tanda tangan dari sumber metalik dan piringan air asin dapat dideteksi.
- Permeabilitas magnetik menambah respons elektromagnetik yang diamati.
- Beberapa sistem, terutama platform penerbangan, dapat mengumpulkan informasi magnetik dan elektromagnetik secara bersamaan.

Kekurangan:

- Target kecil di kedalaman tidak dapat dideteksi.
- Benda-benda budaya, seperti pagar, saluran listrik, jalur pasokan air, tangki air, dan lain-lain, menciptakan anomali yang bisa menutupi atau meniru respons dari sumur terbengkalai.
- Kumpulan, pengolahan, dan interpretasi data elektromagnetik yang sukses seringkali memerlukan bantuan teknis spesialis spesialis geofisika ini.
- Survei helikopter umumnya tidak memiliki resolusi yang

dibutuhkan untuk secara rutin mendeteksi respon dari casing.

2.3.5.5 Perkiraan Waktu dan Biaya

Operasi lapangan untuk survei elektromagnetik tanah sangat mudah dilakukan dan memerlukan sedikit persiapan selain mengizinkan. Pengumpulan data berjalan dengan instrumen berjalan lambat; Cakupan 5-6 mil per hari dapat diharapkan di daerah terbuka dengan topografi sedang. Tingkat ini kira-kira setara dengan pengumpulan data magnetik tanah. Pengumpulan data elektromagnetik melalui udara memungkinkan area yang luas ditutupi dalam waktu singkat dan dapat mengurangi beberapa kesulitan yang memungkinkan. Namun, data elektromagnetik di udara pada umumnya akan memiliki resolusi lebih rendah karena jaraknya tertutup selama pengukuran tunggal dan jarak yang lebih jauh antara target dan sensor. Survei di darat mungkin juga sangat mahal untuk wilayah kecil.

- Mobilisasi: Biaya variabel tergantung pada sistem dan lokasi vendor.
- Produksi (Pengumpulan Data): Survei Darat: Ground Resolusi Tinggi EM

2.3.6 Metode Magnetotellurik Frekuensi Sumber Terkendali

2.3.6.1 Pendahuluan

CSAMT mengacu pada Controlled Source Audio-frequency Magneto-Tellurics. Target utama yang digunakan metode CSAMT untuk penelusuran sumur terlantar adalah butiran air asin atau kebocoran lubang bor lainnya. Tujuan survei dalam kasus ini adalah untuk menemukan sumber cendawan, yang mungkin berasal dari lubang bor yang tidak dapat disambungkan atau bocor yang tidak benar. Meski agak mahal, metode CSAMT memiliki kelebihan ketidakpekaan relatif terhadap kebisingan budaya dan kedalaman penyelidikan yang lebih besar daripada kebanyakan metode geofisika lainnya yang dibahas dalam manual ini. Karena ini adalah metode profiling yang mendalam, tidak tepat untuk pencarian area luas untuk bahan konstruksi khusus seperti casing atau jaringan pipa.

Penggunaan utama metode CSAMT di masa lalu adalah untuk menggambarkan badan bijih, target panas bumi, akuifer, dan struktur geologi dari permukaan sampai kedalaman setinggi 2 atau 3 km. Investigasi geofisika dangkal difokuskan pada pengkarakterisasi akuifer, studi salinitas air tanah, penyelidikan lokasi pembuangan limbah, dan kebocoran struktur penahanan.

2.3.6.2 Dasar Fisik

A. Dasar-dasar Metode CSAMT

Metode CSAMT adalah teknik bunyi elektromagnetik berbasis frekuensi yang menggunakan sumber sinyal sinkron jauh. Sinyal elektromagnetik dihasilkan oleh dipole ground yang besar dengan frekuensi di kisaran <1 Hz sampai sekitar 8.000 Hz. (Dipol adalah sepasang elektroda yang dihubungkan oleh kawat konduktor terisolasi, yang digunakan untuk menghasilkan atau mendeteksi voltase listrik.) Pengukuran komponen medan listrik dan magnet (E dan H, masing-masing), dibuat sepanjang array linier stasiun, digunakan untuk menghitung struktur resistivitas bumi.

Rasio magnitudo medan listrik ortogonal, horisontal dan magnitudo magnetik (misalnya E_x dan H_y) menghasilkan resistivitas nyata dari bumi (kadang-kadang disebut resistivitas Cagniard). Perbedaan antara fase medan listrik dan medan magnet menghasilkan fase impedansi, yang sering disebut fasa atau perbedaan fasa.

Kedalaman penyelidikan untuk CSAMT bergantung pada frekuensi dan resistivitas bawah permukaan. Secara umum, semakin rendah frekuensi semakin besar kedalaman penyelidikan; dan semakin tinggi resistivitas tanah, semakin besar kedalaman penyelidikan. Metode CSAMT telah terbukti

berguna untuk pemetaan kerak bumi di kisaran kedalaman 20 sampai 2.000 m. Resolusi lateral dikendalikan terutama oleh panjang dipol medan listrik stasiun penerima, biasanya 10 sampai 200 m. Resolusi vertikal umumnya 5 sampai 20% dari kedalaman.

Nilai resistivitas yang dihitung dari data CSAMT berhubungan dengan geologi. Faktor utama yang mempengaruhi resistivitas meliputi porositas batuan atau sedimen, cairan pori, dan adanya kumpulan mineral tertentu. Untuk penyelidikan hidrologi, data CSAMT dapat memberikan informasi penting mengenai struktur geologi, litologi, kedalaman dan tren air, salinitas fluida pori. Untuk pencarian sumur yang ditinggalkan, metode ini bisa berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi dan menggambarkan bulu-bulu air di bawah permukaan.

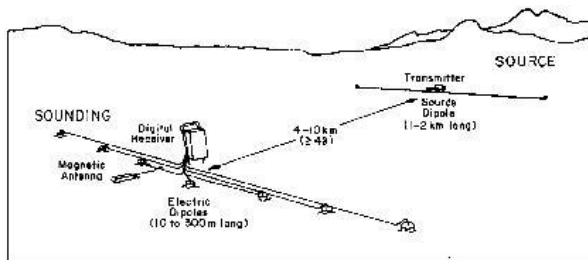
2.3.6.3 Metode Survei

A. Peralatan dan Prosedur Survei

Gambar 2-18 menunjukkan penyiapan survei CSAMT yang khas. Sinyal sumber diberikan dengan mentransmisikan arus bolak-balik pada rentang frekuensi dari sekitar 0,1 Hz sampai 8 kHz, ke ground melalui dipol ground yang panjang. Komponen medan elektromagnetik (amplitudo dan fasa) diukur

beberapa kilometer jauhnya di area yang diminati menggunakan antenna medan magnet dan dipol listrik sekitar 10 sampai 100 meter.

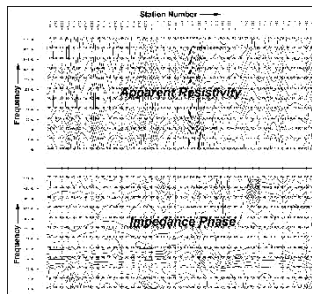
Biasanya, penyebaran dipol pengukuran ditata dengan menempatkan serangkaian elektroda (umumnya elektroda pot berpori tembaga-sulfat penuh) di tanah yang terhubung ke masing-masing lainnya melalui unit pengolahan data geofisika pusat. Unit pemancar dan penerima kemudian disinkronisasi dan sinyal ditransmisikan pada rangkaian frekuensi yang berbeda. Serangkaian frekuensi digunakan untuk menyelidiki, atau suara, ke kedalaman yang berbeda: frekuensi rendah yang dirasakan lebih dalam daripada frekuensi yang lebih tinggi. Dengan menggunakan receiver delapan kanal, hingga 7 dipol medan listrik dapat diukur bersamaan dengan hanya satu pengukuran medan magnet (medan magnet cenderung bervariasi perlahan sepanjang panjang receiver).



Gambar 2-15. Penyiapan survei CSAMT

B. Pengolahan Data dan Interpretasi

Data lapangan terakhir terdiri dari resistivitas dan sudut fase yang jelas antara medan listrik dan medan magnet. Pengolahan rutinitas kemudian digunakan untuk demultiplex data dan menampilkannya dalam bentuk pseudosections, yaitu plot profil lokasi stasiun versus frekuensi (Gambar 2-16). Model umumnya ditunjukkan sebagai peta kontur warna yang menggambarkan tren resistivitas di bawah permukaan.



Gambar 2-16. CSAMT pseudosections dari resistivitas dan fase impedansi yang nyata

2.3.6.4 Penerapan

A. Target Terkait

Target utama yang digunakan metode CSAMT untuk penelusuran sumur terlantar adalah butiran air asin atau kebocoran lubang bor lainnya. Tujuan survei dalam kasus ini adalah untuk menemukan sumber cendawan, yang mungkin berasal dari lubang bor yang tidak dapat disambungkan atau bocor yang tidak benar. Dalam situasi ini, metode CSAMT

paling baik digunakan hanya setelah 1), ada permukaan atau monitor bukti sumur di daerah yang menunjukkan adanya hujan es atau kebocoran lainnya di daerah tersebut, dan 2), metode lain yang dapat dilakukan mendeteksi bahan konstruksi yang baik, seperti metode EM berbasis magnet, ground-based, atau GPR, telah digunakan dan gagal menemukan sumur yang ditinggalkan. Karena ini adalah metode profiling yang mendalam, CSAMT, tidak sesuai untuk pencarian area yang luas untuk bahan konstruksi khusus seperti casing atau jaringan pipa. Jaringan pipa yang dikubur sering ditunjukkan oleh data CSAMT yang tidak sesuai; Namun, karena orientasinya, data CSAMT biasanya tidak sensitif terhadap casing sumur, kecuali elektroda ditempatkan tepat di atas, atau sangat dekat, casing yang terkubur. Delineasi dan pemantauan selang waktu sumur minyak yang berhubungan dengan baik juga dimungkinkan dengan metode CSAMT.

Metode CSAMT, seperti metode Resistivity, menghasilkan perkiraan struktur resistivitas bawah permukaan. Ada beberapa kasus di mana anomali resistivitas mungkin terjadi yang terkait dengan sumur yang ditinggalkan. Pertama, lubang bor yang tidak disegel atau tidak terpasang dengan benar dapat menyediakan saluran air laut yang lebih dalam dan lebih asin untuk bermigrasi ke atas dan ke lateral di zona

berpori yang mengandung air tanah tanpa garam. Situasi lain mungkin timbul jika lubang bor menyediakan saluran air dari bawah permukaan air untuk bocor ke atas ke zona tak jenuh atau vadose. Terakhir, cairan yang bocor dari lubang bor mungkin mengandung kontaminasi hidrokarbon dalam jumlah signifikan atau residu fluida pengeboran. Cairan pengeboran, meski banyak variabel dalam komposisi, umumnya bersifat konduktif. Kemungkinan besar mereka akan lebih konduktif daripada kebanyakan sumber air tanah yang segar.

Terlepas dari apakah bulu yang berhubungan dengan lubang bor dapat dilihat sebagai anomali resistivitas pada data CSAMT, akan bergantung pada kontras pada resistivitasnya dibandingkan dengan cairan pori-pori di sekitarnya. Gerakan cairan ini melalui lubang bor dan ke formasi lain atau ke permukaan diatur oleh tekanan tekanan hidrolik di bumi. Pada sebagian besar kasus yang dibahas di atas, resistivitas rendah (konduktivitas tinggi) anomali diperkirakan dalam data geofisika, di sekitar parit terkait lubang bor.

Metode CSAMT telah digunakan dengan cukup berhasil dalam beberapa tahun terakhir untuk mendeteksi dan memantau cairan konduktif di lapangan. Sebagian besar jenis penyelidikan ini berfokus pada pengkarakterisasi akuifer, studi salinitas air tanah, penyelidikan lokasi pembuangan limbah,

dan kebocoran struktur penahanan (misalnya, McNeill, 1988; Bartel, 1990, Hans et al., 1993, Carlson et al., 2000, dan lain-lain). Studi kasus khusus dimana metode CSAMT digunakan dengan sukses untuk menemukan butiran air asin yang terkait dengan baik dapat ditemukan di Fryberger dan Tinlin (1984), dan Zonge dkk., (1984).

B. Sensitivitas dan Keterbatasan

Kedalaman penetrasi untuk CSAMT dapat berkisar dari sekitar 10 m sampai beberapa kilometer tergantung pada resistivitas tanah dan frekuensi yang digunakan. Resolusi lateral dikendalikan oleh panjang dipol medan listrik yang digunakan, yang biasanya antara panjang 10 dan 200 meter. Untuk pencarian yang terlantar dengan baik di mana bulu terkait lubang bor adalah target pencarian, jarak antar dipol CSAMT kemungkinan berada di urutan 3 sampai 20 meter, dan kisaran minat yang mendalam akan dibatasi pada bagian atas 500 meter atau lebih bagiannya. Hubungan yang berguna untuk memperkirakan kedalaman maksimum penyelidikan untuk data CSAMT diberikan oleh:

$$D = 356 * \text{sqrt}(\rho / f)$$

Dimana D adalah perkiraan kedalaman penyelidikan dalam meter, ρ adalah resistivitas nyata dari tanah di Ohm-meter, dan f adalah frekuensi di Hz. Perhatikan bahwa

meskipun banyak sistem CSAMT menghasilkan sinyal hingga frekuensi 1 Hz atau kurang, dalam praktiknya, ada batasan fisik pada frekuensi terendah yang dapat digunakan di suatu area tanpa melakukan pengukuran yang dianggap berada di lapangan dekat, dimana faktor geometrik membuat pemodelan data sangat sulit.

Resolusi vertikal menurun dengan bertambahnya kedalaman, oleh karena itu bulu-bulu kecil yang terkait dengan sumur pada kedalaman yang besar tidak akan dapat diatasi dengan metode CSAMT (atau metode listrik atau EM lainnya). Resolusi vertikal data CSAMT kira-kira 5 sampai 20 persen dari kedalaman, tergantung pada perbedaan resistivitas, kompleksitas geologi dan kebisingan listrik. Menggunakan 10 persen sebagai rata-rata, cuka garam setebal 5 m segar Air tanah bisa diatasi sampai kedalaman sekitar 50 m (10 persen adalah perkiraan yang cukup konservatif).

Metode CSAMT sensitif terhadap berbagai faktor kebisingan seperti jalur listrik, sub-stasiun, sistem proteksi pipa katodik, dan sumber kebisingan EM lainnya. Pipa dan pagar yang terkubur juga bisa menyebabkan kebisingan anomali pada data juga. Namun, karena metode CSAMT menggunakan sinyal sumber aktif yang stabil pada rangkaian frekuensi yang ditentukan, data biasanya kurang sensitif terhadap sumber

kebisingan ini daripada kebanyakan metode EM dan elektrik lainnya. Selain itu, CSAMT secara umum dapat memberikan penetrasi dan resolusi lateral yang lebih besar daripada survei resistivitas listrik, yang dapat digunakan untuk tujuan serupa dalam pencarian sumur yang ditinggalkan (kebocoran air asin atau kebocoran zona vadosa dari lubang bor).

Keterbatasan utama metode CSAMT adalah logistik survei, yang bisa rumit karena melibatkan pengaturan dan sinkronisasi pemancar jarak jauh dengan rangkaian linier ground dipol yang lurus di lokasi penerima. Di beberapa daerah berpenduduk padat, ini mungkin bermasalah. Metode ini juga terbatas pada investigasi lebih dalam dari permukaan bawah permukaan: permukaan yang sangat dekat (atas 1 sampai 3 meter) tidak dapat dipecahkan dengan menggunakan metode ini, walaupun kemampuannya untuk pencitraan dalam juga merupakan salah satu keuntungan utama metode CSAMT.

2.3.6.5 Perkiraan Waktu dan Biaya

Waktu dan biaya survei CSAMT agak lebih besar daripada metode geofisika lainnya seperti teknik EM cepat atau metode magnetik; Namun, cakupan dan tujuan pencarian yang ditinggalkan dengan baik menggunakan CSAMT sangat berbeda. CSAMT, seperti metode resistivitas, paling baik digunakan untuk menggambarkan bulu-bulu air asin yang

terkait dengan sumur atau kebocoran lainnya dari lubang bor ke formasi di sekitarnya.

Karena CSAMT menggunakan dipol listrik sebagai pemancar, yang panjangnya mencapai 1500 m dan terletak beberapa kilometer dari dipol penerima, ada beberapa waktu yang diperlukan dalam memasang pemancar. Pemancar juga dapat dipindahkan beberapa kali selama survei untuk mengakomodasi perubahan geometri survei. Seorang awak survei yang terdiri dari 3 sampai 4 orang biasanya diminta untuk melakukan survei, salah satunya mengoperasikan pemancar, dan beberapa di lokasi penerima dipol (satu orang untuk menjalankan geofisika penerima, dan 1 atau 2 lainnya ke kawat tata letak dan elektroda pabrik). Survei dapat dilakukan dengan berjalan kaki di daerah yang tidak memiliki akses kendaraan karena medan atau alasan lainnya.

2.4 Metode Radar Penetrasi Tanah

2.4.1 Pendahuluan

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah metode elektromagnetik frekuensi tinggi yang biasa digunakan untuk aplikasi teknik dan geoteknik. Aplikasi utamanya meliputi deteksi utilitas, void, tangki penyimpanan bawah tanah, dan penyelidikan struktural seperti analisis rebar dalam struktur

beton. Dengan munculnya antena frekuensi rendah, aplikasi lingkungan yang lebih dalam telah meningkat. GPR telah terbukti efektif dalam menemukan benda-benda terkubur metalik dan non-logam yang terkubur di bawah permukaan.

GPR dapat digunakan untuk menemukan sumur terbengkalai yang memiliki casing sumur non-logam atau sumbatan pengabaian beton tanpa casing, keadaan di mana metode magnetik atau elektromagnetik tidak akan efektif. Metode GPR, bagaimanapun, mungkin kurang hemat biaya daripada salah satu dari metode ini karena jarak baris yang dibutuhkan akan cukup tinggi untuk menyelesaikan target ini. GPR juga bisa mendeteksi bahan casing metalik, namun kedalaman penyelidikan untuk GPR akan jauh lebih penting daripada metode magnetik, dan mungkin kurang efektif pada tanah konduktif daripada metode elektromagnetik untuk tujuan ini. Dalam praktiknya, penerapan utama metode GPR untuk pencarian sumur yang ditinggalkan adalah untuk pencarian daerah yang rinci dan kecil, di mana sumur diketahui ada namun harus berada, dan untuk area di mana casing non-logam atau sumbat beton tanpa casing dicurigai.

2.4.2 Dasar Fisik

Radar penetrasi darat adalah teknik pencitraan geofisika

dimana pulsa elektromagnetik ditransmisikan ke bumi dari antenna yang ditempatkan di permukaan bumi. Denyut nadi ini tercermin dan terdifraksi oleh struktur geologi dan oleh berbagai ciri anomali yang mungkin ada di permukaan bawah permukaan. Gelombang yang tercermin dan terdifraksi diterima oleh antenna di permukaan bumi. Serangkaian pengukuran semacam itu dilakukan di sepanjang garis, saat diplot berdampingan, memberikan gambaran resolusi tinggi mengenai rincian fitur yang ada pada irisan vertikal melalui bumi di bawah garis survei.

GPR menggunakan antenna untuk mentransmisikan pulsa elektromagnetik ke ground pada rentang frekuensi radar (16 MHz sampai 50 GHz). Kedalaman penetrasi untuk GPR bergantung pada frekuensi aktual yang digunakan dan sifat listrik di bawah permukaan. Refleksi pulsa radar mungkin berasal dari inhomogeneities pada antarmuka lapisan, zona jenuh, rongga, dan benda-benda yang terkubur seperti kabel, pipa, pondasi, dan reruntuhan. Bergantung pada frekuensi yang digunakan, metode GPR mampu menghasilkan pencitraan dengan resolusi sangat tinggi dari permukaan bawah dangkal. Faktor utama yang mengendalikan refleksi GPR adalah sifat listrik dan magnetik permukaan bawah permukaan, dan faktor geometrik yang terkait dengan bagaimana energi

elektromagnetik disebarkan.

Metode ini terutama bergantung pada dua sifat listrik material bawah permukaan: konduktivitas dan permitivitas dielektrik. Konduktivitas listrik adalah kemampuan material untuk melakukan arus listrik, diberikan dalam satuan Mhos per meter. Batu dan tanah sering digambarkan oleh sebuah properti yang disebut resistivitas, diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang merupakan resiprokal konduktivitas. Resistivitas analog dengan resistansi pada rangkaian listrik sederhana, kecuali bahwa itu adalah barang massal material.

Permitivitas dielektrik adalah properti bahan yang berkaitan dengan konduktivitas dan permeabilitas magnetik material. Permitivitas dielektrik relatif (RDP) material adalah kuantitas tak berdimensi yang mewakili kapasitas bahan untuk disimpan dan kemudian memungkinkan aliran energi elektromagnetik saat medan dilewati. Tanah, batuan atau sedimen yang "dielektrik" akan memungkinkan pelepasan sebagian besar energi elektromagnetik dengan mudah. Material yang lebih elektrik konduktif, kurang dielektrik, dan akan cenderung menghalangi arus energi elektromagnetik. Perbedaan sifat dielektrik bisa disebabkan perbedaan sedimen atau tanah, air atau variasi fluida pori-pori lainnya, perubahan litologi, kerapatan curah atau perubahan porositas. Refleksi

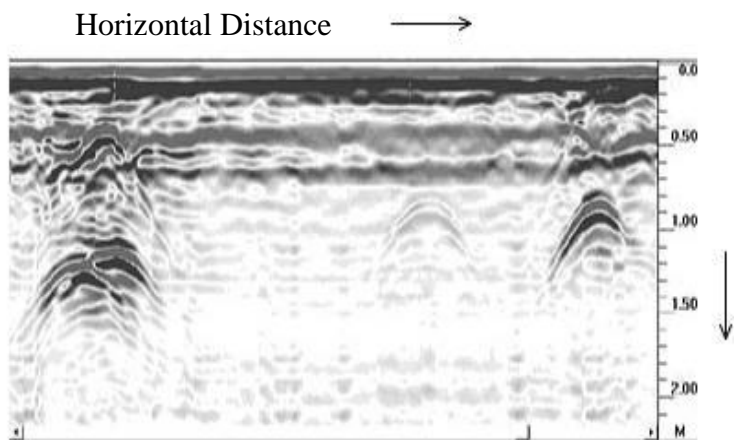
kuat atau halus, atau perubahan karakter reflektif energi radar diamati sebagai hasil dari perbedaan ini. Refleksi yang signifikan juga akan terjadi pada void, benda logam, atau objek buatan manusia yang terkubur di mana sifat listrik sangat kontras dengan tanah atau material sekitarnya (Gambar 2-21).

Dalam prakteknya, permitivity dielektrik relatif (RDP) adalah parameter penting yang digunakan untuk mengubah waktu perjalanan refleksi radar menjadi perkiraan mendalam. Nilai-nilai ini dapat diperoleh dari literatur atau produsen peralatan dan perangkat lunak GPR untuk medium yang paling umum ditemui selama survei lapangan. Permittivitas dielektrik relatif, RDP adalah:

$$\mathbf{RDP = c / v}$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya (sekitar 0,3 meter per nanosecond), dan v adalah kecepatan energi radar saat melewati medium. Data radar dicatat sebagai waktu perjalanan dua arah dan amplitudo pulsa radar yang dipantulkan. Untuk menghitung kedalaman refleksi, data yang dibutuhkan adalah waktu refleksi dan kecepatan energi radar dalam media tersebut. Perlu dicatat bahwa waktu pengembalian biasanya diberikan dalam waktu perjalanan dua arah, yaitu dari antena pemancar ke reflektor dan belakang, jadi ini harus diperhitungkan dalam perhitungan kedalaman.

Kedalaman penyelidikan untuk GPR adalah fungsi dari frekuensi antena pemancar dan konduktivitas listrik tanah di wilayah survei. Antena frekuensi rendah mencapai kedalaman penetrasi yang lebih besar daripada antena frekuensi yang lebih tinggi, namun memiliki resolusi spasial yang lebih buruk. Ini adalah konsep dasar dalam kebanyakan metode geofisika: ada tradeoff yang tidak dapat dihindari antara menyelesaikan kekuatan dan kedalaman penyelidikan, dan ini didasarkan pada frekuensi energi yang digunakan. Untuk metode GPR, konduktivitas listrik tanah dan material bawah permukaan juga mengendalikan kedalaman penyelidikan yang efektif. Tanah konduktif, terutama tanah liat yang kaya, melemahkan gelombang radar jauh lebih cepat daripada pasir kering dan batuan kering.



Gambar 2-17. Refleksi radar. Dimensi vertikal telah dikonversi dari waktu perjalanan dua arah ke perkiraan kedalaman dalam meter di bawah permukaan. Anomali paling kiri, terlihat pada kedalaman sekitar 1.5 m, merupakan refleksi dari dua pipa gas yang dikuburkan secara paralel. Anomali paling kanan, terlihat pada kedalaman sekitar 1,0 m, merupakan pantulan dari pipa baja; Refleksi samar (amplitudo rendah) yang terlihat di sebelah kiri ini adalah pipa PVC yang dikuburkan pada kedalaman yang sama. (Gambar milik Zonge Engineering & Research Organization.)

2.4.3 Metode Survei

2.4.3.1 Peralatan

Ada banyak produsen dan tersedia sistem GPR saat ini. Sebagian besar diproduksi untuk survei tujuan umum menggunakan satu antena frekuensi tengah. Sistem ini umumnya terdiri dari 3 elemen: unit kontrol, unit penerima, dan unit pemancar. Unit kontrol menghasilkan pulsa listrik yang dikirim ke antena pemancar dan catatan dan menyimpan data survei. Sebagian besar unit kontrol dapat menampilkan plot penampang data dan memungkinkan beberapa pemrosesan dasar. Antena penerima dan pemancar sering ditempatkan

bersamaan di perumahan namun juga dapat ditemukan sebagai unit terpisah. Antena pemancar memberikan pulsa radar dan pulsa yang dipantulkan kembali ke antena penerima.

2.4.3.2 Prosedur

Sebagian besar survei GPR dilakukan dalam continuous scan mode. Dengan metode ini, antena ditempatkan langsung ke tanah dan ditarik sepanjang jalur survei sedangkan data dikumpulkan dan direkam terus menerus. Sistem GPR sering ditarik atau digulung di darat oleh mobil, kereta luncur, gerobak, atau oleh operator lapangan dengan berjalan kaki (Gambar 2-22).

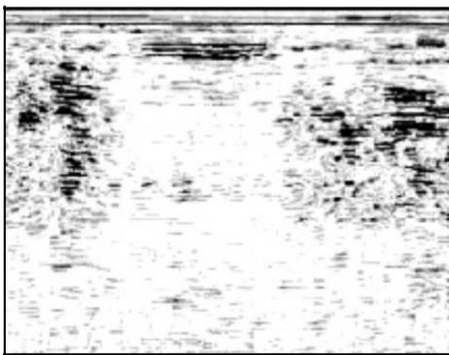
Data yang diperoleh selama survei dapat digunakan untuk menghasilkan profil cross-sectional sepanjang garis survei. Sebagian besar sistem GPR memungkinkan penanda posisi ditambahkan secara langsung ke dalam data selama akuisisi. Hal ini penting agar anomali refleksi bisa berada tepat di sepanjang garis survei. Sistem GPR juga dapat diposisikan dengan integrasi dengan GPS real-time (Lampiran B).



Gambar 2-18. Penggunaan Sistem GPR. Sistem yang ditunjukkan di sini adalah sistem Noggin 500, yang beroperasi pada kisaran 250 - 750 MHz, dan dirancang untuk pencitraan dengan resolusi tinggi dari permukaan bawah dangkal (sampai 8 meter, tergantung pada bahan). Sistem ini diproduksi oleh Sensors & Software, Inc. dari Mississauga, Kanada. (Gambar milik Sensors & Software, Inc.)

Sebagian besar data GPR diproses dan ditafsirkan pada profil 2-D yang mewakili lintas bagian bumi. Refleksi dan difraksi dari variasi geologis atau objek yang terkubur ditunjukkan oleh refleksi amplitudo tinggi, perubahan karakter refleksi, atau tidak adanya refleksi dalam kasus kekosongan bawah permukaan (seperti lubang bor atau lubang curah hujan)

(Gambar 2-19). Data beresolusi sangat tinggi, yang diperoleh dengan jarak dekat yang sangat dekat, atau dari antenna array 2-D, dapat diproses dan dianalisis sebagai irisan kedalaman plan-view dari amplitudo energi radar yang dipantulkan. Baik data GPR profil maupun kedalaman dapat memiliki berbagai pemrosesan sinyal dan teknik penyaringan yang diterapkan untuk memberi gambaran yang lebih baik terhadap sasaran yang diminati.



(a)



(b)

Gambar 2-19. (a), citra GPR dari drywell bawah permukaan yang tidak dapat diakses dengan penutup akses beton. Drywell dipindai dengan antenna 200 MHz. (b), citra GPR dari drywell bawah permukaan yang mudah dijangkau dengan penutup

lubang baja. (Gambar radar milik Dampak Lingkungan, sebuah divisi dari Impact Environmental Consulting, Inc.)

2.4.4 Penerapan

2.4.4.1 Target Terkait

Sasaran yang dapat dideteksi dengan menggunakan GPR meliputi casing sumur logam, non-logam, tutupan, atau sumbatan ditinggalkan beton, jaringan pipa, atau benda terkait. Benda logam umumnya menghasilkan reflektor kuat yang dapat dengan mudah dilihat pada data GPR. Kebocoran bawah permukaan, seperti lubang bor sumur, mungkin juga menyebabkan anomali GPR terjatuh untuk kontras sifat listrik antara udara dan media tanah atau batuan. Bahan seperti plastik atau kayu juga bisa dilihat pada rekaman GPR tapi bisa sulit untuk mendeteksi di kedalaman, atau jika sifat listriknya mirip dengan tanah di sekitarnya medium.

2.4.4.2 Sensitivitas dan Keterbatasan

Kedalaman dimana energi radar dapat menembus sebagian bergantung pada frekuensi antenna dipekerjakan dan sebagian pada konduktivitas tanah. Seperti yang dibahas di atas, antenna frekuensi yang lebih tinggi memberikan resolusi lebih tinggi namun dengan biaya penurunan kedalaman

investigasi Sebaliknya, antena frekuensi rendah memberikan kedalaman yang lebih dalam investigasi namun dengan biaya penyelesaian. Dalam prakteknya, metode GPR mungkin saja berlaku untuk pencitraan casing yang sangat dangkal atau sumbatan ditinggalkan (kedalaman pemakaman dari tepat di bawah permukaan hingga satu atau beberapa meter di kedalaman pemakaman maksimal).

Antena yang tersedia secara komersial berkisar pada frekuensi pusat dari 16 MHz sampai 50GHz. Antena yang terpasang pada gerobak tipikal digunakan untuk pekerjaan geofisika dangkal, yang menyediakannya Pengumpulan data terus menerus di wilayah survei, berkisar antara 100 sampai 500 MHz frekuensi dan memberikan kedalaman penyelidikan dari sekitar 1 sampai 10 meter, masing-masing, dalam kondisi ideal. Sistem Cart-mounted atau sled-pull yang beroperasi pada frekuensi ini range (100 sampai 500 MHz) paling baik memberikan fungsionalitas yang dibutuhkan untuk tipikal ditinggalkan pencarian dengan baik Frekuensi yang lebih rendah (<100 MHz) umumnya digunakan untuk statis terdengar atau menyelidik dan bisa memberikan kedalaman investigasi lebih dari 10 meter.

Untuk pencarian sumur terlantar, salah satu keterbatasan terbesar metode GPR menyajikan adalah kedalaman penetrasi

yang terbatas di tanah yang sangat konduktif (terutama karena kadar air atau tanah liat). Keterbatasan lain berkaitan dengan ukuran target bunga. Untuk penelusuran sumur yang ditinggalkan, ini akan menjadi penutup casing, topi, atau beton yang baik. Borehole diameter biasanya di kisaran 3 sampai 24 inci (8 sampai 60 cm) dengan diameter. Rentang frekuensi operasi yang relatif tinggi dari sistem GPR yang diperlukan untuk menyelesaikannya target ukuran ini akan membatasi kedalaman penetrasi. Secara umum, sebuah objek mungkin terselesaikan jika dimensinya lebih besar dari panjang gelombang gelombang radar yang menyimpannya di atasnya. Perkiraan panjang gelombang radar dapat dihitung jika frekuensi dan kecepatan (atau RDP) materi diketahui:

$$\lambda = v$$

Dimana λ adalah panjang gelombang (dalam meter), v adalah kecepatan energi radar (gelombang) di bahan (dalam meter per detik), dan f adalah frekuensi (di Hertz). Untuk topi sumur, casing, dan struktur terkait yang terkubur pada kedalaman hingga 2 meter, antena frekuensi di kisaran 200 sampai 500 MHz bisa digunakan. Faktor lain yang mempengaruhi kemampuan untuk mendeteksi target baik yang

ditinggalkan adalah jarak baris GPR Fitur off-line hanya akan terdeteksi untuk jarak di urutan panjang gelombang energi radar yang digunakan. Jarak spasi yang sangat kecil akan dibutuhkan untuk gambar dikubur dengan baik casing, colokan, atau topi; Dalam banyak kasus ini akan menjadi 1 sampai 3 kaki (1 m atau kurang). Persyaratan ini akan membatasi efektivitas biaya survei GPR untuk sumur terbengkalai ke daerah yang cukup kecil. Dalam prakteknya, aplikasi utama metode GPR yang ditinggalkan pencarian dengan baik akan jadilah untuk pencarian wilayah yang rinci dan kecil, di mana sumur diketahui ada tapi harus berada, dan khususnya, untuk area di mana casing non-logam atau sumbat beton tanpa casing dicurigai.

BAB 3

Teknologi Pemanfaatan Sumur Tua

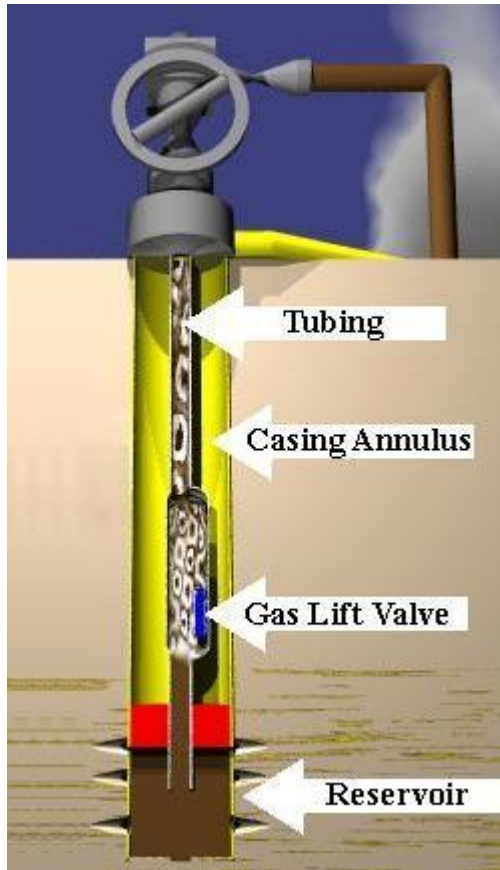
3.1 Teknologi Sumur Tua Secara Mekanis

Teknologi ini merupakan pemanfaatan metoda yang dapat membantu proses eksploitasi dari minyak bumi pada sumur tua, baik memanfaatkan kondisi cebakan maupun memanfaatkan sifat kimia, sifat fisika dan sifat mekanik dari minyak bumi itu sendiri. Berdasarkan jumlah target recovery minyak yang akan diproduksi, teknologi minyak dan gas dibagi menjadi 3, yaitu:

3.1.1 Primary recovery

Primary recovery merupakan istilah yang digunakan untuk minyak bumi yang dapat diproduksi dalam kondisi alam yang normal. Pada masa-masa awal industri, produksi minyak bumi dibatasi sepenuhnya oleh kondisi dimana proses hanya bergantung pada mekanisme pemulihan alamiah atau normal. Oleh karena keterbatasan ini, sebuah sistem pengangkatan buatan atau *artificial lift* dikembangkan untuk mengambil minyak bumi dari sumbernya (*reservoir*). Kemampuan reservoir tersebut untuk mendorong minyak bumi hingga ke

permukaan sudah menurun. Faktanya, hanya 5-15% minyak bumi kandungan sumur yang bisa diproduksi.

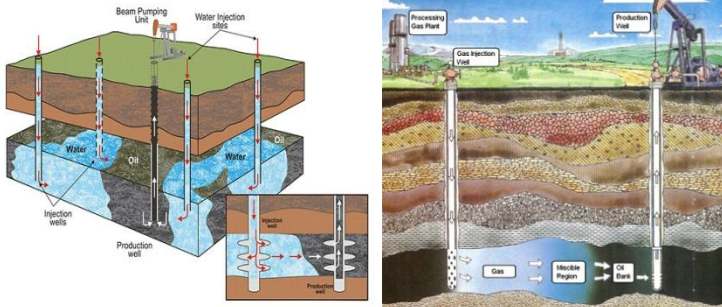


Gambar 3.1 Artificial Lift

3.1.2. Secondary recovery

Secondary recovery merupakan istilah bagi minyak bumi yang dapat diperoleh ketika memanfaatkan teknik-teknik yang telah dikembangkan untuk mendorong minyak bumi keluar dari pori-pori batuan reservoir dengan menggunakan *fluida* lainnya. Metode “*secondary recovery*” yang banyak digunakan adalah *water flooding* dan *gas injection*, hal ini dianalogikan dari mekanisme produksi “*primary recovery*” yang keluar akibat dorongan air dan yang terjebak bersama minyak bumi.

Untuk mengambil minyak bumi dari sumbernya, banyak sekali faktor yang harus dipertimbangkan, misalnya tekanan reservoir, porositas, permeabilitas, kekentalan minyak dan sebagainya. Faktor-faktor kompleks ini membuat metode *waterflooding* tidak bekerja secara maksimal. Peningkatan produksi minyak bumi yang diproduksi dengan metode-metode tersebut hanya **10-20 %** dari minyak bumi yang terdapat di sumbernya.



Gambar 3.2 Water Flooding

3.1.3 Tertiary Recovery (Enhanced Oil Recovery)

Tertiary recovery merupakan istilah pada proses pengambilan yang lebih canggih yang menjadi rujukan banyak professional di perminyakan adalah EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Beberapa orang menyebut teknik ini sebagai “*tertiary recovery*”. Beberapa contoh metode ini adalah injeksi air berkarbonasi (mengandung CO₂), alkaline dan polimer. Metode ini merupakan metode yang paling tepat penerapannya terhadap sumur-sumur tua dikarenakan seperti yang kita ketahui sumur tersebut memiliki kandungan yang tinggal sedikit, sehingga dapat menambah tingkat produksi masing-masing sumur secara signifikan. Walaupun metode EOR ini memiliki efisiensi pengangkatan yang lebih baik, ternyata masih ada lebih dari setengah minyak bumi yang terkandung tertinggal di dalam tanah. Dengan metode EOR ini,

hanya sekitar **30 – 60%** kandungan minyak bumi yang dapat diambil dari sumbernya.

Berikut merupakan contoh-contoh teknologi EOR:

1) Injeksi Campuran

Proses pendesakan tercampur adalah proses pendesakan dimana fluida pendesak dan fluida yang didesak larut satu dengan yang lainnya dan tidak terbentuk suatu interface. Suatu zona transisi tidak akan berkembang seperti pada pendesakan tak tercampur.

Perbedaan permeabilitas efektif diantara fluida-fluida yang saling tercampur tidak terjadi pada pendesakan tercampur, sehingga tidak akan terdapat suatu gradien saturasi di belakang front.

Distribusi fluida yang terdapat di dalam zona transisi bukan merupakan fungsi dari hubungan permeabilitas relatif tetapi dipengaruhi oleh difusi dan proses pencampuran secara fisis.

Perbedaan nyata antara pendesakan tercampur dengan pendesakan tak tercampur terletak pada saturasi daerah yang zona transisinya telah dilalui.

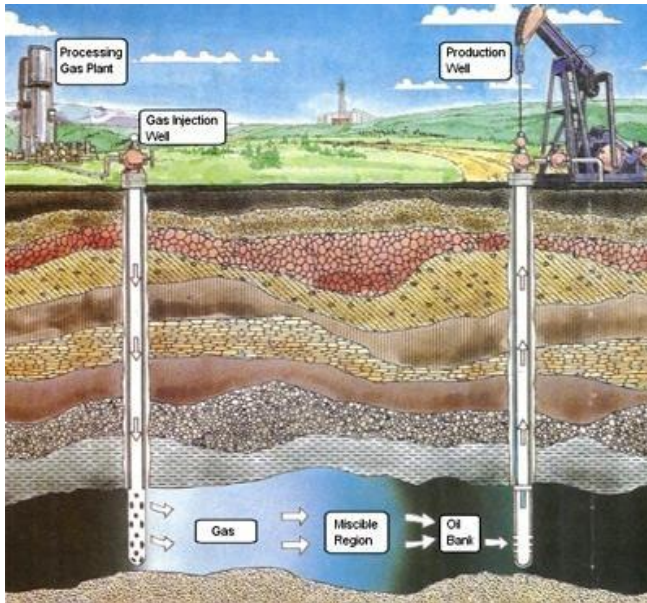
Zona transisi pada pendesakan tercampur menyapu semua fluida yang dapat tercampur (miscible) dengannya sehingga saturasi minyak residual yang terdapat di daerah tersebut mendekati nol.

Injeksi tercampur ini dapat dilakukan dengan dua cara dalam pemakaian fluida injeksinya, yaitu :

- 1) Menginjeksikan fluida (pelarut) yang langsung bercampur dengan minyak (absolutely miscible). Fluida ini mahal sehingga biasanya hanya diinjeksikan dalam jumlah secukupnya untuk membuat tembok yang diikuti oleh fluida pendesak lain yang tidak begitu mahal. Jenis pelarut yang dapat bercampur ini antara lain : alkohol, liquid petroleum gas (LPG) dan propana.
- 2) Menginjeksikan fluida yang dapat bercampur dengan minyak pada tekanan, temperatur dan komposisi kimia tertentu (thermodynamically miscible). Jenis fluida tersebut antara lain : gas CO₂, gas inert, gas yang diperkaya dan gas kering pada tekanan tinggi.

1. Injeksi Gas CO₂

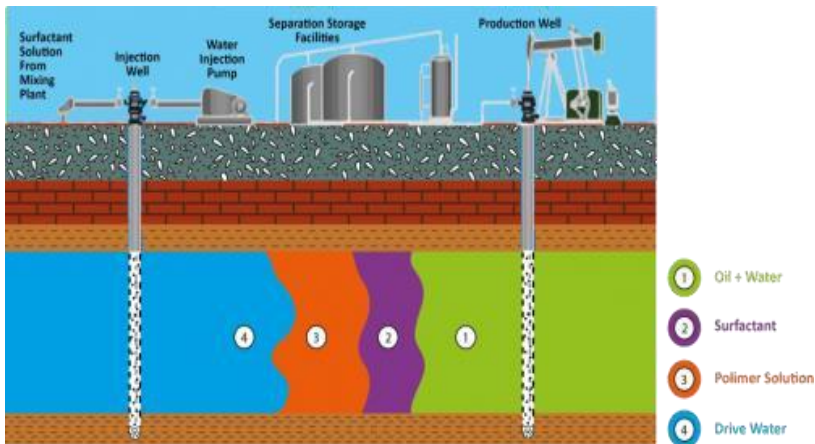
2. Injeksi Gas Tak Reaktif (Inert)
3. Injeksi Gas Diperkaya
4. Injeksi Gas Kering Pada Tekanan Tinggi



Gambar 3.3 Injeksi Campuran

2) Injeksi Kimiawi

Injeksi air atau gas dalam reservoir minyak tidak sepenuhnya berhasil menguras minyak yang berada dalam pori-pori batuan reservoir, atau dengan kata lain masih terdapat sejumlah minyak yang tinggal di reservoir pada akhir eksploitasinya. Penyapuan reservoir yang tidak sempurna (penyapuan sebagian) dan terjebakannya minyak oleh gaya kapiler di dalam zona terinvasi menyebabkan hal tersebut.



Gambar 3.4 Injeksi Kimiawi

Penelitian selanjutnya diarahkan untuk meningkatkan perolehan minyak lebih lanjut, dimana hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut ini :

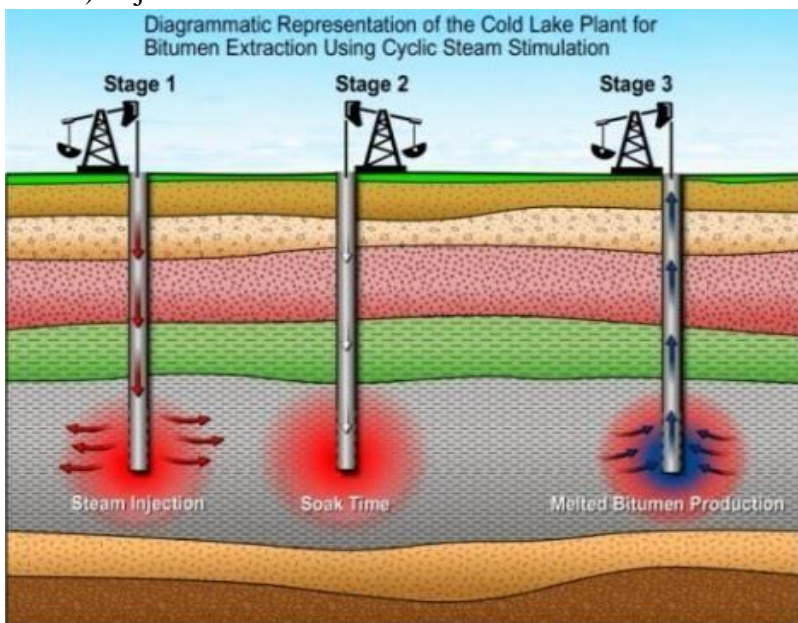
- a. Meningkatkan efisiensi penyapuan dengan mengurangi mobility ratio antara fluida injeksi dan minyak reservoir.
- b. Menghilangkan atau mengurangi gaya-gaya kapiler sehingga dapat meningkatkan efisiensi pendesakan.
- c. Menggabungkan kedua cara tersebut secara bersamaan.

Jenis-jenis injeksi kimiawi ini adalah injeksi polimer, injeksi surfactant dan injeksi alkaline. Injeksi polimer dan alkaline berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penyapuan

(sweep efficiency), sedangkan injeksi surfactant berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pendesakan (displacement efficiency).

- Injeksi Polimer
- Injeksi Surfactant
- Injeksi Alkaline

a) Injeksi Thermal



3.5 Injeksi Thermal

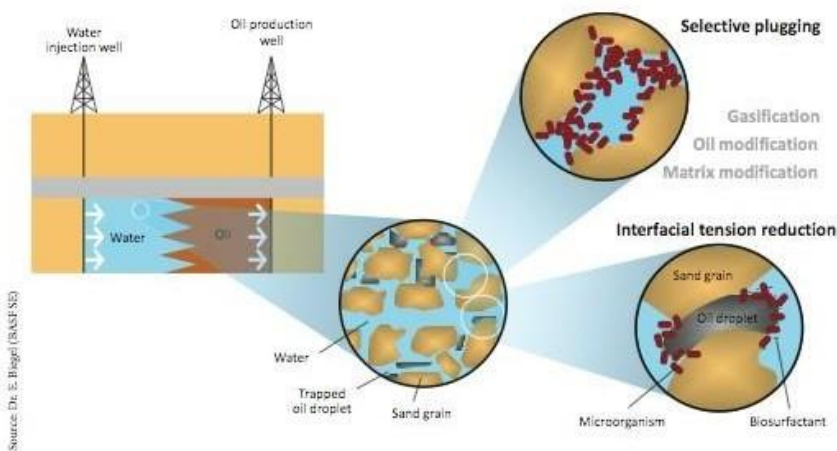
Fungsi utama injeksi thermal adalah mengurangi viskositas minyak di reservoir. Air panas, uap panas maupun udara yang diinjeksikan dalam proses ini akan menambah gaya

pendorongan.

Gaya kapiler dipengaruhi oleh panas secara tidak langsung, di lain pihak fraksi minyak akan terdistilasi dan menjadi mudah bergerak jika minyak terjebak oleh panas.

Injeksi thermal yang dimaksud adalah injeksi air panas, injeksi uap panas dan pembakaran di tempat (in-situ combustion).

- 1) Injeksi Air Panas
 - 2) Injeksi Uap
 - 3) Pembakaran Di Tempat
- b) Injeksi Mikroba (MEOR)



▲ Ways of using microorganisms to enhance oil production.

Gambar 3.6 Injeksi Mikroba

Injeksi mikroba (*Microbial enhanced oil recovery*) adalah suatu metode pengurusan minyak tahap lanjut dengan cara menginjeksikan mikroba ke dalam reservoir untuk meningkatkan perolehan minyak.

3.2 Teknologi Pengambilan Minyak pada Sumur Tua

Untuk mengambil minyak bumi dari dalam sumur, maka di atas mulut sumur minyak bumi didirikan *Tripot* (Tiang Kaki Tiga) yang tingginya kurang lebih 12 meter dari atas tanah. *Tripot* tersebut terbuat dari kayu atau pipa besi dan digunakan untuk menarik timba yang berisi minyak bumi dari dalam sumur. Satu sumur minyak bumi dikerjakan oleh tiga orang pekerja. Dari tiga orang pekerja itu, tugasnya adalah berbeda-beda. Seorang pekerja tugasnya sebagai operator dan yang dua orang lainnya sebagai penimba minyak bumi.

Timba minyak bumi yang biasa digunakan berukuran panjang 9 meter dan berdiameter 3 dim. Namun ada sumur lain yang menggunakan timba minyak berukuran 4 atau 5 dim. Satu timba dengan panjang 9 meter berisi 150 liter minyak bumi. Timba dari dalam sumur ditarik keatas dengan seling atau tali kawat baja yang panjangnya kurang lebih 500 meter. Caranya, seling baja dikaitkan pada ujung *Tripot* bagian atas. Setelah itu,

seling baja dikaitkan dengan pelek roda truk bagian belakang. Apabila mesin truk mercy tua dihidupkan, maka roda belakang mulai berputar. Dengan berputarnya roda truk, maka timba yang berisi minyak akan tertarik keatas, selanjutnya pekerja menumpahkan timba yang berisi minyak kedalam bak penampungan.

Seling kawat baja yang digunakan menarik timba minyak bumi hanya bertahan kurang lebih satu bulan saja. Apabila ada tanda-tanda seling mulai rusak atau berserabut, maka segera dilakukan penggantian seling yang baru. Karena bila seling putus, timba minyak akan jatuh ke dalam dasar sumur dan sulit mengambilnya, memerlukan biaya, serta produksi akan berhenti. Oleh karena itu diusahakan jangan sampai seling tersebut sampai putus.

Untuk menarik seling, menggunakan bantuan tenaga dari Truck. Sedangkan Colt Diesel hanya digunakan untuk sumur yang casingnya hanya berukuran kecil dan berdiameter 3 dim. Pada saat timba terangkat keatas, selanjutnya penimba menumpahkan minyak bumi kedalam bak penampungan yang berukuran luas 4 m x 6 m dengan kedalaman 1 m. Pada awal sumur berproduksi, bak penampungan dibangun dengan kedalaman 1,5 m. Namun ternyata mengalami kendala saat akan menguras lumpur yang ada didalam bak. Apabila didalam

bak telah berisi banyak lumpur, maka penimba akan segera melakukan pengurasan bak penampungan.

Di lokasi produksi minyak pada sumur tua, biasanya dibangun 3 macam bak penampungan minyak. Bak tersebut mempunyai fungsi untuk memisahkan minyak dari air dan lumpur. Bak penampungan minyak yang dibangun mempunyai fungsi yang berbeda-beda sebagai berikut:

1. Bak penampungan yang berisi minyak, lumpur dan air.
2. Bak penampungan yang berisi khusus minyak bumi.
3. Bak penampungan yang berisi air buangan yang telah terpisah dengan minyak dan lumpur. Proses selanjutnya adalah mengelola air agar tidak tercemar oleh limbah minyak.

Bak penampungan yang digunakan untuk mengelola limbah, dibangun dengan ukuran 20 m x 20 m, dengan kedalaman 4 m. Air didalam bak penampungan yang sudah dipisahkan dari minyak bumi, disedot dengan pompa mesin serta disalurkan ke *balong atas*. Balong ini dibangun ditempat yang lebih tinggi dari pada letak sumur minyak. Untuk memisahkan air dari limbah, pengelola sumur minyak bumi telah membangun sebanyak 6 balong.

Balong adalah semacam kolam yang dibangun secara sederhana, dan berisi air yang sudah dipisahkan dari minyak

bumi. Karena letak balong lebih tinggi dari sumur minyak, maka secara grafitasi, air dari balong atas akan mengalir ke 6 balong-balong berikutnya yang letaknya lebih rendah, sampai pada balong yang terakhir. Di balong-balong tersebut akan dapat dilihat, apakah airnya masih tercemar atau tidak oleh limbah minyak. Untuk mengetahui air didalam balong tidak tercemar oleh limbah, cukup dengan melihat apakah masih ada warna pelangi didalam balong tersebut. Apabila air masih menampakkan warna pelangi, maka air tersebut masih mengandung minyak bumi. Untuk mengecek air didalam balong tidak tercemar oleh limbah minyak bumi, dan tidak melampaui batas baku mutu air sesuai dengan standar yang ditentukan, maka pada balong yang paling akhir ditebari beberapa jenis ikan, khususnya jenis *ikan nila*. Apabila ikan nila yang ditebar didalam balong bisa hidup, pertanda bahwa air sudah tidak tercemar oleh limbah minyak. Maka dari itu, air dapat dikatakan aman untuk keperluan pertanian. Pada musim kemarau, petani sering menggunakan air dari Balong untuk mengairi sawahnya dan biasanya menanam lahannya dengan tanaman palawija, seperti jagung, lombok dan bawang merah.

3.2.1 Tahap Pembersihan/Pembukaan Sumur

Kondisi sumur tua yang ada dalam kondisi tertutup oleh

tanah, batu maupun benda-benda lain seperti pipa, besi dll, sehingga perlu dibersihkan agar kedalaman sumur diperoleh seperti kondisi semula. Alat yang digunakan untuk pembersihan ini antara lain:

- Tiang Kaki Tiga
- Truck
- Seling
- Pipa Tombros
- Liyer



Gambar 3.7. Kegiatan re-opening Sumur Tua dengan Tombros



Gambar 3.8. Pengangkatan Tombros menggunakan Liyer

3.2.2 Tahap Pengurasan Sumur

Setelah pembersihan sumur, tahap selanjutnya adalah pengurasan sumur, tujuan pengurasan adalah untuk membersihkan cairan lumpur dan air yang ada didalam sumur. Pengurasan dilakukan sampai fluida yang keluar dari sumur adalah minyak. Alat yang digunakan adalah:

- Truck
- Timba

- Seling



Gambar 3.9 Kegiatan Pengurusan Sumur menggunakan Timba



Gambar 3.10 Kegiatan Pengurusan Sumur menggunakan Mesin Truck

3.2.3 Tahap Produksi

Setelah tahap pengurasan selesai dan minyak mulai ikut terproduksi, maka tahap selanjutnya adalah tahapan produksi minyak, cairan (minyak dan air) kemudian dimasukkan kedalam bak pemisah sekaligus sebagai penampung minyak, yang selanjutnya dipompa dengan menggunakan pompaalcon ke truck tangki untuk dibawa ke PPM (Pusat Penampungan Minyak) di Menggung Cepu. Alat yang digunakan pada tahap produksi ini adalah:

- Truck
- Timba
- Seling
- Pompa Alcon
- Balong
- Bak Pemisah / Penampungan



Gambar 3.11. Kegiatan Produksi Minyak menggunakan Timba



Gambar 3.12. Kegiatan Produksi Minyak menggunakan Mesin Truck

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus Denny Unggul Raharjo. (2016),” Evaluasi Perhitungan Potensi Sumur Minyak Tua Dengan Water Cut Tinggi”, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) ISSN : 1979-911X, e ISSN : 2541-528X, Yogyakarta 26 November 2016
- Broto. S, dan Afifah. S.R (2008), “*Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schlumberger*” Teknik –vol.29 No. 2 Tahun 2008, ISSN 0852-1679.
- Daniels J.J, (2000), “*Ground Penetrating Radar Fundamentals*” Departement of Geological Science, The Ohi State University, Prepared as an appendix to a report to the U.S.EPA, Region V.
- Eddy Ibrahim., (2017),” Peluang Pemanfaatan Sumur Tua dan Implikasinya Terhadap Degradasi Lingkungan’, Keynote Speech, 2 November 2017, PPS Unsri.
- Eddy Ibrahim., Maulana Y., RR, Harminuke, Alek Alhadi., (2017), “ Kajian Prospek Pemanfaatan Sumur Tua di Sumatera Selatan “, Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan (SNPL 2017), 2 November 2017 , PPS Unsri.
- Eddy Ibrahim., Maulana Yusuf., Muhammad Abu Bakar., Sidik (2019),” *Technical Feasibility of Exploitation Oil and Gas Abandoned Well*”, Makalah ini telah dipresentasi di The 2nd International Congress on Earth Sciences in SE Asia, Nusa Dua, Bali, Indonesia 18-20 November 2019

Eddy Ibrahim, Adang S, Riki, VS (2019),” *Forecasting Remaining Reserve amount of Crude Oil per Well of Field X by using Decline Curve Arps Analysis*” Makalah ini telah dipresentasi di The 2nd International Congress on Earth Sciences in SE Asia, Nusa Dua, Bali, Indonesia 18-20 November 2019

Eddy Ibrahim., Maulana Y., RR, Harminuke., (2020),” *The Investigation of The Prospect of Using Potensial Abandoned Wells in South Sumatera*” Ecology, Environment and Conservation paper, Vol 26, August Suppl. Issue, 2020 Page No. (82-85)

Eddy Ibrahim., Maulana Yusuf., Muhammad Abu Bakar., Sidik (2019),” Studi Akuisisi Geolistrik Untuk Mendeteksi Litologi Batuan di Tanjung Laban 01 Ramba PT. Pertamina EP Asset 1”, Prosiding AVoER XI 2019 Palembang, 23-24 Oktober 2019 Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Eddy Ibrahim., Maulana Yusuf., Muhammad Abu Bakar.,(2019),” *Estimation Remaining Reserves Amount of Crude Oil and Gas on the Well X by using Volumetric Method*”, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1485, The International Conference on Sciences and Technology, Published Under licence by IOP Publishing Ltd.

Eddy Ibrahim, Susila A.R, Alasta , W.P.G, (2019),” Study of gas Emission Reduction from Coal Combustion using Dissolution Method by sea water and Electrolysis Process”, Proceedings Joint Convention Yogyakarta 2019, HAGI – IAGI – IAFMI- IATMI (JCY 2019) Tentrem Hotel, Yogyakarta, November 25th – 28th, 2019

- Harsono, A.1997. ” Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log”. Edisi revisi 8 mei 1997, Shlumberger Oil Services.
- Howard Black, Warren Tessari., (2016),” Abandoned Well Locating A Comparative Study of Subsurface Investigation Technologies”, www.Maverickinspection.com.
- Jordan W.P dan hare L.J, (2012), “*Locating Abandoned Wells: A Comprehensive Manual of Methods and Resources*” Solution Mining Research Institute 3336 Lone Hill Lane Encinates, California 92024 USA, Research Project Report No.2002-1-SMRI.
- Kementrian ESDM. 2001. UU no 22 tahun 2001. jdih.esdm.go.id/view/download.php?page=peraturan&id=1664. Diakses pada tanggal 23 Oktober 2017
- Kementrian ESDM. 2008. Permen ESDM no 1 tahun 2008. dih.bpk.go.id/?p=20806. Diakses pada tanggal 23 Oktober 2017
- Koesoemadinata, P. 1980. “Geologi Minyak Bumi dan Gas Bumi Edisi Kedua Jilid I”. Penerbit ITB : Bandung.
- Linda Aller., (1984),” Methods for Determining the Location of Abandoned Wells”, National water well Association 500 W. Wilson Bridge Rd. Worthington, OH 43085
- Ronald E. Bishop., (2013),” Historical Analysis of Oil and Gas Well Plugging in NewYork : Is The Regulatory System Working , New Solutions , Vol . 23(1) page: 103-116

Rora E.L, Napoleon A, Munawar , (2014),” Isolasi bakteri Termofilik Penghasil Biosurfaktan yang berpotensi sebagai Agen MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery) dari sumur Minyak di Sungai Angit”, Jurnal Penelitian Sains, Volume 17 No. 1, Januari 2014

LAMPIRAN 1

KOORDINAT LOKASI SUMUR TUA SUMSEL

Tabel 1. Koordinat Lokasi Sumur Tua di Sumatera Selatan

ID	Latitude	Longitude	Lokasi
Lebong-1	-2.991666667	104.3708333	Banyuasin
Lebong-2	-2.991666667	104.3708333	
Lebong-3	-3.011111111	104.3666667	
Lebong-5	-2.995833333	104.3705556	
TMB-02	-3.378592205	104.3696004	
TMB-04	-3.543451894	104.3148801	
TMB-07	-3.593553632	104.3256362	
TMB-08	-3.542076745	104.324687	
TMB-09	-3.550576771	104.3142421	
TMB-11	-3.550047411	104.314089	
TXX	-3.554700519	104.3157151	
SB-1	-2.3151358	103.2409129	Musi Banyuasin
SB-2	-2.3146907	103.2400205	

SB-3	-2.3149615	103.2404585
SB-4	-2.315166	103.2409266
SB-5	-2.3149706	103.240487
SB-6	-2.3156094	103.2410579
SB-7	-2.3150163	103.2413801
SB-8	-2.3143863	103.2357159
SB-9	-2.3141543	103.2352924
SB-10	-2.3154303	103.2414442
SB-12	-2.3138822	103.2349269
SB-13	-2.3157512	103.2417375
SB-15	-2.3150942	103.2408975
SB-16	-2.3133918	103.234219
SB-17	-2.3145447	103.240601
SB-18	-2.3135986	103.234596
SB-20	-2.3139941	103.2346423
SB-22	-2.3148834	103.2406185
SB-23	-2.31598	103.2419703
SB-24	-2.3150954	103.2401059

SB-25	-2.3135116	103.2350098
SB-26	-2.3155869	103.2420124
SB-27	-2.3159236	103.2414613
SB-28	-2.3141559	103.235677
SB-29	-2.3202209	103.2416623
SB-30	-2.3203659	103.2419847
SB-31	-2.3158659	103.2423052
SB-32	-2.3143194	103.2400929
SB-33	-2.3201975	103.2423333
SB-34	-2.3204595	103.2426741
SB-35	-2.3205997	103.2423095
SB-36	-2.320207	103.2426662
SB-76	-2.3129519	103.2339218
SB-77	-2.312939	103.233604
SB-78	-2.3212874	103.2429597
SB-80	-2.3209233	103.2426181
SB-82	-2.315397	103.240812
SB-84	-2.3159849	103.2416816

SB-86	-2.3131645	103.2339996
SB-87	-2.3131664	103.23429
SB-88	-2.3159857	103.2416734
SB-89	-2.3148976	103.235721
SB-90	-2.3208106	103.2429304
SB-91	-2.3133392	103.2332771
SB-92	-2.3205434	103.242823
SB-93	-2.3138833	103.2349002
SB-94	-2.3129809	103.234186
SB-95	-2.3157408	103.2419662
SB-96	-2.3129305	103.2343647
SB-96	-2.3129396	103.2343675
SB-96	-2.3129354	103.2343702
SB-97	-2.3210971	103.2429434
SB-98	-2.3127499	103.2332024
SB-99	-2.3157453	103.2419549
SB-100	-2.3205101	103.2424677
SB-101	-2.3127956	1032340845

SB-102	-2.3127143	103.2335234
SB-103	-2.3130788	103.2345417
SB-104	-2.3208466	103.2427307
SB-105	-2.3151295	103.2412173
SB-106	-2.320315	103.2428414
SB-107	-2.3208367	103.2431118
SB-108	-2.308114	103.2425205
SB-109	-2.3149604	103.23585
SB-110	-2.3132779	103.2346623
SB-111	-2.3158677	103.2418561
SB-112	-2.3130885	103.2347748
SB-113	-2.3158635	103.2418625
KR-20	-2.5142435	103.353142
KR-21	-2.51455275	103.3533834
KR-22	-2.51441976	103.3535176
KR-23	-2.51556493	103.3537141
KR-24	-2.51526458	103.353788
KR-25	-2.51510983	103.3534384

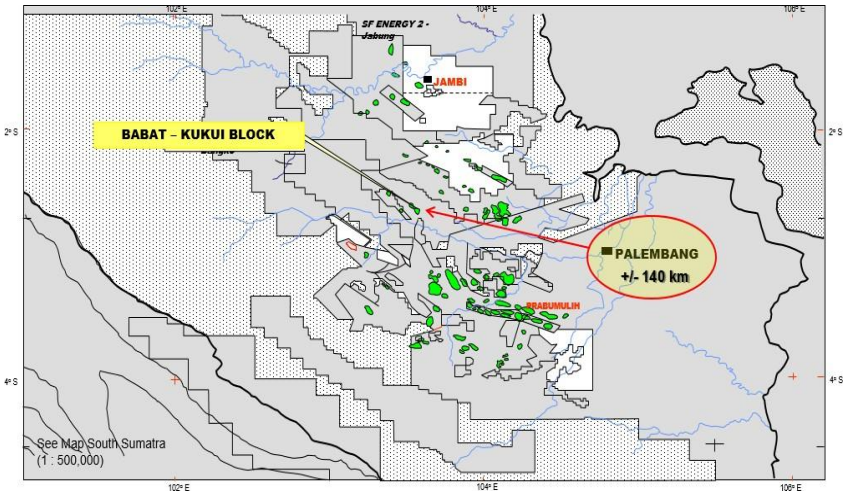
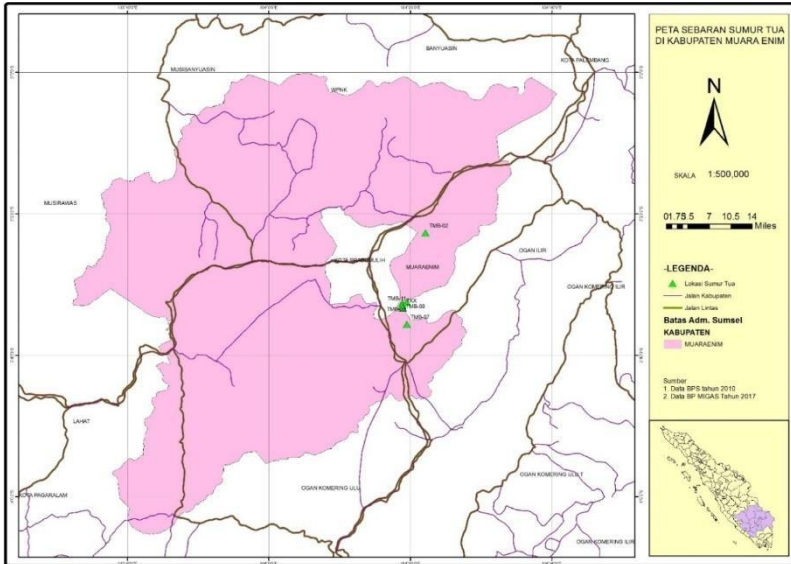
KR-26	-2.51531533	103.3538124
KR-27	-2.51584193	103.3554353
KR-28	-2.51585248	103.3551484
KR-29	-2.51563923	103.3549498
KR-30	-2.52021301	103.3547411
KR-31	-2.52021934	103.3547026
KR-32	-2.52036726	103.3547029
KR-33	-2.52045063	103.3548483
KR-34	-2.52017732	103.3549406
KR-35	-2.52015481	103.3552994
KR-36	-2.52096616	103.3553012
KR-37	-2.52071275	103.3551908
KR-38	-2.52214528	103.3555204
KR-39	-2.52233392	103.3555288
KR-40	-2.52440266	103.3607658
KR-41	-2.52397139	103.3609817
KR-42	-2.53115666	103.3623421
KR-43	-2.5315309	103.3628805

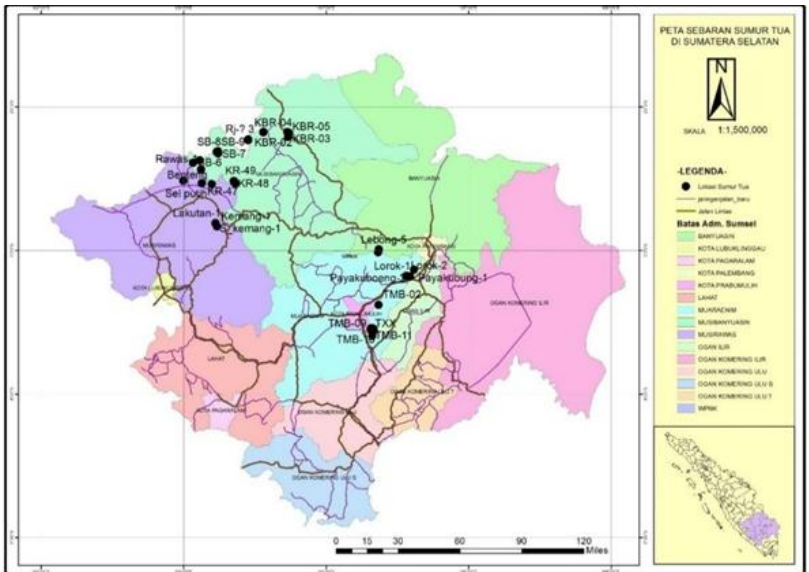
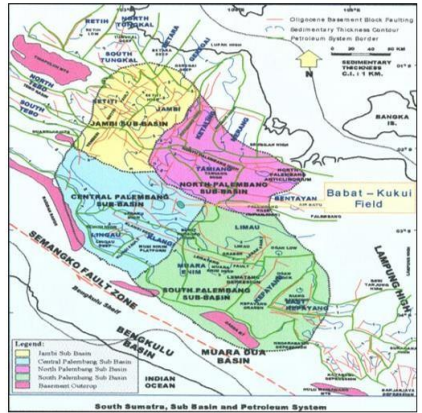
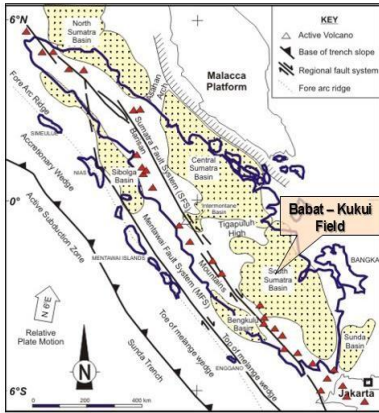
KR-44	-2.53074999	103.3626488	
KR-45	-2.53032733	103.3624352	
KR-47	-2.51534925	103.3541678	
KR-48	-2.51501452	103.3543201	
KR-49	-2.51501615	103.3540392	
Gs-? A	-2.172772511	103.560645	
Gs-? B	-2.175231013	103.5612514	
Gs-? C	-2.174763071	103.5614483	
Kayuro	-2.387791667	103.066775	
Rukam-1	-2.37125	103.1158917	
Rawas-1	-2.433841667	103.1239333	
KBR-01	-2.181144646	103.7381828	
KBR-02	-2.17426237	103.7285952	
KBR-03	-2.177037152	103.7369095	
KBR-04	-2.181329511	103.742894	
KBR-05	-2.207870609	103.7359036	
Klumpang-1	-2.5137	102.9983778	Musi Rawas
Sel putih	-2.530852778	103.1294194	

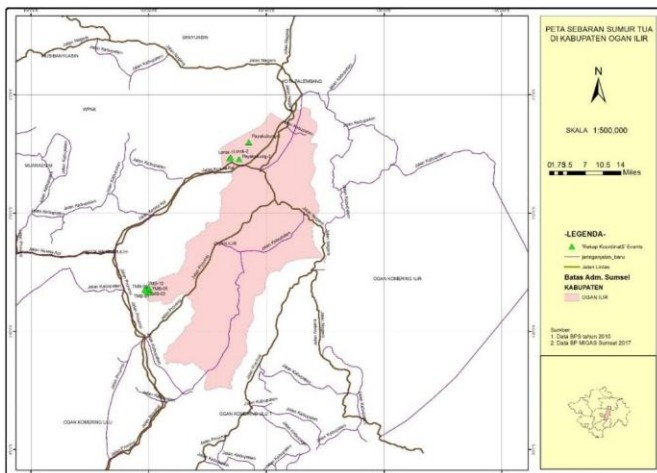
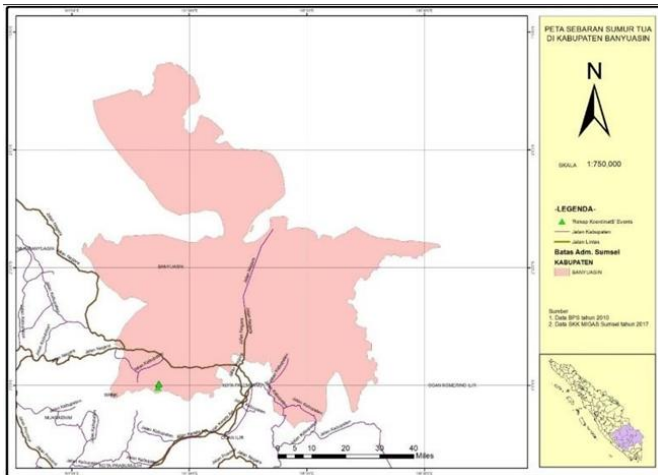
Benteng	-2.537508333	103.1988889	
Lakutan-1	-2.811291667	103.2248444	
S_kemang-1	-2.807991667	103.2242111	
Kemang-1	-2.832711111	103.2351111	
Payakubung-1	-3.133523341	104.6170453	Ogan Ilir
Payakubung-2	-3.181388889	104.5897222	
Lorok-1	-3.179144444	104.5627583	
Lorok-2	-3.176091667	104.5658139	
TMB-01	-3.550534216	104.3267555	
TMB-03	-3.553135683	104.3269315	
TMB-05	-3.544213766	104.3338243	
TMB-06	-3.556869219	104.3364903	
TMB-10	-3.549199678	104.3224334	

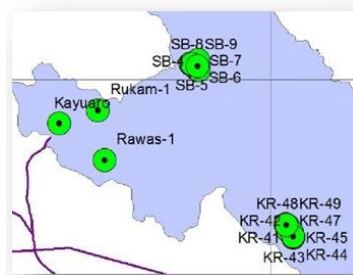
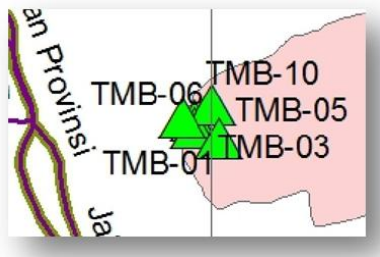
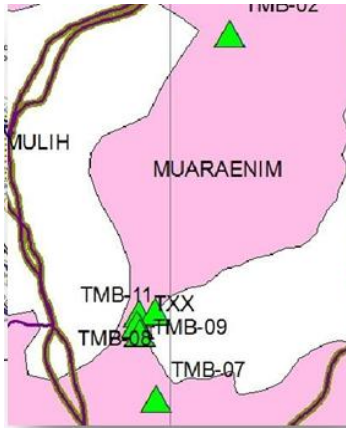
LAMPIRAN 2

PETA SUMUR TUA SUMATERA SELATAN











Penggunaan **Minyak Bumi** dari tahun ke tahun mengalami peningkatan, sedangkan cadangan yang ada tinggal sedikit. Cadangan yang semakin terbatas dan menipis ini membuat Pemerintah Indonesia harus melakukan alternatif lain untuk memenuhi kebutuhan energi nasional terkhususnya produksi ulang sumur-sumur tua.

Berdasarkan **Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.1 Tahun 208, Sumur Tua** adalah sumur-sumur minyak bumi yang di bor sebelum tahun 1970 dan pernah di produksi serta terletak pada lapangan yang tidak diusahakan pada suatu wilayah kerja yang terikat kontrak kerja sama dan tidak diusahakan lagi oleh kontraktor. Sumur-sumur tua yang masih berpotensi dapat di produksi ulang oleh pihak pemohon melalui serangkaian tahap. Dari **Kementerian ESDM** diperoleh data total sumur tua yang ada di Indonesia, sebanyak 745 sumur tua yang berstatus aktif dan 13.079 sumur tua yang tidak aktif. Dari data Yang ada dapat dilihat bahwa pemanfaatan sumur tua masih belum dilakukan secara maksimal

ISBN 978-623-399-039-4



9 786233 990394