
PEMAHAMAN DAN PENGGUNAAN DATA PENGINDRAAN JAUH DAN SIG PADA EKSPLORASI ENDAPAN MINERAL (SEBUAH RANGKUMAN)

Franto ^{1,2,a}, Subagyo Pramumijoyo¹, dan Lucas Donny Setijadji¹

¹⁾ Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta

²⁾ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu UBB, Balunijuk, Prop.Kep.Bangka Belitung

^{a)} email korespondensi: franto_fr@ymail.com

ABSTRAK

Penginderaan jauh merupakan metode untuk mendapatkan informasi objek permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek tersebut. Dalam konteks eksplorasi, penginderaan jauh merupakan alat bantu pada pemetaan endapan mineral, meliputi : pemetaan batuan, struktur geologi dan mineral alterasi hidrotermal. Sehingga dapat dikatakan penginderaan jauh menjadi salahsatu alat penting untuk menentukan endapan mineral, terutama kemampuan penginderaan jauh memberikan informasi yang berupa anomali spektral. Adapun alasan parameter yang digunakan berupa pemetaan batuan, umumnya mineralisasi terjadi pada jenis batuan tertentu, begitupula pemetaan struktur, umumnya mineralisasi dikontrol oleh struktur pada arah tertentu, mineralisasi biasanya terjadi di sepanjang atau berbatasan dengan struktur geologi, begitu juga mineral alterasi sangat berperan sebagai penciri dari keberadaan endapan mineral tertentu. Sebagai tambahan, pemahaman data penginderaan jauh hiperspektral maupun multispektral adalah sangat penting karena data hiperspektral maupun multispektral memiliki banyak saluran, dimana tiap saluran mempunyai kemampuan untuk membedakan banyak mineral, sehingga sangat membantu didalam identifikasi dan memetakan secara tematik daerah eksplorasi. Pada tahap akhir eksplorasi, penggunaan SIG (Sistem Informasi Geografi) untuk mengintegrasikan, menganalisa serta memanipulasi bermacam-macam data *georeference* dan *geoscience* untuk memilih lokasi mineral potensial atau sebagai panduan untuk eksplorasi tingkat lanjut/detil pada tahap berikutnya.

Kata kunci: *Penginderaan jauh, batuan, struktur, mineral, alterasi*

PENDAHULUAN

Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek tanpa kontak langsung dengan objek yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994). Pengambilan data dilakukan dengan wahana pesawat terbang, balon, satelit atau lainnya dengan hasil perekaman berupa Citra (*imaginary*), Grafik, ataupun data numerik.

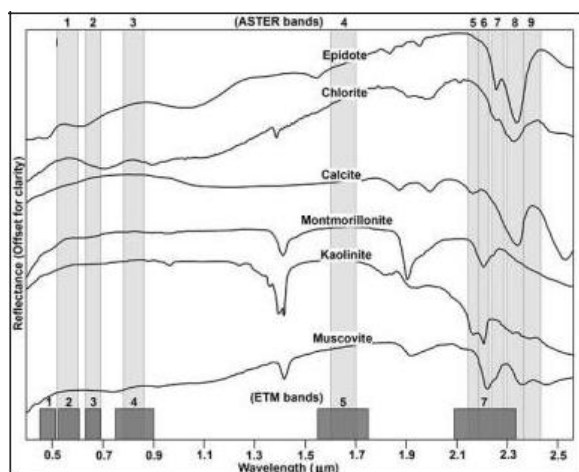
Perkembangan teknologi eksplorasi endapan mineral saat ini mengalami perkembangan begitu pesat, apalagi telah banyak ditemukan endapan-endapan mineral permukaan dan dekat permukaan, sehingga penekanan saat ini adalah pencarian endapan mineral pada lokasi yang jauh dibawah permukaan bumi atau daerah yang belum mampu dijangkau dengan teknologi yang tersedia saat ini, misalnya metode-metode geofisika dan pengeboran yang terbatas kemampuan penetrasian. Kehadiran metode penginderaan jauh menjadi salahsatu alternatif metode pemetaan endapan mineral, teknologi ini mampu meminimalisir biaya maupun waktu pekerjaan.

Beberapa dekade terakhir para peneliti geologi sudah banyak memanfaatkan data penginderaan jauh, misalnya Pour, A.B., dan Hashim, M., (2017) menggunakan Landsat 8 dan citra ALOS 2 untuk identifikasi resiko zona rentan bahaya alam, Langford, R.L., 2015 pemetaan eksplorasi regional dengan citra Landsat multi temporal, Longhi dkk., (2001)

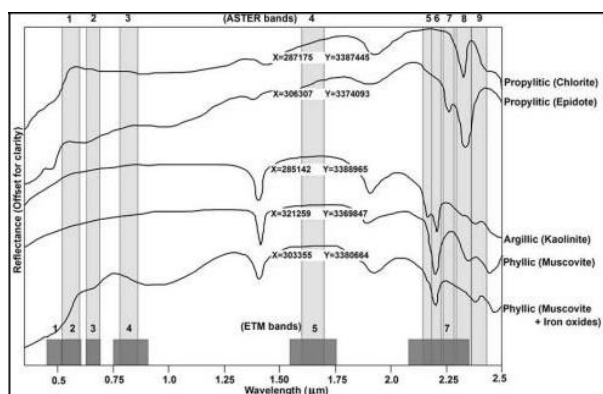
menggunakan analisis spektrum, Neville dkk., (2003) menggunakan analisis hiperspektrum, Akhavi dkk., (2001) melakukan analisis beberapa data dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis dan lain-lain. Adapun alasan yang membuat teknologi ini berkembang pesat selain dari aspek waktu dan biaya yang relatif rendah, Contohnya, eksplorasi pada daerah dengan pelapukan kimiawi yang relatif tinggi (misalnya Indonesia, Australia dan lain-lain), penentuan komposisi kimia dan mineralogi batuan melalui analisa geokimia, difraksi sinar-X (*X-ray diffraction* atau XRD), spektroskopi optik dan *microprobe* elektron sering kali membutuhkan banyak waktu serta biaya yang besar. secara potensial menawarkan alternatif yang murah, tidak destruktif serta cepat untuk mengidentifikasi parameter-parameter geologi (batuan, struktur geologi (kelurusan) dan mineral-mineral alterasi hidrotermal), hal ini menuntun eksplorasi yang lebih baik pada skala regional. Walaupun penggunaan citra penginderaan jauh juga tidak dapat menggantikan pekerjaan lapangan atau data yang diambil dari penelitian lapangan dan laboratorium, tetapi citra ini dapat memberikan tambahan/pelengkap data berdasarkan perspektif penginderaan jauh, yang berharga bagi metode-metode eksplorasi yang umum digunakan saat ini.

Karakteristik Spektral Mineral Dan Batuan

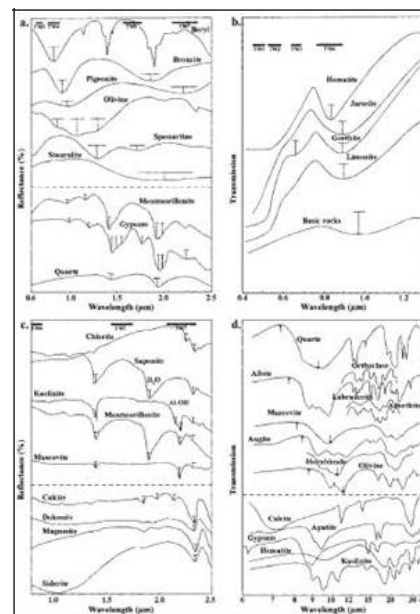
Hasil penelitian skala laboratorium oleh beberapa peneliti berhasil menyajikan acuan berupa *spectral library* untuk interpretasi batuan dan mineral dengan citra penginderaan jauh, adapun beberapa peneliti yang berhasil melakukan percobaan pengklasasian mineral dan batuan berdasarkan nilai spektral tampak, infra merah dekat (NIR), infra merah gelombang pendek (SWIR), infra merah tengah atau infra merah termal (TIR) adalah Honarmand dan Shahabpour (2011), mampu membedakan mineral-mineral alterasi, meliputi muskovit (serisit), kaolinit, montmorilonit, klorit, epidot, karbonat, silika, jarosit dan lain-lain, Kahle dkk., 1996; Sabine dkk., 1994; Lahren dkk., 1988; Hunt, 1979; Hunt dan Ashley, 1979; Hunt dan Salisbury, 1970a, mampu membedakan mineral *iron oxide* (hematit, jarosit dan geotit), *mica aluminous*, *clay*, *hydroxyl* yang mengandung magnesium (talk, klorit, serpentin) dan clay yang kaya magnesium (saponit), sulfat, karbonat dan batuan (basalt, gabro, dan lain-lain), sebagaimana di tunjukkan pada gambar 1, gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 1. Spektral reflektan dari uji laboratorium terhadap beberapa mineral alterasi hidrotermal pada saluran ASTER dan ETM (Honarmand dkk., 2011).



Gambar 2. Spektral reflektan dari laboratorium untuk dalam alterasi hidrotermal pada saluran ASTER dan ETM (Honarmand dkk., 2011).



Gambar 3. Spektral reflektan dari uji laboratorium (a), *iron oxide* dan *hydroxide* (b), mineral clay dan mica (di atas garis putus-putus) dan mineral karbon (di bawah garis putus-putus) (c) (Hunt dan Salisbury, 1970a, Hunt, 1979). Serapan dengan simbol T. Spektral dari silikat (di atas garis putus-putus) di bagian infra merah termal (d) (Hunt dan Salisbury, 1970a; Kahle dkk., 1996). Pergerakan puncak dari panjang gelombang dari menuju ke gelombang yang lebih panjang pada (d) sesuai dengan transisi dari mineral *felsic* peningkatan menjadi mineral *mafic* (Rajesh, 2004).

Pemetaan Batuan

Pemetaan batuan merupakan tahap awal dari studi pemetaan endapan mineral, Informasi batuan yang diperoleh berdasarkan pengamatan citra penginderaan jauh diperoleh sejumlah parameter seperti kondisi geologi umum, pelapukan, bentuklahan, kerapatan pola aliran, struktur geologi, tanah, pola vegetasi dan karakteristik spektral. Misalnya pada batuan sedimen, petunjuk yang kuat dapat dilihat pada lereng atau lipatan maupun patahan di citra, perlapisan batuan merupakan salahsatu kunci yang baik untuk mengetahui komposisi batuan pada citra.

Batuan beku terbagi menjadi dua, yaitu batuan beku intrusif dan batuan beku ekstrusif, intrusif umumnya isotropik dan homogen, sehingga dengan mudah diamati pada citra penginderaan jauh, dicirikan dengan dimensi batuan (batholit, lakolit, *dyke*, *sill* dan lain-lain), bentuklahan yang berbeda seperti kerucut, kawah, aliran, rona, ekspresi/tekstur topografi, pola aliran dan distribusi vegetasi. batuan beku intrusif akan sulit dibedakan dengan batuan beku ekstrusif karena memiliki ciri hampir sama, begitupula untuk membedakan dengan batuan metamorf karena terkadang struktur yang komplek yang disebabkan metamorfism yang mengurangi perbedaan pada resistensi batuan.

Citra penginderaan jauh yang mampu dan baik untuk pemetaan struktur geologi adalah citra gelombang mikro, yang mampu memberikan informasi yang berkaitan dengan topografi (lereng) atau

perpaduan data citra satelit, misalnya yang dilakukan peneliti (Fraser dkk., 1997; Chatterjee dkk., 2003) antara citra SPOT dan IRS pankromatik, sedangkan citra Landsat mempunyai kemampuan yang baik untuk pemetaan vegetasi.

Pemetaan Struktur Geologi

Umumnya endapan mineral berkaitan dengan beberapa jenis deformasi, menurut beberapa peneliti bahwa ada korelasi yang kuat antara endapan mineral dengan karakteristik tertentu (Kutina, 1969; Katz, 1982; Liu dkk., 2000; Rein dan Kaufmann, 2003 dalam Rajesh, 2004).

Kenampakan linier pada citra penginderaan jauh merupakan menunjukkan bentuk dan posisi dari lipatan, patahan/sesar, kekar, *veins*/urat-urat, kontak batuan dan kenampakan geologi lain yang mungkin mengarah ke endapan mineral. Walaupun secara umum, kenampakan tersebut hanya menggambarkan kondisi permukaan dan dekat permukaan, justru memberikan informasi pola struktur secara regional, kenampakan linier yang lebih pendek dan berjumlah relatif banyak sangat berguna untuk menjelaskan daerah-daerah target mineralisasi terendapkan, sehingga penting untuk dilakukan survei lapangan secara detil.

Fu dkk., (2004) menggunakan gambar stereoskopik Landsat TM/ETM yang dikombinasi dengan citra satelit beresolusi tinggi IRS-IC Pan untuk menjelaskan struktur deformasi Quaternary, termasuk distribusi spasial dan susunan struktur lipatan dan patahan, sepanjang sabuk orogenik, Tian Shan, barat laut China.

Pemetaan Alterasi

Endapan mineral umumnya berhubungan dengan alterasi hidrotermal dari batuan sekitar, ragam dan luasnya alterasi merefleksikan jenis potensi mineral. *Host rock* dari endapan mineral selalu menunjukkan hasil interaksi kimia dengan fluida hidrotermal yang menghasilkan endapan mineral (Pirajno, 2009). Alterasi tersebut umumnya membentuk zona disekitar mineralisasi, menjadikan target eksplorasi lebih besar daripada endapannya sendiri.

Beberapa studi dengan wahana foto udara maupun ruang angkasa menunjukkan teknik penginderaan jauh mampu mendeteksi area mineral alterasi hidrotermal, seperti mineral penghasil besi (hematit, goethit, jarosit), mineral penghasil hidroksil (*clay*, mika), sulfat terhidrasi (gypsum, alunit), menunjukkan kenampakan spektral diidentifikasi dengan metode penginderaan jauh (Hunt dan Ashley, 1979; Prost, 1980, Podwysocki dkk., 1983; Gladwell dkk., 1983; Townsend, 1987; Clark dkk., 1990; Fraser, 1991 dalam Rajesh, 2004).

Citra Landsat TM dapat dimanfaatkan untuk identifikasi mineral hidrotermal karena keberadaan saluran infra merah tengah yang menunjukkan karakteristik spektral dari mineral hidrotermal. Proses pengolahan citra untuk mengidentifikasi mineral alterasi meliputi : aplikasi kombinasi saluran (RGB), rasio saluran dan PCA.

Pembuatan saluran rasio dengan citra Landsat TM dengan komposisi saluran 5 dan 7 (TM5/7; indeks *clay* mineral), saluran 3 dan 1 (TM3/1; indeks *iron oxide*), dan saluran 5 dan 4 (TM5/4; indeks *ferrous*) akan diperoleh daerah sebaran mineral-mineral tersebut,

sehingga dapat digunakan untuk membedakan zona alterasi dengan non alterasi.

Di wilayah arid dan semi arid, singkapan zona alterasi hidrotermal cukup menyolok sehingga dapat dideteksi dari citra Landsat TM (Amos dan Geenbaum, 1989; Fraser, 1991). Di daerah tropis, kepadatan vegetasi tinggi dapat mengurangi keberhasilan citra Landsat TM untuk mendeteksi dan pemetaan batuan alterasi hidrotermal (Siegal dan Goetz, 1977). Pada kondisi tutupan vegetasi yang tinggi, maka teknik penajaman digital citra Landsat TM umumnya mampu membantu identifikasi zona alterasi *clay* dan *iron oxide* (Fraser dan Green, 1987). Deteksi dengan penginderaan jauh untuk zona *iron oxide* dan *clay* di daerah bervegetasi tidaklah mudah karena kesamaan pantulansi spektral mineral. Jika data Landsat TM menyediakan informasi tentang distribusi mineral *ferric oxide* (hematit, goethit), maka efek vegetasi perlu diminimalisir. Perbedaan teknik pada proses pengolahan citra Landsat TM untuk mendeteksi dan memetakan batuan alterasi hidrotermal, oleh sebab itu difokuskan pada pemisahan atau pengurangan efek spektral substansial vegetasi terhadap efek spektral yang mendasari substrat (Fraser dan Green, 1987).

Pembuatan metode PCA pada citra merupakan salahsatu metode yang berhasil untuk meminimalisir efek vegetasi pada gambar yang dihasilkan, PCA dapat dianalisa menggunakan metode standar atau pilihan, Pada analisa standar semua saluran yang tersedia di gunakan sebagai input untuk perhitungan PCA, sedangkan di analisa pilihan hanya beberapa saluran yang dipilih. Fraser (1991) menggunakan metode pilihan untuk PCA dengan menggunakan dua saluran input TM3/TM1 dan TM4/TM1 untuk memisahkan antara *ferric oxide* (hematit dan goethit) dan vegetasi dari area Newman, Australia Barat. Saluran rasio ini dipilih karena lebih mengimbangi berbagai macam kondisi yang disebabkan oleh topografi dan kondisi pencahayaan dibandingkan dengan saluran citra Landsat TM lainnya. Begitupula Crosta dan Rabelo (1993) menggunakan teknik Crosta, pembuatan PCA dengan menggunakan saluran TM 1, 4, 5 dan 7 mampu meningkatkan mineral yang kaya alterasi hidroksil di sekitar endapan tembaga porfiri di area Meiduk, Iran, Teknik Crosta (menggunakan empat saluran TM) menyertakan analisa nilai *eigenvector* yang mengarahkan ke identifikasi PC yang mengandung informasi spektral mineral-mineral tertentu, serta kontribusi dari masing-masing saluran asli serta hubungannya dengan respon spektral mineral yang dikehendaki.

Caranza dan Hale (2002) mengembangkan metode pemetaan mineral mineal alterasi limonit dan *clay* menggunakan citra Landsat TM dan diterapkan di daerah Distrik Baguio, Filipina, Adapun tahapan yang dilakukan :

- Membuat PCA pada saluran terpilih, untuk meningkatkan respon spektral dari setiap mineral alterasi menjadi peta mineral yang terpisah berdasarkan pantulan spektral mineral.
- Membuat *training area* untuk zona alterasi hidrotermal yang sudah diketahui.
- Melakukan *supervised classification* dari peta mineral digital untuk memetakan zona alterasi hidrotermal.

- d) Pembuatan DEM (*Digital Elevation Model*) untuk meningkatkan akurasi pengklasasan.

Aplikasi SIG

SIG merupakan alat bantu yang mempunyai kemampuan untuk mengintegrasikan dan menganalisa berbagai macam data spasial yang berreferensi kebumih serta dengan atribut dan format yang berbeda-beda. Adapun tahapan untuk pemetaan mineral potensial meliputi :

1. Membangun *database* digital spasial;
2. Membangun data-data *evidence* untuk potensi mineral tertentu;
3. Menghitung bobot dari tiap data *evidence* terhadap potensi mineral tertentu;
4. Mengintegrasikan data-data *evidence* tersebut untuk menghasilkan peta potensi mineral.

Metode integrasi data dengan SIG dapat dibagi menjadi dua kelompok utama :

- Kelompok *knowledge-driven*, seperti *Index Overlay*, *Fuzzy Logic* dan *Boolean*, *Analytical Hierarchy Process*, *Dempster-Shafer Belief Theory*, perkiraan penilaian parameter-parameter tersebut berdasarkan pendapat/opini para ahli dan;
- Kelompok *data-driven*, seperti regresi, *Weight of Evidence Model*, *Logistic Regression*, Faktor Kepastian, *Bayesian Statistic* dan *Artificial Neural Networks (ANN)*, perkiraan model parameter dari data terukur (Bonham-Carter, 1994). Pendekatan *data-driven*, tidak seperti pendekatan *knowledge-driven*, membutuhkan beberapa parameter endapan yang sudah diketahui keberadaan di daerah yang dikehendaki, dan parameter tersebut dapat diaplikasikan pada wilayah lain tetapi dengan geologi yang sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Makalah ini difokuskan pada peranan data penginderaan jauh pada pemetaan endapan mineral, serta membutuhkan pendekatan multitematik dan SIG, sebagai alat integrasi dan analisa terhadap data spasial. Semua citra satelit di makalah ini mengacu pada sensor optik pantulan pada panjang gelombang infra merah dekat dan tampak (VNIR; 0.3-1.0 μm), infra merah gelombang pendek (SWIR; 1.0-2.5 μm) dan infra merah tengah atau infra merah termal (TIR; 3-5 μm ; 8-14 μm), satelit *Synthetic Aperture Radar (SAR)*, Selanjutnya satelit yang bekerja berdasarkan energi pantulan yang bersumber dari sinar matahari yaitu Landsat dengan sensor (*Multispectral Scanner (MSS)*, *Thematic Mapper/Enhanced Thematic Mapper (TM/ETM)* *Onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, *Système Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT)*, *Indian Remote Sensing Satellite (IRS)*, *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflecton Radiometer (ASTER)* dan IKONOS, selanjutnya, satelit yang mengirim dan mendeteksi gelombang pancaran, meliputi RADARSAT, ERS dan Satelit Sumber Daya Bumi Jepang (JERS, sekarang FUYO).

Karakteristik spektral citra penginderaan jauh merupakan salah satu faktor paling penting dalam keberhasilan penerapan data penginderaan jauh untuk mendeteksi endapan mineral, Ketersediaan saluran-

saluran multispektral dan hiperspektral sangat membantu dalam pemetaan endapan mineral, adapun parameter geologi yang digunakan untuk mendeteksi endapan mineral meliputi :

- Interpretasi batuan, dapat dikenali dengan beberapa ciri khas, salah satunya adalah morfologi yang berkaitan langsung dengan resistensi dan struktur batuan, morfologi lembah akan ditempati oleh jenis batuan lunak (lempung, serpih, napal) sedangkan perbukitan akan ditempati batuan yang lebih keras (batupasir, konglomerat, breksi dan batugamping), ciri lainnya adalah kenampakan jejak-jejak perlapisan yang tersingkap di permukaan karena struktur geologi atau proses erosi, begitupula batuan beku dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu intrusif dan ekstrusif, misalnya kenampakan batuan granitik dicirikan dengan pola topografi masif dan membulat, tidak berlapis, berbentuk seperti kubah dengan ketinggian puncak bervariasi serta lereng terjal, sedangkan interpretasi batuan metamorf lebih sulit dikarenakan sebarannya sangat terbatas.
- Interpretasi kelurusan

Kelurusan merupakan daerah prospek untuk identifikasi patahan, terekspos sebagai kelurusan sungai, defleksi sungai yang mendadak, kelurusan depresi *sinkhole*, kelurusan *offset* topografi serta

kelurusan rona. Jika pergeseran relatif dapat dilihat maka dikatakan sebagai patahan, begitupula sebaliknya jika tidak ada pergeseran maka kenampakan tersebut dikatakan sebagai kekar, Sedangkan untuk *shear zone* dapat diidentifikasi dari perubahan sudut dari perlapisan batuan.

- Interpretasi mineral alterasi

Identifikasi mineral alterasi meliputi : aplikasi kombinasi saluran (RGB), saluran rasio dan PCA. Adapun tujuan ketiga metode tersebut adalah meningkatkan kualitas respon spektral sehingga memudahkan di dalam interpretasi mineral, agar hasilnya maksimal maka dalam pembuatan kombinasi saluran diharapkan melibatkan saluran tampak maupun inframerah, begitupula saluran rasio merupakan teknik yang efektif untuk menampilkan variasi spektral dari objek permukaan serta menghasilkan informasi tertentu yang tidak tersedia pada saluran tunggal, sedangkan metoda PCA pada prinsipnya menghilangkan korelasi di antara variabel bebas melalui transformasi variabel bebas asal ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali dan sangat efektif di terapkan pada citra penginderaan jauh multispektral.

KESIMPULAN

Hasil pengolahan data penginderaan jauh menghasilkan beberapa kesimpulan, meliputi :

1. Citra penginderaan jauh mampu menyediakan informasi spasial yang tidak tersedia dari sumber data *geosciences* lainnya, misalnya pemetaan struktur dan kelurusan geologi (*lineament*) lebih dipercaya akurasi daripada dengan menggunakan interpolasi data lapangan.
2. Data penginderaan jauh memiliki kelebihan dari aspek resolusi spasial, resolusi spektral dan resolusi temporal, dapat membantu menjelaskan metalogenik *ore* mineral dengan cepat pada lokasi yang luas.

3. Di tahap akhir eksplorasi, keberadaan SIG merupakan alat untuk mengintegrasikan sekumpulan data yang diperoleh dari data penginderaan jauh maupun data geosciences lain seperti geokimia, geofisika, survei terestrial dan sebagainya, sehingga diperoleh informasi baru yang berupa peta potensi endapan mineral.

REFERENSI

- Akhavi, M.S., Webster, T.L., & Raymond, D.A., 2001. RADARSAT-1 imagery and GIS Modeling for Mineral Exploration in Nova Scotia, Canada. *Geocarto International*, 16, pp.55-61.
- Amos, B.J., & Geenbaum, D., 1989. Alteration Detection Using TM Imagery: The Effects of Supergene Weathering in Arid Climate. *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 515-527.
- Bonham Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS*. UK: Pergamon.
- Carranza, E.J.M., & Hale, M., 2002. Mineral Imaging with Landsat Thematic Mapper Data for Hydrothermal Alteration Mapping in Heavily Vegetated Terrane. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (22), pp.4827-4852.
- Chatterjee, R.S., Prabakaran, B., & Jha, V.K., 2003. Fusion of Surface Relief Data With High Spectral and Spatial Resolution Satellite Remote Sensor Data for Deciphering Geological Information in a Mature Topographic Terrain. *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 4761-4775.
- Crosta, A.P., & Rabelo, A., 1993. Assessing Landsat TM for Hydrothermal Mapping in Central Western Brazil. *Proceedings of the Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Pasadena, California, USA, pp. 1053-1061.
- Fraser, A., Huggins, P., Reens, J., & Cleverly, P. 1997. A Satellite Remote Sensing Technique for Geological Horizon Mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp.1607-1615.
- Fraser, S.J., 1991. Discrimination and Identification of Ferric Oxides Using Satellite Thematic Mapper Data: a Newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, 12, pp. 635-641.
- Fraser, S.J., & Green, A.A., 1987. A Software Defoliant for Geological Analysis of Band Ratios. *International Journal of Remote Sensing*, 8, pp. 525-532.
- Fu, B., Lin, A., Kano, K. I., Maruyama, T., & Guo, J., 2004. Application of Stereoscopic Satellite Images for Studying Quaternary Tectonics in Arid Regions. *International Journal of Remote Sensing*, 25, pp. 537-547.
- Honarmand, M., Ranjbar, H., & Shahabpour, J., 2011. Application of Spectral Analysis in Mapping Hydrothermal Alteration of the Northwestern Part of the Kerman Cenozoic Magmatic Arc, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 22 (3), pp. 221-238.
- Hunt, G.R., & Ashley, R.P., 1979. Spectra of Altered Rocks in The Visible and Near Infrared. *Economic Geology*, 74, pp.1613 - 1629.
- Hunt, G.R., 1979. Near-Infrared (1.3-2.4 μm) Spectra of Alteration Minerals-Potential for Use in Remote Sensing. *Geophysics*, 44, pp.1974-1986.
- Hunt, G.R., & Salisbury, J.W., 1970a. Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks: I Silicate Minerals. *Modern Geology*, 1, pp. 283-300.
- Kahle, A.B., Morrison, A.D., Tsu, H., & Yamaguchi, Y., 1996. Geologic Remote Sensing in The Thermal Infrared. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, pp. 327-330.
- Langford, R.L., 2015. Temporal Merging of Remote Sensing Data to Enhance Spectral Regolith, Lithological and Alteration Patterns for Regional Mineral Exploration. *Ore Geology Review*, 68, Elsevier, pp.14-29.
- Lahren, M.M., Schweickert, R.A., & Taranik, J.V., 1988. Analysis of The Northern Sierra Accreted Terrain, California, With Airborne Thermal Infrared Multispectral Scanner Data. *Geology*, 16, pp. 525-528.
- Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W., 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation (3rd Ed.)*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Longhi, I., Sgavetti, M., Chiari, R., & Mazzoli, C., 2001. Spectral Analysis and Classification of Metamorphic Rocks from Laboratory Reflectance Spectra in The 0.4-2.5 μm Interval: A Tool for Hyperspectral Data Integration. *International Journal of Remote Sensing*, 22, pp. 3763-3782.
- Neville, R.A., Levesque, J., Staenz, K., Nadeau, C., Hauff, P., & Borstad, G.A., 2003. Spectral Unmixing of Hyperspectral Imagery for Mineral Exploration: Comparison of Results from SFSI and AVIRIS. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29, pp. 99 - 110.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Australia: Springer Science.
- Pour, A.B., & Hashim, M., 2017. Application of Landsat-8 and ALOS-2 Data for Structural and Landslide Hazard Mapping in Kelantan, Malaysia. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 17, pp.1285-1303.
- Rajesh, H.M., 2004. Application of Remote Sensing and GIS in Mineral Resource Mapping—An Overview. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99, pp.83-103.
- Sabine, C., Realmuto, V.J., & Taranik, J.V., 1994. Quantitative Estimation of Granitoid Composition from Thermal Infrared Multispectral Scanner (TIMS) data, Desolation Wilderness, Northern Sierra Nevada, California. *Journal of Geophysical Research*, 99, pp. 4261-4271.
- Siegal, B.S., & Goetz, A.F.H., 1977. Effect of vegetation on rock and soil discrimination. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, pp.191-196.