

PERANAN GEOFISIKA DALAM EKSPLORASI MINYAK BUMI DAN MINERAL

Oleh:
Yos Sumardi
(FPMIPA IKIP Yogyakarta)

Abstrak

Kebutuhan minyak bumi, gas dan mineral bagi kehidupan manusia dari tahun ke tahun makin meningkat. Pengambilan minyak bumi, gas dan mineral dari perut bumi secara terus-menerus mengakibatkan cadangan yang ada di bumi makin berkurang. Oleh karena itu, perlu dicari berbagai metode untuk mencari sumber minyak bumi, gas dan sumber daya mineral untuk mencukupi kebutuhan masyarakat dunia.

Geofisika mempunyai peranan penting dalam mencari sumber minyak bumi dan sumber daya mineral. Metode geofisika makin tampak berperan karena indikator-indikator geologis makin berkurang. Metode geofisika yang telah dikembangkan antara lain metode-metode seismik, gravitasi, magnetik, listrik dan elektromagnetik. Metode listrik masih dibagi lagi menjadi beberapa teknik, misalnya teknik-teknik resistivitas, magnetotelurik, polarisasi-terinduksi.

Metode geofisika yang banyak digunakan dalam eksplorasi minyak bumi adalah metode-metode seismik pantul, gravitasi, magnetotelurik, dan resistivitas. Namun demikian, metode-metode ini masih mengalami kendala untuk mengeksplorasi sumber minyak bumi dalam cebakan-cebakan stratigrafik. Metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi mineral disesuaikan dengan sifat-sifat mineral yang sedang dicari. Metode yang sering digunakan dalam eksplorasi mineral adalah metode-metode elektromagnetik, resistivitas, polarisasi-terinduksi, gravitasi, dan magnetik. Untuk lebih meyakinkan ukuran, kandungan, dan kualitas sumber daya alam tersebut perlu digunakan multi-metode geofisika dan pengujian laboratoris terhadap sampel geologis.

Pendahuluan

Kebutuhan minyak bumi, gas dan mineral bagi kehidupan manusia dari tahun ke tahun makin meningkat. Pengambilan secara terus-menerus minyak bumi, gas dan mineral dari perut bumi mengakibatkan makin berkurangnya sumber daya alam itu. Pada sisi lain, minyak bumi, gas dan mineral sangat dibutuhkan bagi kelangsungan hidup manusia. Perlu disadari pula bahwa cadangan minyak bumi, gas dan mineral dalam perut bumi sebenarnya terbatas pula.

Keadaan tersebut menimbulkan berbagai masalah, antara lain:

1. Sumber daya minyak bumi, gas dan mineral makin berkurang, sehingga diperlukan sumber daya alam alternatif untuk memenuhi kebutuhan manusia.
2. Eksplorasi untuk menemukan sumber daya alam yang baru menjadi makin sukar, sehingga diperlukan teknik-teknik eksplorasi yang mutakhir.

Geologi dan geofisika mempunyai peranan penting untuk memecahkan masalah tersebut.

Pada kesempatan ini pembahasan lebih dipusatkan pada peranan geofisika dalam eksplorasi minyak bumi dan mineral. Pembahasan ini mencakup: (a) alasan penggunaan metode geofisika serta keterkaitannya dengan metode geologi, (b) beberapa metode penyelidikan geofisika, (c) pemakaian metode geofisika dalam eksplorasi minyak bumi, (d) pemakaian metode geofisika dalam eksplorasi mineral.

Mengapa Digunakan Metode Geofisika?

Geofisika adalah bagian dari ilmu pengetahuan alam yang merupakan gabungan antara geologi dan geofisika. Geologi adalah ilmu pengetahuan yang mengkaji bumi padat, interiornya dan sejarahnya (Danielson dan Denecke, 1986: 8). Fisika adalah ilmu pengetahuan yang bertujuan untuk mempelajari komponen-komponen zat dan interaksinya, menjelaskan sifat-sifat zat serta gejala-gejala alam yang teramati (Alonso dan Finn, 1980: 2). Jadi dapat dikatakan bahwa geofisika adalah ilmu pengetahuan yang mengkaji bumi dengan menggunakan pengukuran-pengukuran fisika pada atau di atas permukaan bumi.

Batas tegas antara geologi dan geofisika tidak selalu mudah ditetapkan. Namun demikian, dua ilmu pengetahuan tersebut dapat dibedakan dari cara pengumpulan data. Geologi mencakup kajian tentang bumi dengan mengamati secara langsung pada batuan, baik dari singkapan permukaan atau lobang pengeboran, kemudian disimpulkan tentang struktur, komposisi dan sejarahnya. Sebaliknya, geofisika mencakup kajian tentang bagian-bagian bumi yang tersembunyi dari pengamatan langsung dengan mengukur sifat-sifat fisisnya dengan instrumen yang bersesuaian, biasanya pada atau di atas permukaan bumi. Geofisika juga memasukkan interpretasi terhadap hasil pengukuran tersebut untuk memperoleh informasi yang berguna tentang struktur dan komposisi formasi sumber daya alam yang tersembunyi dalam perut bumi.

Dalam pengertian luas, geofisika menyediakan alat untuk mengkaji struktur dan komposisi interior bumi. Apa yang diketahui tentang bumi di bawah lobang bor atau terowongan tambang sesungguhnya berasal dari pengamatan geofisika. Keberadaan dan sifat kerak bumi, mantel serta inti bumi telah ditentukan dengan pengamatan terhadap gelombang sismik dari gempa, juga dengan pengukuran gravitasi bumi, magnetik dan sifat-sifat termal. Alat dan teknik yang dikembangkan untuk kajian semacam itu telah digunakan untuk eksplorasi hidrokarbon dan mineral.

Sampai abad ke-20 ini pencarian minyak bumi dan mineral padat terbatas pada endapan-endapan yang secara langsung dapat diamati pada permukaan bumi, misalnya dalam bentuk singkapan. Berdasarkan informasi geologis yang dapat diamati di permukaan bumi para ilmuwan menyimpulkan adanya endapan terpendam yang bisa dieksplorasi. Namun demikian, indikator-indikator geologis tersebut makin berkurang karena makin banyak sumber minyak bumi dan mineral yang telah dieksplorasi.

Karena indikator-indikator geologis untuk menemukan sumber minyak bumi dan mineral makin berkurang, perlu dikembangkan teknik eksplorasi baru untuk menyelidiki formasi sumber daya alam bawah-permukaan bumi. Geofisika memegang peranan penting dalam pengembangan teknik eksplorasi baru ini. Para ahli geofisika mengembangkan teknik baru untuk menyelidiki endapan bawah-permukaan bumi. Mereka menggunakan instrumen-instrumen fisika. Pengukuran fisika dilakukan pada atau di atas permukaan bumi untuk mengetahui struktur atau komposisi batuan yang tersembunyi dalam perut bumi. Dengan mempelajari struktur perlapisan batuan para ahli geofisika dapat menentukan letak cebakan minyak bumi yang tersimpan dalam kerak bumi.

Beberapa Metode Penyelidikan Geofisika

Teknik eksplorasi geofisika merupakan bagian bidang teknologi yang relatif baru. Perkembangan teknologi komputer ikut berperan dalam penemuan metode-metode baru dalam penyelidikan geofisika. Perkembangan pesat dalam teknologi komputer makin mempermudah pengumpulan data dan analisis data dalam eksplorasi geofisika.

Metode geofisika yang banyak digunakan dalam eksplorasi geofisika adalah metode-metode seismik, gravitasi, magnetik, listrik, dan elektromagnetik. Metode yang kurang banyak digunakan adalah metode-metode yang melibatkan pengukuran-pengukuran temperatur dan radioaktivitas dekat permukaan bumi atau di udara (Dobrin dan Savit, 1988: 3).

Beberapa metode tersebut digunakan dalam pencarian minyak bumi dan gas. Sebagian lain digunakan dalam eksplorasi mineral padat. Penyelidikan-penyelidikan seismik, magnetik dan gravitasi merupakan alat-alat utama untuk eksplorasi hidrokarbon; metode-metode seismik dan listrik merupakan dua alat utama yang digunakan dalam eksplorasi mineral. Di Uni Soviet, bekas daerah jajahan Perancis, dan sebagian Amerika Serikat, metode elektromagnetik digunakan secara rutin untuk mencari minyak bumi. Metode elektromagnetik dan magnetik dapat digunakan dalam eksplorasi hidrokarbon maupun mineral. Berikut ini akan dibahas secara ringkas sejumlah metode penyelidikan geofisika tersebut.

Metode seismik pantul

Dengan metode seismik pantul struktur formasi bawah-permukaan dipetakan dengan mengukur waktu yang diperlukan oleh suatu gelombang seismik, yang dibangkitkan dengan ledakan (atau tumbukan mekanis, atau getaran) dekat permukaan bumi untuk kembali ke permukaan setelah dipantulkan oleh batas antarformasi yang mempunyai sifat-sifat fisika berbeda. Pantulan-pantulan itu direkam oleh detektor-detektor yang responsif terhadap gelombang seismik itu. Detektor-detektor ini diletakkan sepanjang permukaan tanah pada jarak-jarak tertentu dari titik pembangkit, yang biasanya lebih pendek daripada kedalaman pemantul. Variasi waktu-waktu pantulan dari suatu tempat ke tempat lain pada permukaan bumi biasanya menunjukkan corak struktur pada lapisan-lapisan di bawahnya. Kedalaman permukaan-permukaan pemantul dapat diperkirakan dari waktu-waktu yang terekam dan informasi kecepatan yang dapat diperoleh dari sinyal-sinyal terpantul itu.

Data pemantulan gelombang-gelombang seismik juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi batuan berdasarkan kecepatan dan karakteristik pelemahan gelombang seismik yang diteruskan dan dipantulkan. Metode seismik pantul juga digunakan untuk mendeteksi hidrokarbon berdasarkan amplitudonya.

Metode seismik bias

Dalam metode seismik bias, detektor-detektor merekam sinyal-sinyal seismik pada suatu jarak dari titik tembak yang lebih besar dibandingkan dengan kedalaman horison yang akan dipetakan. Gelombang-gelombang seismik itu harus menempuh jarak-jarak horisontal yang besar melewati bumi. Waktu-waktu tempuh pada berbagai jarak sumber-penerima memberikan informasi tentang kecepatan dan kedalaman formasi bawah-permukaan sepanjang lintasannya.

Metode gravitasi

Dalam penyelidikan gravitasi, peneliti mengukur variasi-variasi kecil gaya tarik gravitasi dari batuan-batuan dalam beberapa kilometer permukaan bumi (Garland, 1971: 142-149). Jenis batuan yang berbeda mempunyai kerapatan berbeda pula, dan batuan-batuan yang lebih rapat mempunyai gaya tarik gravitasi yang lebih besar. Jika formasi batuan dengan

kerapatan tinggi mempunyai struktur melengkung ke atas, seperti antiklin, medan gravitasi bumi akan lebih besar di atas sumbu struktur itu daripada di lereng-lerengnya. Sebaliknya, suatu kubah garam yang biasanya kurang rapat dibandingkan dengan batuan-batuan yang disusupi, dapat dideteksi dari nilai gravitasi rendah yang terekam di atasnya dibandingkan dengan nilai gravitasi yang terukur di sisi-sisi lainnya. Anomali-anomali gravitasi yang dicari dalam eksplorasi minyak bumi mungkin hanya memberikan sepersejuta atau bahkan sepersepuluh juta dari medan gravitasi total bumi. Oleh karena itu, instrumen-instrumen gravitasi dirancang untuk mengukur variasi gaya gravitasi dari suatu tempat ke tempat lain daripada nilai absolut gravitasinya.

Metode gravitasi bermanfaat bilamana formasi yang diteliti mempunyai kerapatan yang berbeda cukup besar terhadap formasi yang mengelilinginya. Metode ini merupakan cara efektif untuk memetakan dasar sedimen. Metode ini juga cocok untuk memetakan kubah garam.

Metode magnetik

Penyelidikan magnetik memetakan variasi-variasi medan magnetik bumi yang diakibatkan oleh perubahan-perubahan struktur, suseptibilitas, atau remanensi dalam batuan-batuan dekat permukaan tertentu. Batuan sedimen biasanya mempunyai suseptibilitas sangat kecil dibandingkan dengan batuan beku atau batuan metamorf, yang cenderung mempunyai kandungan magnetik jauh lebih tinggi. Sebagian besar survei magnetik dirancang untuk memetakan struktur pada atau di dalam batuan dasar atau untuk mendeteksi mineral-mineral magnetik secara langsung.

Metode magnetik mula-mula digunakan pada eksplorasi minyak bumi di daerah-daerah dengan struktur lapisan-lapisan sedimen yang ditentukan oleh corak topografi permukaan dasar batuan, misalnya pegunungan atau sesar. Kemudian digunakan metode magnetik-udara untuk menentukan tebal lapisan sedimen yang menampung minyak bumi.

Metode listrik

Penyelidikan listrik kebumihan menggunakan berbagai macam teknik. Masing-masing teknik didasarkan pada beberapa sifat atau karakteristik listrik yang berbeda-beda dari bahan-bahan dalam bumi. Metode resistivitas dirancang untuk menghasilkan informasi tentang formasi atau benda yang mempunyai konduktivitas listrik anomali. Metode polarisasi-terinduksi, yang dilakukan dalam eksplorasi bijih logam yang tersebar seperti sulfida,

akan memberikan bacaan diagnostik di mana pertukaran ion terjadi pada permukaan butiran-butiran logam.

Metode arus telurik dan metode magneto-telurik menggunakan arus-arus bumi alami, dan anomali-anomalinya dicari dalam perambatan arus-arus semacam itu yang melewati bahan bumi. Metode ini berbeda dengan metode resistivitas dan polarisasi-terinduksi, yang membutuhkan arus listrik masukan ke dalam bumi.

Metode potensial-diri digunakan untuk mendeteksi adanya mineral-mineral tertentu dan benda-benda logam yang bereaksi dengan elektrolit-elektrolit dalam bumi sedemikian rupa sehingga membangkitkan potensial-potensial elektrokimia. Suatu kumpulan sulfida teroksidasi yang membentang luas di atas benda-benda itu akan membangkitkan potensial semacam itu, yang dapat dideteksi dengan elektrode-elektrode pada permukaan bumi.

Metode elektromagnetik mendeteksi anomali-anomali dalam sifat-sifat induktif dari batuan-batuan bawah-permukaan bumi. Tegangan bolak-balik dimasukkan ke dalam bumi dengan induksi dari kumparan pemancar pada permukaan bumi atau di udara. Amplitudo dan pergeseran fase dari potensial terinduksi diukur dengan kumparan pendeteksi dan direkam.

Metode radioaktif

Penyelidikan radioaktif untuk mineral-mineral yang mengandung uranium telah melibatkan penggunaan alat-alat geofisika (tabung geiger dan pencacah sintilasi). Banyak eksplorasi permukaan untuk uranium dilakukan secara amatiran dilengkapi dengan instrumen-instrumen pendeteksi.

Pemakaian Geofisika dalam Eksplorasi Minyak Bumi

Dengan metode seismik pantul, geofisikawan dapat menempatkan dan memetakan berbagai corak seperti antiklin, sesar, kubah garam, dan batukarang. Corak-corak semacam itu berhubungan dengan kumpulan minyak bumi dan gas. Konvergensi-konvergensi besar yang disebabkan oleh penipisan endapan dapat dideteksi dari penampang-penampang pemantulan. Daya pisah metode ini sekarang cukup memadai untuk menemukan cebakan-cebakan minyak stratigrafik bumi. Namun demikian, teknik ini memerlukan koordinasi dengan informasi geologis.

Pengukuran-pengukuran gravitasi dilakukan secara rutin dalam hubungannya dengan penyelidikan seismik lautan dan digunakan sebagai

pelengkap. Survei-survei gravitasi, yang tidak disertai dengan metode lain, tidak lagi dikerjakan dalam eksplorasi minyak bumi dan gas.

Metode magnetotelurik merupakan metode yang paling efektif dalam eksplorasi minyak bumi dan gas di daerah-daerah yang sulit diselidiki dengan metode seismik. Misalnya, daerah yang mengandung banyak lempeng batuan vulkanik yang melapisi sedimen. Metode resistivitas digunakan secara luas di Uni Soviet untuk pemetaan cekungan sedimen pada awal eksplorasi minyak bumi.

Saat ini teknik eksplorasi geofisika terbatas penggunaannya di banyak daerah ladang minyak yang telah lama diketahui. Untuk mendapatkan cadangan minyak bumi dan gas yang baru memerlukan pengembangan teknologi pada metode geofisika atau batas-batas daerah baru untuk dieksplorasi. Banyak endapan minyak bumi yang belum ditemukan berada di bawah air atau di daerah tundra dan padang pasir. Endapan-endapan minyak bumi yang lain terjebak sedemikian rupa sehingga teknik geofisika yang ada tidak mampu menemukannya. Keterbatasan juga terjadi pada minyak bumi yang berada dalam cebakan stratigrafik (Dobrin dan Savit, 1988: 9).

Dalam menghadapi kenyataan tersebut, kesimpulan yang tampak masuk akal adalah menguasai cadangan minyak bumi konvensional dan pengembangan teknik geofisika. Dua bidang potensial yang penting adalah: (1) kemampuan untuk memetakan struktur produktif di tempat-tempat yang belum terdata dengan metode-metode yang ada dan (2) pengembangan lebih lanjut serta penggunaan teknik-teknik geofisika yang efektif untuk menemukan minyak bumi dalam cebakan-cebakan stratigrafik.

Pemakaian Geofisika dalam Eksplorasi Mineral

Meskipun persediaan sebagian besar logam saat ini belum membahayakan, konsumsi tahunan masyarakat dunia terhadap logam-logam tersebut sangat besar. Lagi pula banyak jenis logam yang hanya ditemukan di daerah-daerah yang jauh atau daerah-daerah yang secara politis tidak stabil. Gabungan antara faktor politik dan faktor ekonomi dirasakan perlunya aktivitas eksplorasi yang tinggi untuk mempertahankan persediaan logam yang memadai. Geofisika dapat membantu dalam menemukan cadangan logam semacam itu. Kedudukan geofisika menjadi bertambah penting karena kekurangan mineral menjadi makin mencolok.

Metode-metode geofisika telah berhasil menemukan dua jenis bijih: (1) sulfida, baik pejal maupun tersebar, dan (2) bijih besi. Mineral-mineral lain seperti emas dan khrom telah ditemukan dengan survei-survei geofisika tetapi dengan derajat keberhasilan lebih rendah daripada dua jenis bijih tersebut (Dobrin dan Savit, 1988: 19).

Logam-logam utama yang ditemukan dalam tubuh bijih sulfida pejal adalah tembaga, nikel, timah hitam dan seng. Mineral yang paling umum mengandung logam-logam tersebut adalah chalcopirite, pyrhopirite, galena dan sphalerite. Sebagian besar tubuh bijih semacam itu dicirikan oleh konduktivitas yang tinggi. Teknik-teknik elektromagnetik, resistivitas, dan polarisasi-terinduksi tampaknya merupakan teknik yang terbaik untuk mendeteksi anomali konduktivitas yang dihubungkan dengan tubuh-tubuh bijih semacam itu. Pengukuran gravitasi dimaksudkan untuk mengamati anomali kerapatan, dan survei magnetometer untuk mengukur anomali magnetik diagnostik.

Bijih sulfida tersebar merupakan sumber yang menguntungkan dari tembaga porifer dan molybdenum. Di antara mineral-mineral yang paling sering dijumpai dalam bentuk ini adalah chalcopirite, chalcocite, molybdenite, dan pyrite. Teknik geofisika yang paling efektif untuk menemukan bijih-bijih semacam ini adalah teknik polarisasi-terinduksi.

Bijih besi mengandung magnetite dan hematite. Magnetite mempunyai suseptibilitas magnetik tertinggi dari semua mineral, dan metode magnetik paling cocok untuk mencari besi dalam bentuk ini. Hematite tidak bersifat magnetik, tetapi secara genetik atau stratigrafik sering dihubungkan dengan satuan-satuan litologik yang juga mengandung mineral-mineral magnetik, sehingga magnetometer juga dapat digunakan dalam eksplorasi hematite. Karena kerapatan magnetite dan hematite seringkali lebih besar daripada kerapatan batuan induk yang mengandung mineral-mineral ini, maka survei gravitasi bisa juga berguna dalam mencari dua jenis mineral tersebut.

Penutup

Geofisika mempunyai peran sangat penting dalam eksplorasi minyak bumi dan mineral. Peranan ini makin tampak menonjol jika indikator geologis makin berkurang karena makin banyak sumber minyak bumi dan mineral yang telah dieksplorasi.

Metode-metode geofisika yang banyak digunakan untuk mencari sumber minyak bumi adalah seismik pantul, gravitasi, magnetotelurik, dan resistivitas. Namun demikian, pemakaian metode-metode ini masih mengalami kendala untuk menemukan sumber minyak bumi yang berada dalam cebakan-cebakan stratigrafik. Oleh karena itu, teknik-teknik geofisika mutakhir masih perlu dikembangkan untuk mengeksplorasi minyak bumi dalam cebakan-cebakan stratigrafik tersebut. Di samping itu, perlu dilakukan pemetaan ladang-ladang minyak bumi yang produktif.

Metode-metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi mineral disesuaikan dengan sifat-sifat mineral yang sedang dicari. Metode-metode yang sering digunakan dalam eksplorasi mineral adalah elektromagnetik, resistivitas, dan polarisasi-terinduksi, gravitasi, dan magnetik. Eksplorasi mineral memerlukan metode-metode geofisika yang lebih bervariasi daripada eksplorasi minyak bumi, karena karakteristik mineral-mineral yang terkandung dalam bumi sangat bervariasi.

Perlu ditekankan bahwa minyak bumi dan mineral yang terkandung dalam perut bumi tidak selalu dapat diamati secara langsung melalui singkapan di permukaan bumi. Metode-metode geofisika menyelidiki kandungan sumber daya alam ini secara tidak langsung, yaitu melalui pengukuran fisika dari permukaan bumi. Oleh karena itu, eksplorasi terhadap sumber daya alam ini sebaiknya dilakukan dengan melibatkan berbagai metode geofisika untuk lebih meyakinkan keberadaan dan ukuran kandungannya. Untuk mengetahui kualitas sumber daya alam itu perlu diambil sampel geologis dan diuji secara laboratoris.

Daftar Pustaka

- Alonso, M. dan Finn, E.J. 1980. **Fundamental University Physics**. Vol. I, Second Edition, Reading, Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Danielson, E.W. dan Denecke, E.J. 1986. **Earth Science**. New York: Macmillan Publishing Company.
- Dobrin, M.B. dan Savit, C.H. 1988. **Introduction to Geophysical Prospecting**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Garland, G.D. 1971. **Introduction to Geophysics**. Tokyo: Topan Co.
- Shipman, J.T., dkk. 1975. **An Introduction to Physical Science**. Lexington, Massachusetts: D.C. Heath and Company.