

APLIKASI METODE CROSTA UNTUK PENENTUAN ZONA UBAHAN DI DAERAH KAMPUS LAPANGAN CISOLOK, SUKABUMI DAN SEKITARNYA

Application of Crosta Method for Determining Alteration Zone in Cisolok Field Campus, Sukabumi and Its Sourrounding

Arif Budiyo

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi, Mineral dan Batubara
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung 40211
Telp. (022) 6076756, Faks. (022)
E-mail: arif.budiyo@esdm.go.id

ABSTRAK

Metode Crosta merupakan metode pengolahan data penginderaan jauh untuk menentukan zona ubahan yang terkait mineralisasi pada suatu daerah dengan kondisi geologi yang mendukung. Metode Crosta diterapkan pada data citra penginderaan jauh di kawasan Kampus Lapangan Cisolok, Sukabumi. Proses penajaman pada kanal 1, 3, 4, 5 dan 1, 4, 5, 7 memberikan gambaran pemisahan zona yang signifikan antara sebaran ubahan lempung dan sebaran ubahan oksida besi di daerah penelitian. Kegiatan validasi data dilakukan terhadap titik-titik pengamatan yang telah ditentukan dan memberikan nilai kandungan Fe_2O_3 rata-rata 15,2%. Keterdapatan struktur geologi dan zona ubahan yang beragam di kawasan Kampus Lapangan Cisolok, Sukabumi memberikan nilai tambah yang signifikan pada penerapan metode ini dalam memisahkan zona ubahan oksida besi dan zona ubahan lempung.

Kata kunci: penginderaan jauh, metode crosta, zona ubahan, kampus lapangan Cisolok

ABSTRACT

Crosta method is a method of remote sensing data processing to determine alteration zones associated with mineralization in an area with favorable geological conditions. The Crosta method is applied to remote sensing image data in the Cisolok field campus area, Sukabumi. The enhancement process of the 1,3,4,5 and 1,4,5,7 bands gives a picture of the significant zone separation between the distribution of clay changes and the distribution of iron oxide changes in the study area. Data validation was carried out on the determined observation points and gave an average Fe_2O_3 content of 15.2%. The geological structure and various alteration zones in the Cisolok field campus area, Sukabumi provide significant added value in the application of this method in separating zones of iron oxide and clay alteration.

Keyword: remote sensing, crosta method, alteration zone, Cisolok field campus.

PENDAHULUAN

Pusat Pengembangan SDM Geologi, Mineral, dan Batubara memiliki beberapa program pelatihan kegeologian. Salah satunya adalah program pelatihan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi. Pelatihan ini bertujuan meningkatkan kompetensi peserta dalam memanfaatkan data penginderaan jauh sebagai dasar pembuatan peta geologi atau peta tematik lainnya. Peta tersebut memuat informasi geologi hasil interpretasi indraan jauh. Struktur kurikulum pelatihan ini meliputi enam macam diklat yang terdiri atas identifikasi data citra penginderaan jauh, penyiapan data citra penginderaan jauh, identifikasi bentuk lahan, penafsiran struktur geologi, identifikasi litologi, serta penyajian hasil identifikasi morfologi, struktur, dan litologi. Program pelatihan diselenggarakan selama 92 jam pelajaran dengan komposisi 43 jam pelajaran teori dan 49 jam pelajaran praktik.

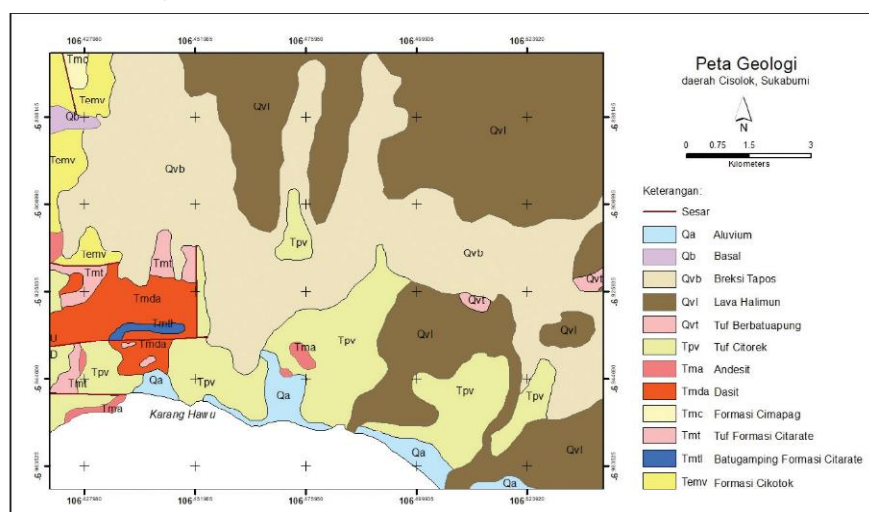
Materi identifikasi data citra penginderaan jauh membahas identifikasi jenis data citra. Dibahas juga kesesuaian cakupan area dengan daerah yang akan dipetakan, penentuan resolusi spasial sesuai dengan skala peta yang akan dihasilkan, dan pemanfaatan karakteristik spektral dari data citra tersebut. Materi penyiapan data citra penginderaan jauh akan membahas proses koreksi data. Di antaranya meliputi koreksi radiometrik dan koreksi geometrik, penggabungan data citra dengan teknik mosaik, dan pemilihan kombinasi kanal data citra. Di dalamnya termasuk juga teknik komposit, operasi antar-*band* spektral, dan penyaringan serta pengklasifikasian data citra. Topik identifikasi bentuk lahan merupakan penerapan data citra yang telah diproses untuk menentukan bentuk lahan. Identifikasi bentuk lahan tersebut di antaranya identifikasi morfografi, morfometri, pengelompokan, serta deliniasi satuan morfologi berdasarkan morfogenetik. Bahasan penafsiran struktur geologi merupakan penerapan data citra yang telah diproses untuk menafsirkan struktur geologi. Hal tersebut lebih menitikberatkan pada identifikasi jejak dan pola kelurusan struktur geologi hingga dapat menentukan jenis struktur geologi yang ada. Sementara pada materi identifikasi litologi akan dibahas identifikasi ketampakan jenis batuan berdasarkan respons spektral. Kemudian dapat ditentukan bentuk dan sebaran dari jenis batuan. Bahasan pelatihan akan diakhiri dengan materi penyajian hasil identifikasi morfologi, struktur, dan litologi dalam bentuk peta geologi hasil interpretasi indraan jauh.

Pada pelaksanaan kegiatan praktik, pelatihan ini akan memiliki sesi validasi data hasil interpretasi indraan jauh berupa *ground-checking*. Untuk keperluan tersebut dibutuhkan suatu kondisi lapangan yang ideal dari sisi variasi litologi dan ketercapaian akses tempat untuk melaksanakannya. Dalam hal ini, peran kampus lapangan akan sangat berguna, baik sebagai tempat transit pengumpulan data maupun sekaligus sebagai sarana tempat pengolahan data yang memadai. Dengan begitu, proses kegiatan pelatihan akan lebih efektif. Pusat Pengembangan SDM Geologi, Mineral dan Batubara telah memiliki kampus lapangan dengan tujuan serupa di daerah Kecamatan Cipatat, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. Objek praktik dan observasi meliputi kawasan karst Goa Pawon dan *Stone Garden* serta kawasan pertambangan batugamping. Namun, secara regional Kampus Lapangan Cipatat didominasi oleh litologi batugamping Formasi Rajamandala sehingga dari sisi variasi litologi relatif homogen (Maryanto, 2012). Karena itu, dibutuhkan tempat kampus lapangan alternatif, yaitu kampus lapangan Cisolok, Sukabumi.

Kampus Lapangan Cisolok, Sukabumi merupakan salah satu fasilitas sarana dan prasarana kediklatan yang dimiliki oleh Badan Pengembangan SDM Kementerian ESDM di bawah satuan kerja Pusat Pengembangan SDM Aparatur. Kampus lapangan ini terletak di Desa Cisolok, Kecamatan

Cisolok, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Pada awalnya Kampus Lapangan Cisolok didirikan sebagai tempat pembelajaran pelatihan-pelatihan bertema geologi. Kampus tersebut sangat strategis karena wilayahnya dekat dengan berbagai objek dan manifestasi geologi, seperti kawasan Taman Bumi Ciletuh, manifestasi panas bumi Cisolok-Cisukame, endapan batubara Formasi Bayah, dan kawasan geowisata Pantai Sawarna.

Secara umum, batuan di daerah Cisolok dapat digolongkan menjadi batuan berumur Tersier dan Kuartar. Terdapat tiga sesar utama yang berarah timur laut-barat daya, timur-barat dan utara-selatan. Sesar berarah timur laut-barat daya berumur Tersier yang mengontrol pembentukan cekungan Tersier dan masih aktif mengontrol proses erosi, pengendapan, serta aktivitas vulkanis di daerah Cisolok. Struktur termuda berumur Plistosen berkembang di Cisukame berarah utara-selatan. Terdapat manifestasi panas, yaitu mata air panas, endapan sinter, dan batuan teralterasi. Kemunculan batuan teralterasi diperkirakan dikontrol oleh struktur berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Mata air panas berasosiasi dengan endapan sinter karbonat yang merupakan hasil kegiatan resen. Adapun batuan teralterasi diduga berkaitan dengan kegiatan zaman Tersier. Stratigrafi daerah Cisolok dan sekitarnya sebagaimana terlihat pada Gambar 1 terdiri dari: batugamping (Tmtl) anggota dari Formasi Citarate, terletak di bagian bawah, berumur Miosen Awal, bercirikan batugamping terumbu dan mengandung pecahan kuarsa serta feldspar, terendapkan pada lingkungan laut; tuf Citorek (Tpv) berumur Pliosen, bercirikan endapan epiklastik tufaan bersusun dasit dan batugamping. Tufa ini diduga selaras di atas Formasi Cimanceuri; breksi Tapos (Qvb) berumur Pleistosen, berupa breksi gunungapi bersusun andesit, basalt, dan aglomerat. Breksi ini menjemari dengan lava Halimun dan menutupi tak selaras satuan batuan tua; dasit (Tmda) berumur Miosen Akhir, bersusun dasit atau liparit, terbentuk retas atau terobosan kecil berbentuk *stock*; alluvium (Qa) berupa endapan sungai dan endapan undak; endapan pantai (Qc) setempat berupa dataran pantai, gosong pasir, dan batugamping terumbu (Sudjarmiko dan Santoso, 1992).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Sumber: Sudjarmiko dan Santoso, 1992)

Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam analisis data penginderaan jauh, yaitu metode Crosta pada data citra yang meliputi wilayah Kampus Lapangan Cisolok. Metode Crosta merupakan metode pemilihan komponen utama berbasis fitur dengan pendekatan *Principal Component Analysis* (PCA). Metode ini mendeteksi komponen utama yang mengandung informasi *spectra* tentang mineral tertentu menggunakan analisis nilai vector *eigen* (Loughlin, 2011). Dari segi hasil, metode Crosta merupakan formulasi untuk menentukan zona ubahan oksida besi dan

zona ubahan lempung, dilihat dari nilai *eigen vector leading* berdasarkan *Principal Component Analysis* tersebut (Yanuarsyah dan Suwarno, 2017). Keberadaan zona ubahan ini tentunya sangat cocok dengan penerapan metode Crosta pada citra di sekitar lokasi Kampus Lapangan Cisolok yang secara stratigrafi dan struktur geologi memungkinkan adanya daerah alterasi yang cukup luas. Dalam penerapan program pelatihan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi dalam kegiatan-eksplorasi sumber daya mineral, telah berhasil menerapkan analisis pengolahan data citra dengan metode Crosta (Julzarika dan Anggraini, 2018).

METODOLOGI

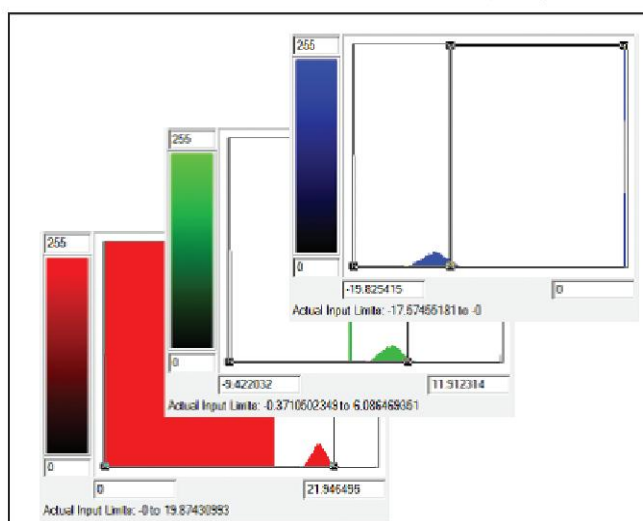
Pada penelitian ini terdapat dua tahapan utama, yaitu tahap pengolahan dan analisis data citra serta tahap validasi data hasil olahan citra. Output dari tahap pengolahan dan analisis data citra adalah peta sebaran ubahan oksida besi dan sebaran ubahan lempung menggunakan perangkat lunak *ER Mapper*. Sementara itu, output dari tahap validasi data hasil olahan citra adalah titik-titik koordinat validasi data dengan melakukan *ground-checking* kondisi litologi permukaan dibantu dengan peralatan *handheld XRF Bruker* tipe S1 Titan untuk mengukur kandungan unsur Fe. Pada penelitian ini hanya dilakukan pemindaian untuk unsur Fe dikarenakan peralatan ini hanya mampu mendeteksi secara langsung dalam bentuk *ferric oxide* (Fe_2O_3). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra Landsat 7 ETM+ lembar 122-65 dan sebagai sumber peta dasar dan tematik digunakan Peta Rupa Bumi Digital Indonesia Lembar Cisolok 1109-322 Skala 1:25.000 dan Peta Geologi Lembar Leuwidamar Skala 1:100.000.

Pada data citra terlebih dahulu dilakukan koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Kualitas radiometrik berhubungan dengan nyaman tidaknya gambar dalam pandangan visual juga informasi spektral yang diberikan oleh objek dan tercatat oleh sensor. Koreksi radiometrik dilakukan atas dua tujuan dasar, yaitu untuk memperbaiki kualitas visual citra dan memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya, akibat gangguan atmosfer, geometri sensor terhadap matahari dan kesalahan pada sensor itu sendiri. Tahapan koreksi radiometrik yang digunakan pada penelitian ini adalah *sensor calibration*, *sunlight correction*, dan *atmospheric correction*. Di samping itu, kualitas geometrik menunjukkan benar tidaknya suatu citra dalam menampilkan informasi bentuk dan posisi sesuai dengan yang ada di lapangan (koordinat sebenarnya). Koreksi geometrik adalah suatu upaya untuk membenarkan aspek posisi dan bentuk citra. Hal tersebut dilakukan dengan mentransformasi geometri atau posisi piksel diikuti dengan perubahan informasi spektral. Model koreksi geometrik yang digunakan pada penelitian ini adalah model transformasi berdasarkan titik kontrol lapangan atau *Ground Control Point* (GCP). Koreksi model transformasi berdasarkan GCP menerapkan cara pandang empiris. Hal tersebut dilakukan dengan membandingkan posisi-posisi antara objek yang ada di citra dan objek yang sama pada data lapangan atau peta sesuai dengan daerah liputan citra.

Principal Component Analysis (PCA) atau analisis komponen utama merupakan teknik rotasi yang diterapkan pada sistem koordinat *multiband*. Teknik tersebut menghasilkan citra baru dengan jumlah *band* yang lebih sedikit. Namun, dengan informasi yang bersifat lebih efisien, akan menghasilkan citra dengan *band* yang saling tidak berkorelasi serta menghilangkan *noise* (Loughlin, 2011). PCA bekerja dengan merotasi sumbu data original sehingga nilai kecerahannya terdistribusi ulang (terproyeksi) menjadi beberapa sumbu baru atau dimensi baru. Hasil dari transformasi PCA, PC1 (sumbu utama) terletak pada sumbu baru dengan distribusi piksel yang paling besar variansinya. Adapun PC2 yang

akan dibuat tegak lurus terhadap PC1 memiliki variansi data terbesar kedua setelah PC1 dan seterusnya. Algoritma transformasi PCA dimulai dengan cara menghitung statistik antar-*band* (mean, standar deviasi, variasi, kovariansi, dan korelasi antarsaluran) secara urut. Dilanjutkan dengan memplotkannya pada matrik variansi-kovariansi, dan terakhir adalah menghitung data final. *Eigen vector* menunjukkan arah dari sumbu-sumbu komponen utama yang terbentuk dan bagaimana suatu kumpulan data dengan banyak dimensi dihubungkan sepanjang vektor tersebut. Pada prinsipnya, metode Crosta memanfaatkan transformasi komponen utama, yaitu teknik statistik dengan memilih kombinasi variabel linear yang berkorelasi (*eigen vector*) sedemikian rupa sehingga setiap kombinasi linear yang diekstrak berturut-turut atau komponen pokok memiliki varian yang lebih kecil.

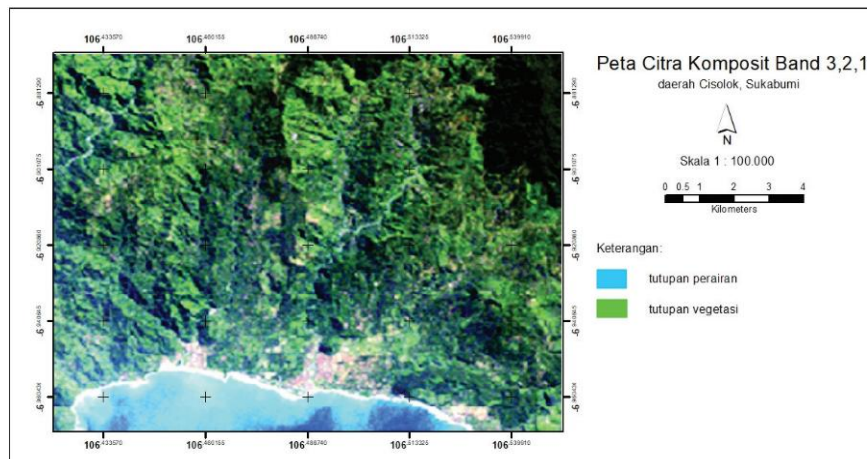
Data citra dibagi menjadi dua komposit, yaitu TM 1, 3, 4, 5 dan TM 1, 4, 5, 7. Proses penajaman (*enhancement*) objek dilakukan setelah proses pembuatan komposit, yaitu dengan cara memasukkan kedua komposit ke dalam sebuah algoritma pada perangkat lunak, yaitu algoritma *Principal Component*. Algoritma tersebut dapat mengolah sampai enam buah *band* pada setiap komposit TM-nya. Jumlah *band* yang digunakan pada setiap komposit dalam penelitian ini adalah empat *band* maka jumlah *band* dalam algoritma *Principal Component* dikurangi menjadi empat *band*. Kemudian dilakukan analisis citra Landsat dengan pengecekan nilai *covariance eigen vector*. Tujuan pengecekan adalah untuk melihat adanya potensi nilai anomali untuk masing-masing kombinasi layer 1, 4, 5, 7 dan kombinasi layer 1, 3, 4, 5. Penajaman (*enhancement*) dilakukan dengan cara membalikkan objek (*invert*) agar anomali tersebut dapat ditonjolkan. Penonjolan nilai anomali dilakukan pada sebaran spektral (*threshold transformation*) sebagaimana terlihat pada Gambar 2 yang ditandai oleh nilai *digital number* ubahan lempung dan ubahan oksida besi.



Gambar 2. Proses *threshold transformation* (Sumber: Yanuarsyah dan Suwarno, 2017).

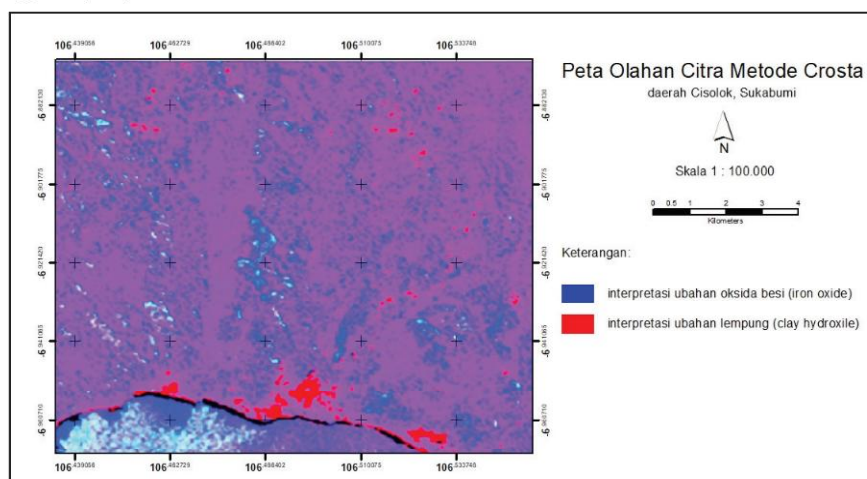
HASIL

Komposit citra Landsat *band* 3, 2, dan 1 sebagaimana terlihat pada Gambar 3 menunjukkan rona asli. Komposit tersebut dapat digunakan untuk memetakan penutupan lahan dan kerapatan vegetasi di daerah penelitian. Objek vegetasi dimunculkan dalam gradasi warna hijau tua ke muda. Warna hijau tua menunjukkan hutan lebat dan sebaliknya. Untuk objek infrastruktur dan daerah terbuka seperti permukiman dan jalan dimunculkan dengan gradasi warna agak merah (tidak begitu tampak). Di samping itu, objek perairan (sungai dan daerah tergenang) dimunculkan dengan gradasi dari hitam gelap sampai kebiruan.



Gambar 3. Komposit Citra Landsat Band 3, 2,1 Daerah Penelitian (Sumber: Dokumentasi pribadi).

Komposit citra hasil penerapan metode Crosta akan peka terhadap gelombang elektromagnetik *band 5* dan *band 7*. Berdasarkan hasil analisis, tampak bahwa hasil komposisi ubahan oksida besi (*iron oxide*) dan ubahan lempung (*clay hydroxile*) akan terlihat pada Gambar 4, yakni bercak berwarna biru merupakan indikasi ubahan oksida besi (*iron oxide*) dan merah merupakan indikasi ubahan lempung (*clay hydroxile*).



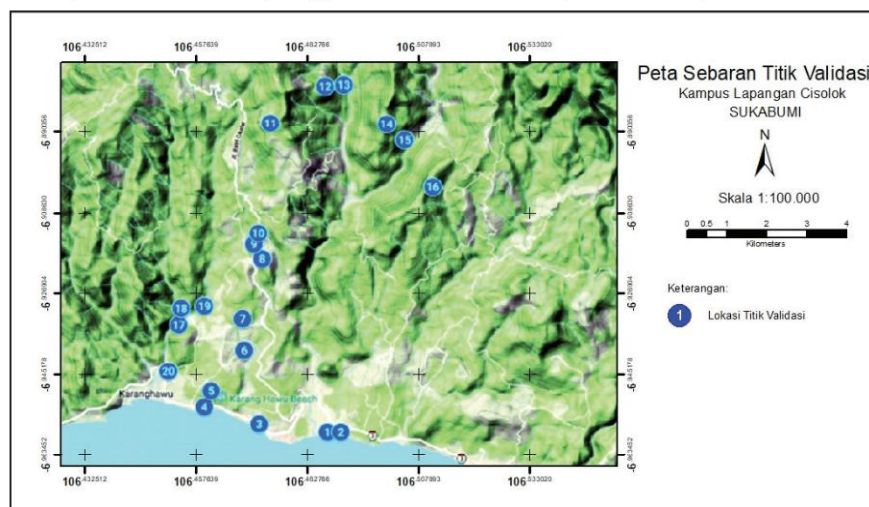
Gambar 4. Olahan Citra Landsat Metode Crosta (Sumber: dokumentasi pribadi).

Pada tahapan validasi ditentukan sebanyak dua puluh titik pengamatan dengan melakukan pemindaian kandungan unsur Fe pada batuan permukaan menggunakan *handheld XRF Bruker* tipe S1 Titan. Peralatan ini telah dilakukan penyetelan pada *detector shield* dengan *collimator 3 mm* dan *X-ray tube*. Hasil pemindaian pada titik-titik tersebut sebagaimana terlihat pada Gambar 5 menunjukkan kandungan unsur Fe rata-rata 15,2%.



Gambar 5. Ilustrasi salah satu lokasi pengamatan titik validasi: titik validasi pada batuan ubahan pada T-19 di alur bagian timur Sungai Cisolok (kiri) dan (kanan) titik validasi pada T-4 di Pantai Karang Hawu (Sumber: Dokumentasi pribadi).

Titik-titik pengamatan untuk validasi dipilih berdasarkan pertimbangan kemudahan akses, seperti adanya jalur sungai, jalur jalan, dan waktu tempuh. Selain itu, juga adanya pertimbangan kondisi geologi terkait sebaran daerah ubahan hidrothermal pada sistem panas bumi Cisolok-Cisukarame. Penempatan titik-titik pengamatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sebaran Titik-titik Validasi data Hasil Olahan Citra (Sumber: Dokumentasi pribadi).

PEMBAHASAN

Hasil olahan data citra menggunakan metode Crosta, sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Hasil olahan tersebut memperlihatkan bahwa sebaran ubahan lempung terkonsentrasi di sekitar kawasan manifestasi geothermal di Sungai Cisolok dan di Cisukarame, baik pada zona ubahan kuat (dominan kuarsa) maupun zona ubahan sedang (dominan kaolinit). Sebaran ubahan lempung juga tampak mengumpul membentuk suatu kelurusan mengikuti sesar Cisolok yang berarah hampir utara-selatan hingga menuju kawasan manifestasi di Cisukarame. Di samping itu, untuk sebaran ubahan oksida besi tampak terkonsentrasi di sebelah timur dari area manifestasi dan tampak mengumpul pada daerah-daerah punggung. Secara kualitatif tampak bahwa penerapan metode Crosta pada analisis data citra di kawasan Kampus Lapangan Cisolok memberikan gambaran yang cukup ideal terkait dengan variasi ataupun pemisahan zona antara sebaran ubahan lempung dan sebaran ubahan oksida besi. Dengan demikian, simulasi kegiatan validasi data yang dilakukan pada sesi praktik pelatihan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi dapat dilaksanakan.

Struktur sesar yang berkembang di kawasan Kampus Lapangan Cisolok memiliki andil yang cukup signifikan terhadap tatanan kondisi geologi yang memungkinkan berkembangnya zona ubahan. Berdasarkan penelitian terdahulu, terdapat tiga sesar utama, yaitu yang berarah timur laut-barat daya, timur-barat, dan hampir utara-selatan. Pemunculan manifestasi diinterpretasikan akibat struktur sesar normal yang berarah hampir utara-selatan (Sudjatmiko dan Santoso, 1992). Perpotongan sesar yang berarah hampir utara-selatan dengan sesar berarah timur laut-barat daya merupakan zona penting karena berhubungan dengan adanya daerah ubahan yang luas di kawasan Cisolok (Abdillah dkk., 2017). Keterdapatan struktur geologi dan zona ubahan yang cukup beragam di kawasan Kampus Lapangan Cisolok tersebut merupakan kondisi yang cukup ideal dalam penerapan materi mata diklat penafsiran struktur geologi. Selain itu juga cocok untuk identifikasi litologi pada program pelatihan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemetaan geologi ini. Dengan demikian, kegiatan pembelajaran identifikasi jejak dan pola kelurusan struktur geologi serta identifikasi kenampakan jenis batuan berdasarkan respons spektral dapat dilaksanakan dengan optimal.

Hasil pemetaan sebaran pengamatan titik-titik validasi, sebagaimana terlihat pada Gambar 6. Hal itu menunjukkan bahwa titik-titik tersebut dapat dikelompokkan pada empat area utama, yaitu kawasan Pantai Karang Hawu, kawasan manifestasi Cisolok-Cisukarame, kawasan di sepanjang jalur jalan raya Sukatani-Karang Papak, dan kawasan perbukitan Lebak Nangka-Pangguyangan. Berdasarkan analisis *proximity* menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografi dengan kriteria aksesibilitas dan waktu terhadap lokasi Wisma Pusat Pengembangan SDM Aparatur di Cisolok maka lokasi yang dapat direkomendasikan untuk pelaksanaan praktik program pelatihan pemanfaatan data pengindraan jauh untuk pemetaan geologi adalah kawasan Pantai Karang Hawu, kawasan manifestasi Cisolok, dan kawasan di sepanjang jalur jalan raya Sukatani-Karang Papak. Aktivitas kegiatan validasi data lapangan terhadap data hasil olahan data citra dapat dilaksanakan dalam dua hari dari alokasi waktu sekitar 50 jam pelajaran untuk kegiatan praktik. Asumsinya, kegiatan difasilitasi kendaraan roda empat yang memadai.

KESIMPULAN

Penggunaan metode Crosta mampu memperlihatkan perbedaan zonasi yang cukup signifikan antara sebaran ubahan lempung dan sebaran ubahan oksida besi di kawasan Kampus Lapangan Cisolok, Sukabumi. Keterdapatn struktur geologi dan zona ubahan yang cukup kuat memberikan nilai lebih bagi kawasan ini untuk menerapkan metode Crosta. Kampus Lapangan Cisolok, Sukabumi Pusat Pengembangan SDM Aparatur dapat menjadi salah satu alternatif tempat untuk program pelatihan pemanfaatan data pengindraan jauh untuk pemetaan geologi. Adanya zona ubahan yang cukup beragam di kawasan ini memberikan nilai tambah. Terutama, terkait kegiatan pembelajaran pada mata diklat penafsiran struktur geologi dan mata diklat identifikasi litologi. Kegiatan validasi data lapangan terhadap analisis data hasil olahan citra dapat dilaksanakan di kawasan kampus lapangan selama 20 jam pelajaran dari alokasi waktu 50 jam pelajaran untuk kegiatan praktik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Pengembangan SDM Aparatur yang telah memberikan dukungan dan mengizinkan penggunaan fasilitas Wisma Kampus Lapangan Cisolok. Terima kasih juga kepada mahasiswa Politeknik Akademi Geologi Pertambangan Bandung yang turut membantu kegiatan observasi lapangan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. R., Aditio, M., Alamsyah, M. S., Haryanto, A. D., dan Rosana, M. F. (2017). Hidrogeokimia Air Manifestasi Panas Bumi di Daerah Cisolok – Cisukarame, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 1(3), 250-259.
- Bakosurtanal. (2000). *Peta Rupa Bumi Digital Indonesia Lembar 1109-322 Cisolok*. Cibinong, Bogor: Bakosurtanal.
- Julzarika, A., dan Anggraini, N. (2018). Deteksi Potensi dan Aktivitas Lahan Pertambangan dengan Penginderaan Jauh. *PROSIDING PIT KE-5 RISET KEBENCANAAN IABI Universitas Andalas* (pp. 319-333). Padang: Universitas Andalas.
- Loughlin, W. P. (2011). Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(9), 1163-1169.
- Maryanto, S. (2012). Sedimentologi Batugamping Formasi Rajamandala di Lintasan Sanghyang, Citatah, Bandung Barat. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, 22(2), 73-87.
- Sudjatmiko, dan Santoso, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa (Lembar 1109-3), Skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Yanuarsyah, I., dan Suwarno, Y. (2017). Integrasi Data Inderaja dan Data Geologi untuk Mendukung Eksplorasi Tambang Emas Studi Kasus di Kabupaten Paniai Provinsi Papua. *Majalah Ilmiah GLOBE*, 19(1), 75-82.