



Aplikasi Penginderaan Jauh dalam Pemetaan Potensi Cebakan Emas Epitermal

Abyan Gugus Pandjadi, Dono Guntoro*, Novriadi

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received : 15/9/2023

Revised : 14/12/2023

Published : 21/12/2023



Creative Commons Attribution-
NonCommercial-ShareAlike 4.0
International License.

Volume : 3

No. : 2

Halaman : 115-124

Terbitan : **Desember 2023**

ABSTRAK

Penentuan potensi cebakan endapan bahan galian adalah langkah krusial dalam kegiatan eksplorasi. Penelitian ini menggunakan Citra Landsat 8 dalam aplikasi penginderaan jauh untuk mengidentifikasi daerah potensi cebakan emas. Faktor-faktor seperti litologi batuan, struktur geologi, dan sebaran alterasi dievaluasi. Peta Topografi, Peta Geologi, Citra Landsat 8, dan Digital Elevation Model (DEM) dari Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digunakan untuk analisis. Identifikasi litologi batuan dilakukan dengan metode Supervised Mapping. Struktur geologi diidentifikasi melalui analisis kelurusan menggunakan Lineament Count Density. Sebaran batuan teralterasi diidentifikasi dengan Citra Komposit RGB Band 4/2, 6/7, dan 5. Hasil interpretasi menunjukkan potensi cebakan emas di Formasi Gunungapi Tapaktuan dengan beberapa batuan andesit. Struktur geologi menunjukkan kelurusan dengan intensitas kerapatan tinggi. Sebaran batuan teralterasi tampak dalam warna kuning hingga oranye. Analisis data menghasilkan zona potensi cebakan emas seluas 64,7 Ha di Blok Barat Laut, 126,3 Ha di Blok Tengah, dan 30,1 Ha di Blok Selatan. Meskipun luasan tersebut menunjukkan potensi cebakan, belum dapat dipastikan endapan emas secara geometri. Hasil pengolahan citra satelit dikonfirmasi melalui observasi lapangan dan pengujian laboratorium menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

Kata Kunci : Penginderaan Jauh; Citra Landsat 8; Emas.

ABSTRACT

Determining the potential for mineral deposit occurrences is a crucial step in exploration activities. This research utilizes Landsat 8 imagery in remote sensing applications to identify potential gold deposit areas. Factors such as rock lithology, geological structures, and alteration distributions are assessed. Topographic maps, geological maps, Landsat 8 imagery, and Digital Elevation Models (DEMs) from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) are employed for analysis. Rock lithology identification is carried out using the Supervised Mapping method. Geological structures are identified through lineament analysis using Lineament Count Density. The distribution of altered rocks is identified using Composite RGB imagery with Bands 4/2, 6/7, and 5. Interpretation results indicate the potential for gold deposits in the Gunungapi Tapaktuan Formation, including several andesite rocks. Geological structures show lineaments with high-density intensities. The distribution of altered rocks appears in shades of yellow to orange. Data analysis yields potential gold deposit zones covering 64.7 Ha in the Northwest Block, 126.3 Ha in the Central Block, and 30.1 Ha in the South Block. While these areas suggest potential deposits, the geometry of gold deposits is yet to be confirmed. Satellite image processing results are corroborated through field observations and laboratory testing using the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

Keywords : Remote Sensing; Landsat 8 Imagery; Gold.

@ 2023 Jurnal Riset Teknik Pertambangan Unisba Press. All rights reserved.

A. Pendahuluan

Sumberdaya mineral di Indonesia masih cukup besar, khususnya komoditas emas dan perak. Berdasarkan informasi mengenai sumberdaya dan cadangan emas-perak di Indonesia yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki 2.600 ton Au atau sekitar 5% dari total cadangan emas dunia yang mencapai 50.300 ton Au, disamping itu potensi sumberdaya emas di Indonesia yaitu sebesar 14.963,73 juta ton dan perak sebesar 7.569,20 juta ton yang tersebar merata di beberapa wilayah, seperti di Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua.

Keberadaan emas di alam dalam bentuk cebakan dijumpai dalam dua tipe, yaitu cebakan emas primer dan emas sekunder. Cebakan emas primer umumnya terbentuk oleh aktifitas hidrotermal, yang membentuk tubuh bijih dengan kandungan utama silika. Cebakan emas primer mempunyai bentuk sebaran berupa urat (*vein*) atau dalam bentuk tersebar pada batuan. Sedangkan cebakan emas sekunder (*placer*) terbentuk karena proses oksidasi dan pengaruh sirkulasi air yang terjadi pada cebakan emas primer pada permukaan yang menyebabkan terurainya penyusun bijih emas primer, sehingga menyebabkan terlepas dan terdispersinya emas [1].

Pada sekitar daerah penelitian dijumpai beberapa aktivitas penambangan emas secara konvensional oleh masyarakat setempat. Pemerintah Aceh melalui Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Aceh juga telah meninjau adanya aktivitas penambangan emas di Kecamatan Kluet Tengah dan Kecamatan Labuhanhaji Timur. Hal tersebut dapat dijadikan dasar melakukan kegiatan untuk memperoleh informasi mengenai keberadaan cebakan emas di Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan Provinsi Aceh.

Untuk mengetahui penyebaran cebakan emas di suatu daerah maka perlu adanya eksplorasi. Mengacu pada SNI 4726 tahun 2019 tahapan eksplorasi dilaksanakan melalui dua tahap, yaitu eksplorasi pendahuluan dan eksplorasi terperinci. Metode eksplorasi dapat dilakukan secara tidak langsung dan secara langsung. Metode secara tidak langsung dapat berupa penginderaan jauh (*remote sensing*), survei geofisika dan geokimia. Sedangkan metode secara langsung dapat berupa sumur uji, parit uji, dan pengeboran.

Penentuan zona atau deliniasi daerah potensi cebakan endapan bahan galian biasanya dilakukan sebagai langkah awal kegiatan eksplorasi. Maka dari itu, pada penelitian ini menerapkan aplikasi penginderaan jauh (*remote sensing*) menggunakan Citra Landsat 8 untuk memperlihatkan daerah yang diindikasikan adanya cebakan emas melalui pendekatan terhadap litologi batuan, struktur geologi, dan zona alterasi.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana karakteristik jenis batuan dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat batuan induk pada lingkungan vulkanik?”, “Bagaimana karakteristik ekspresi topografi dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat struktur geologi?”, “Bagaimana karakteristik rona/warna citra dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat batuan teralterasi?”, “Bagaimana penentuan daerah yang berpotensi keberadaan cebakan emas epitermal berdasarkan aspek litologi, struktur, dan alterasi?”, “Berapa persentase validasi hasil pengolahan data citra satelit dengan data hasil pengamatan di lapangan?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.

(1) Mengidentifikasi karakteristik jenis batuan dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat batuan induk pada lingkungan vulkanik; (2) Mengidentifikasi karakteristik ekspresi topografi dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat struktur geologi; (3) Mengidentifikasi karakteristik rona warna citra dalam penentuan daerah yang diindikasikan terdapat batuan teralterasi; (4) Menentukan daerah yang berpotensi keberadaan cebakan emas epitermal berdasarkan aspek litologi, struktur, dan alterasi; (5) Menentukan persentase validasi pengolahan data citra satelit dengan data hasil pengamatan di lapangan.

B. Metode Penelitian

Peneliti menggunakan data primer berupa data pengamatan lapangan yang terdiri dari pengamatan singkapan, pemetaan struktur berupa kekar, dan batuan teralterasi yang nantinya akan digunakan sebagai validasi data interpretasi citra. Data sekunder berupa peta geologi regional daerah penelitian, Citra Landsat 8, dan Citra Radar DEM SRTM juga digunakan dalam penelitian ini.

Teknik pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya untuk mengidentifikasi adanya litologi batuan dilakukan berdasarkan informasi yang bersumber dari Peta Geologi Lembar Tapaktuan, Sumatra [2] dan dipastikan dengan data geologi lokal berupa pengamatan singkapan di daerah penelitian.

Identifikasi adanya struktur geologi dilakukan dengan melihat karakteristik atau ekspresi topografi di daerah penelitian. Selain itu, dibutuhkan data citra radar berupa citra DEM SRTM yang diolah menggunakan bantuan *software*. Data citra tersebut berguna untuk penentuan interpretasi topografi dan relief yang diamati berdasarkan tekstur sehingga dapat dilakukan interpretasi berdasarkan ekspresi topografi mengenai pola kelurusan (*lineament*). Identifikasi sebaran alterasi dilakukan berdasarkan interpretasi rona/warna yang ditampilkan oleh Citra Landsat 8. Pengolahan data ini terdiri dari penggabungan beberapa saluran (*band ratios*) dengan menggunakan bantuan *software* serta hasil interpretasi citra akan dicocokkan dengan data pengamatan batuan teralterasi di lapangan

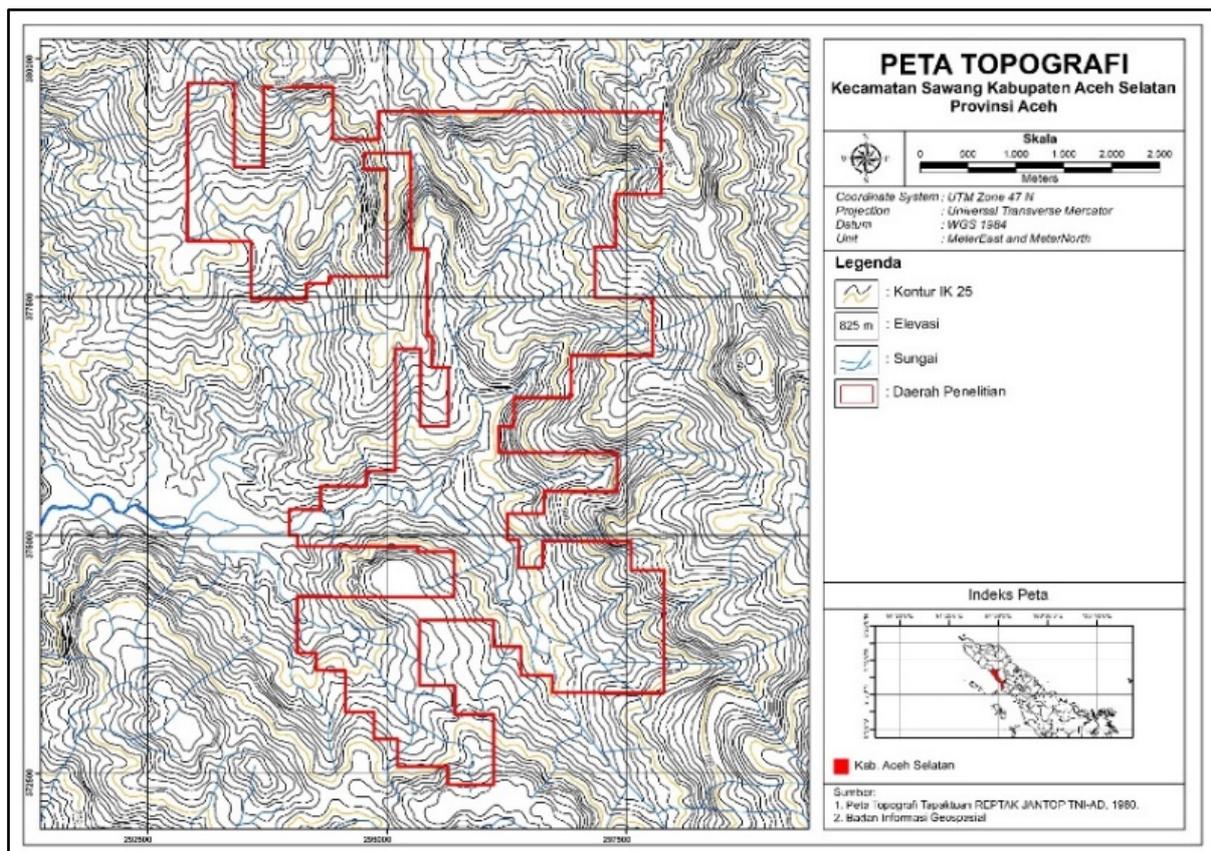
Adapun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan analisis pendugaan berdasarkan tiga aspek yaitu litologi batuan, struktur geologi, dan zona sebaran alterasi sehingga dapat ditentukannya daerah yang berpotensi adanya cebakan emas epitermal.

C. Hasil dan Pembahasan

Tema Litologi Batuan

Data litologi dalam penelitian digunakan untuk mengidentifikasi batuan induk (*host rock*) atau sumber panas dari mineralisasi emas epitermal di suatu daerah. Batuan induk yang dipilih untuk endapan emas epitermal pada umumnya berupa batuan andesit dan riolit.

Interpretasi batuan melalui peta topografi (Gambar 1) memberikan indikasi adanya batuan yang bersifat homogen karena adanya jenis pola aliran sungai dendritik. Selain itu dibuktikan melalui pengamatan singkapan ditemukan batuan andesit yang sifatnya leleran (lava).

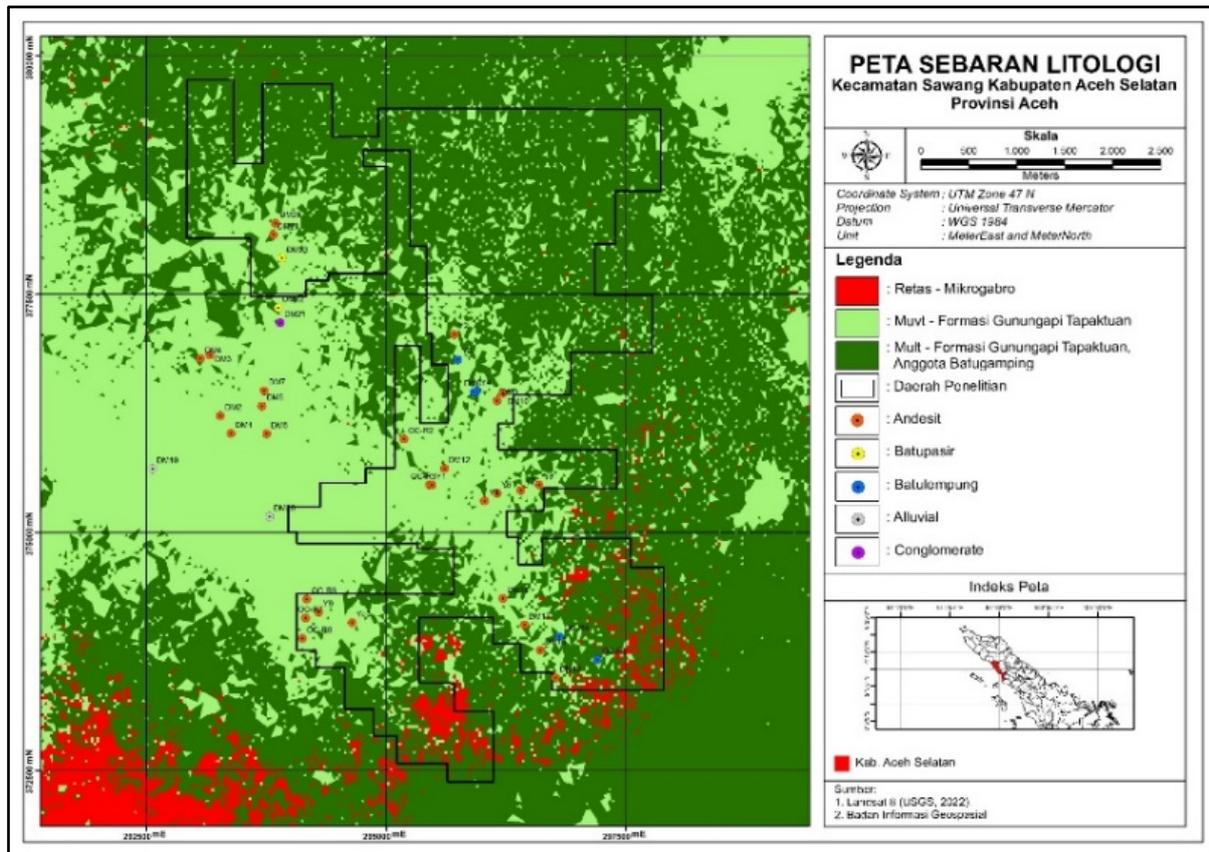


Gambar 1. Peta Topografi

Pendugaan formasi dan jenis batuan berdasarkan Citra Landsat 8 diidentifikasi dengan metode Supervised Mapping. Formasi di permukaan dapat diklasifikasikan berdasarkan spectral warna, yaitu dari hasil

kombinasi *band* 4, 3, dan 2 yang kemudian di-*overlay* dengan peta geologi regional sebagai acuan dasar dalam penentuan formasi di daerah penelitian.

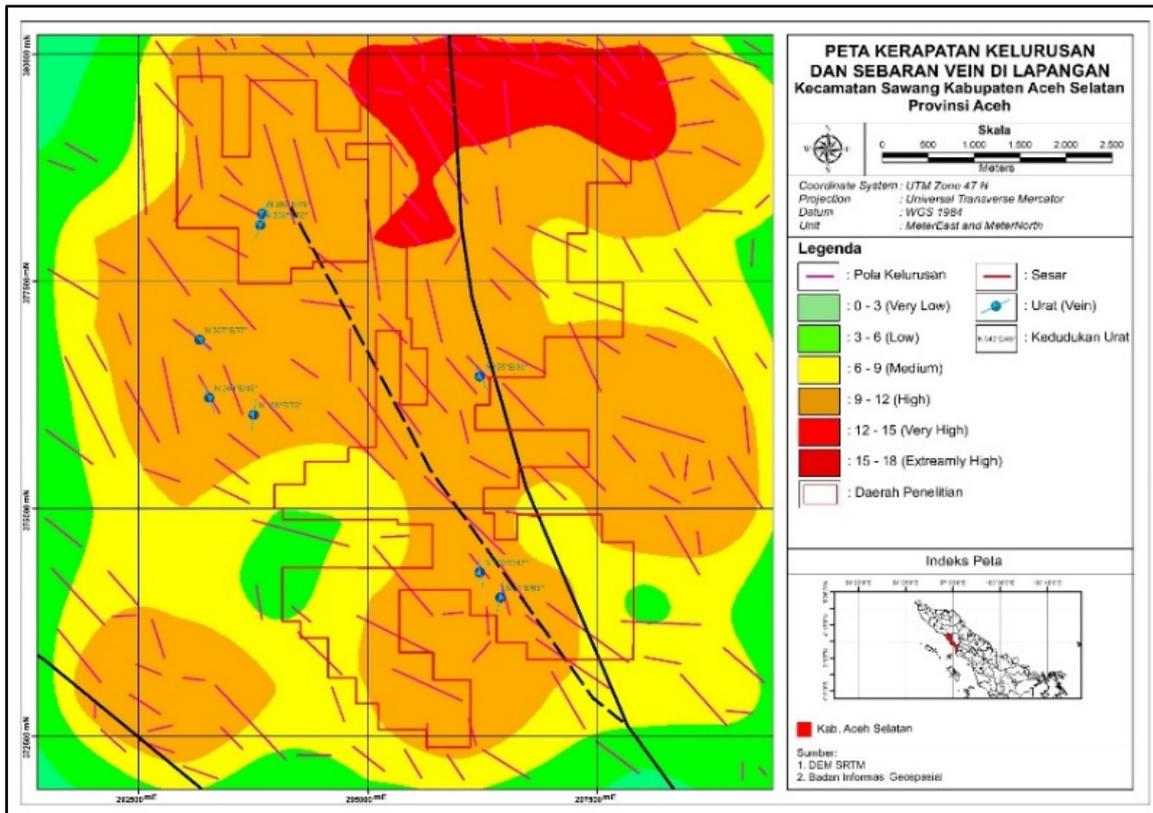
Hasil dari pengolahan data ini dapat dilihat pada peta sebaran formasi berdasarkan rona dan warna (Gambar 2). Terdapat tiga klasifikasi formasi batuan, diantaranya warna hijau muda merupakan Formasi Gunungapi Tapaktuan (Muvt), warna hijau tua merupakan Formasi Gunungapi Tapaktuan Anggota Batugamping (Mult), dan warna merah merupakan Retas (*mikrogabro*). Berdasarkan peta tersebut dapat diketahui bahwa di daerah penelitian didominasi oleh Formasi Gunungapi Tapaktuan (Muvt) yang terdiri dari basal dan andesit epidot, aglomerat, breksi dan tufa. Hal ini selaras dengan interpretasi litologi berdasarkan data topografi dan data geologi lokal.



Gambar 2. Peta Sebaran Litologi

Tema Struktur Geologi

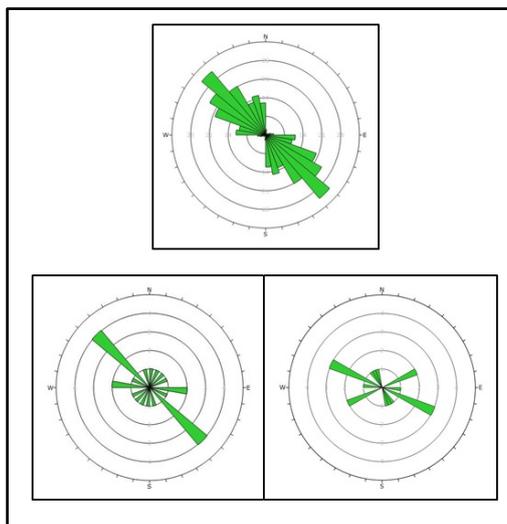
Struktur dapat dikatakan sebagai salah satu media atau tempat berlangsungnya pemineralan. Dengan ditemukannya beberapa struktur maka dapat memberikan informasi mengenai lokasi-lokasi yang mempunyai indikasi mineralisasi alterasi. Dalam hal ini, pola kelurusan dapat menunjukkan adanya punggungan maupun struktur seperti sesar atau lipatan. Sehingga dari adanya struktur tersebut diduga akan membentuk rekahan-rekahan sebagai media mineralisasi emas. Pendugaan hasil interpretasi citra SRTM, nilai densitas kerapatan tertinggi adalah daerah yang memiliki kemungkinan adanya proses mineralisasi. Mineralisasi di daerah penelitian diduga kuat berkaitan dengan keberadaan urat (*vein*) sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal dan memiliki potensi untuk membawa beberapa kandungan logam penting seperti Emas (Au).



Gambar 3. Peta Kerapatan Kelurusan dan Sebaran *Vein* di Lapangan

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pendugaan keberadaan struktur geologi diidentifikasi menggunakan metode *Lineament Count Density* diperoleh kerapatan $2/\text{km}^2 - 14/\text{km}^2$ dan dilakukan penaksiran dengan metode kriging berdasarkan jarak dan korelasi spasial antar titik informasinya, sehingga diketahui bahwa struktur geologi diduga berada pada intensitas kerapatan *high - very high* ($9/\text{km}^2 - 14/\text{km}^2$).

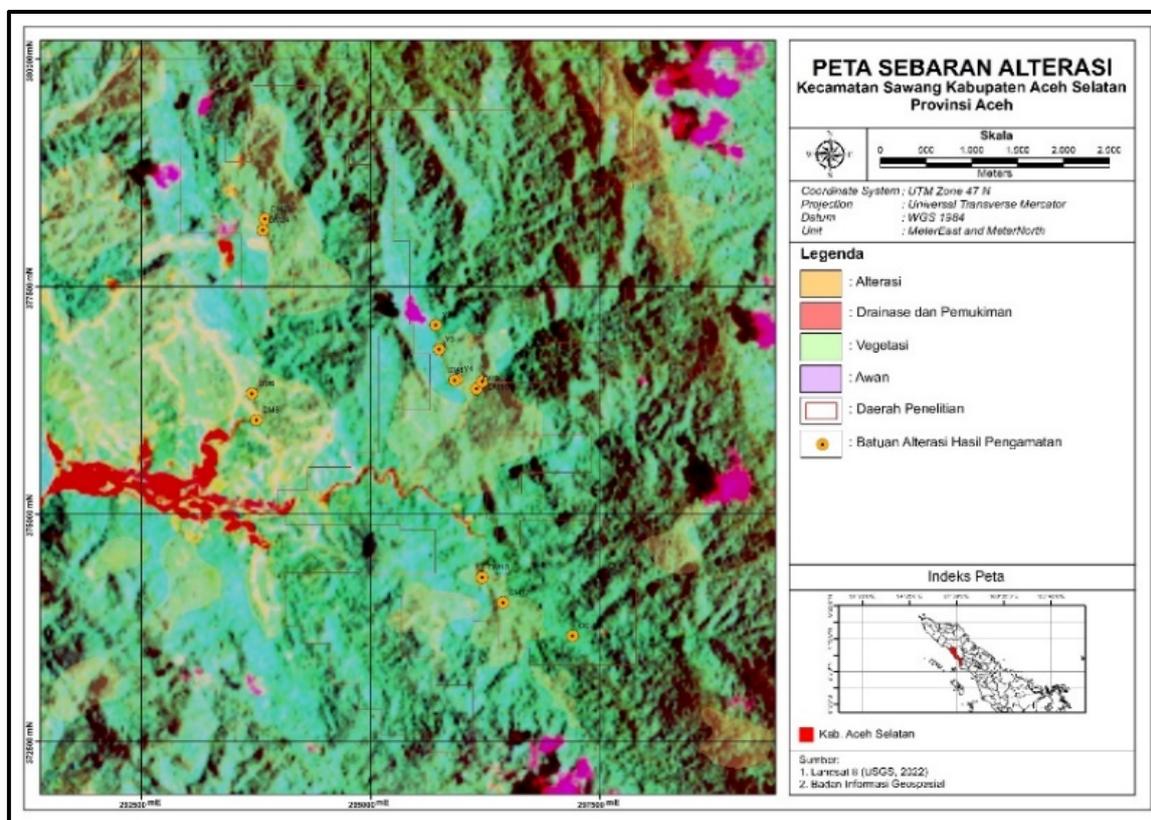
Dari hasil interpretasi pola kelurusan diperoleh arah umum sebesar $N 315^\circ E$ yang terbentuk pada daerah penelitian yaitu dari arah barat laut – tenggara. Hal ini hampir sama dengan data hasil pengukuran kekar di lapangan (Gambar 4) yang mana arah umum kekar DM5 sebesar $N 315^\circ E$ dan kekar KY1 sebesar $N 295^\circ E$ berasal dari barat laut – tenggara.



Gambar 4. Arah Umum Kelurusan dan Kekar

Tema Sebaran Alterasi

Interpretasi dilakukan pada Citra Landsat 8 dengan metode Citra Komposit RGB *Band* 4/2, 6/7, dan 5 [3] yang mana keberadaan mineral alterasi hidrotermal dapat terdeteksi dengan kenampakan warna kuning hingga oranye, *drainase* dan pemukiman dengan kenampakan warna merah, vegetasi dengan kenampakan warna biru kehijauan hingga hijau, serta awan dengan kenampakan warna ungu (Gambar 5). Persebaran alterasi ini tersebar secara tidak merata dari bagian Barat Laut hingga Tenggara di daerah penelitian.

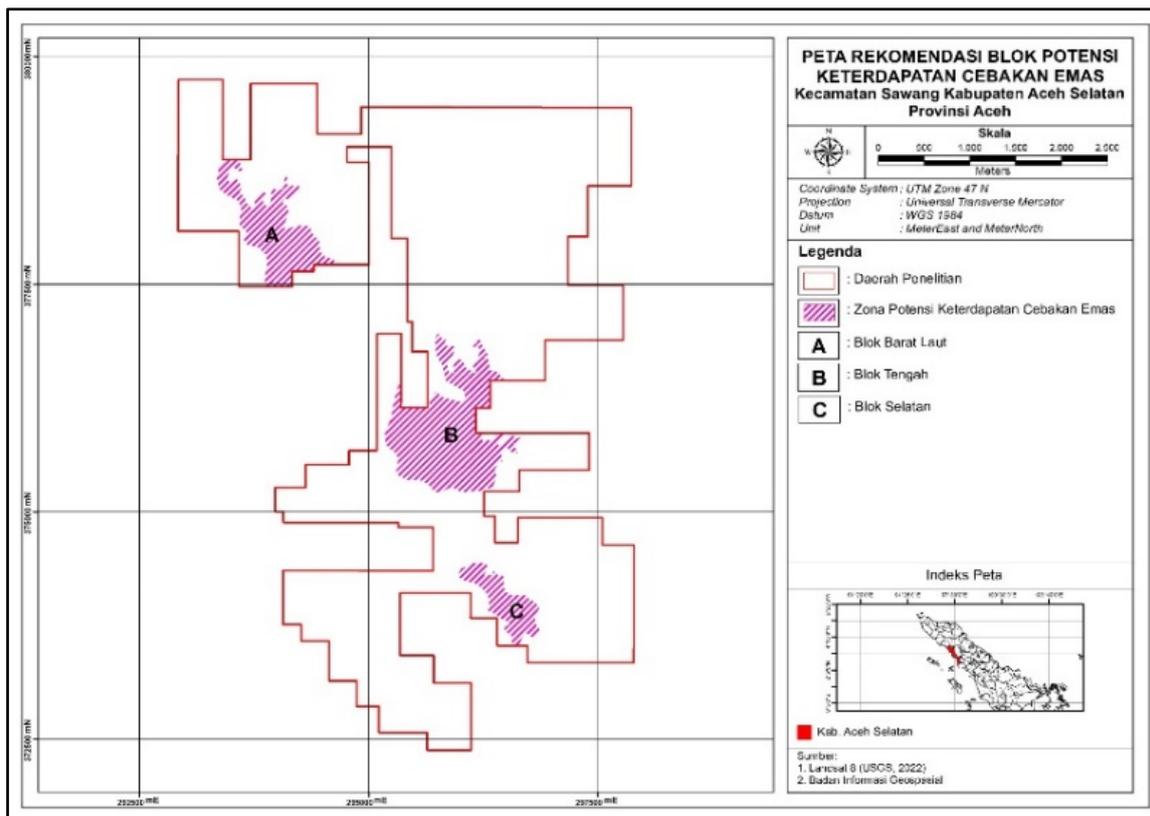


Gambar 5. Peta Sebaran Alterasi

Hasil *overlay* dari data interpretasi citra dan pengamatan di lapangan, terlihat beberapa bagian dari daerah penelitian yang sesuai atau cocok. Dari 13 data pengamatan di lapangan, 11 diantaranya sesuai dengan hasil interpretasi. Perlu diketahui bahwa pendugaan dengan Citra Landsat 8 ini dapat menggambarkan lokasi alterasi secara umum.

Potensi Cebakan Emas

Keterbentukan cebakan emas epitermal dipengaruhi oleh beberapa aspek yaitu litologi batuan, struktur geologi, dan alterasi. Berdasarkan aspek-aspek tersebut dapat diringkas bahwa daerah potensi keterdapatan cebakan emas memiliki beberapa karakteristik diantaranya yaitu Formasi Gunungapi Tapaktuan (*Muvt*) dengan tersebarnya batuan andesit, lalu kelurusan (*lineament*) yang memiliki intensitas kerapatan *high – very high* (9/km² – 14/km²) yang membentang pada arah Barat Laut – Tenggara, serta kenampakan warna kuning hingga oranye dari Citra Landsat 8 yang menunjukkan adanya batuan yang teralterasi di daerah penelitian.



Gambar 6. Peta Rekomendasi Blok Potensi Keterdapatan Cebakan Emas

Dari total luasan daerah penelitian sebesar 1.807 Ha, maka daerah yang bisa direkomendasikan adanya potensi keterdapatan cebakan emas pada daerah penelitian (Gambar 6) yaitu pada Blok Barat Laut dengan luas sebesar 64,7 Ha, lalu pada Blok Tengah dengan luas sebesar 126,3 Ha, dan pada Blok Selatan dengan luas sebesar 30,1 Ha.

Luasan tersebut tidak menunjukkan potensi endapan bahan galian emas secara geometri, melainkan masih berupa potensi cebakan. Hal ini dikarenakan aspek yang diamati hanyalah berupa litologi batuan, struktur geologi, dan sebaran alterasi. Maka hasil akhir dari penelitian ini berupa rekomendasi daerah berdasarkan hasil dari deliniasi zona yang termasuk ke dalam tiga aspek tersebut dan diharapkan berpotensi terdapat zona mineralisasi.

Validasi Daerah Blok Potensi Cebakan Emas Epitermal

Dari peta rekomendasi blok potensi keterdapatan cebakan emas (Gambar 6) akan divalidasi dan diuji keakuratannya menggunakan data pemetaan singkapan di lapangan dan data hasil pengujian laboratorium *Atomic Absorbtion Spechtrphotometer* (AAS) yang diperoleh dari laporan eksplorasi sebelumnya, sehingga menghasilkan peta tervalidasi.

Hasil dari pengamatan lapangan secara megaskopis menunjukkan bahwa daerah penelitian mengalami alterasi *propilitik*, yaitu alterasi yang secara kompleks dicirikan adanya keberadaan *klorit*, *epidot*, *albit*, dan *karbonat*. Beberapa sampel batuan yang teralterasi dapat ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Batuan Teralterasi di Lapangan

No.	Kode Sampel	Litologi	Alterasi
1	Y2	<i>Andesitic Lava</i>	<i>Propilitik</i>
2	DM5	<i>Andesitic Lava</i>	<i>Propilitik</i>
3	DM6	<i>Andesitic Lava</i>	<i>Propilitik</i>
4	DM9	<i>Andesitic Lava</i>	<i>Propilitik</i>
5	DM10	<i>Andesitic Lava</i>	<i>Propilitik</i>

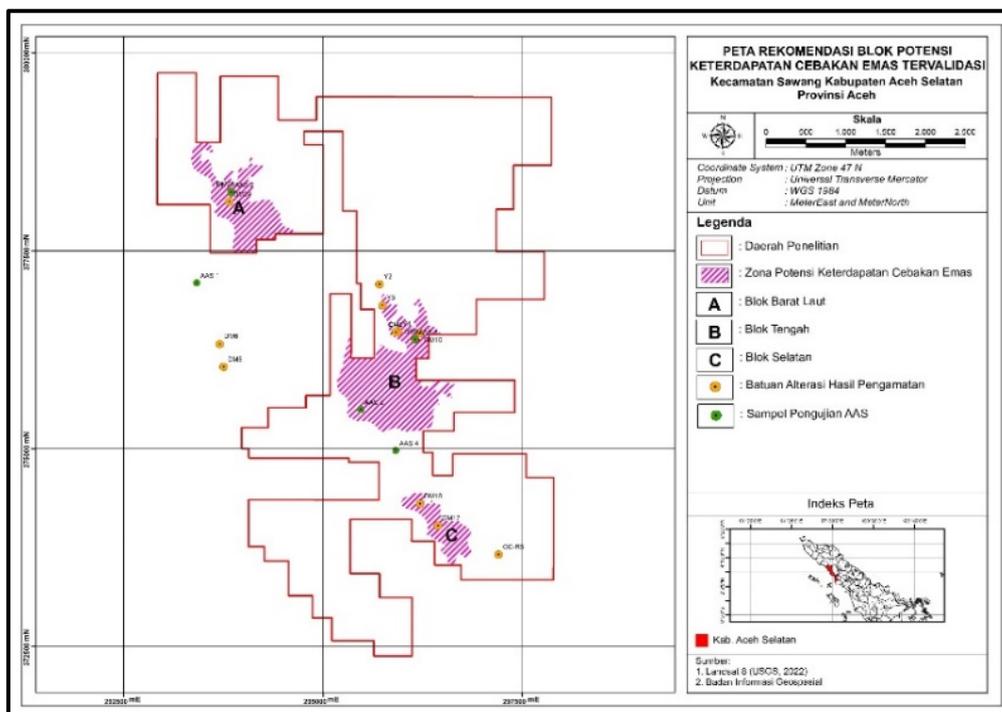
No.	Kode Sampel	Litologi	Alterasi
6	DM17	Andesitic Lava	Propilitik
7	DM18	Andesitic Lava	Propilitik
8	DM24	Andesitic Lava	Propilitik
9	DM25	Andesitic Lava	Propilitik
10	OC-R5	Batulempung	Propilitik
11	Y3	Batulempung	Propilitik
12	Y4	Batulempung	Propilitik
13	DM8	Batulempung	Propilitik

Pada Tabel 2 berikut ini merupakan beberapa sampel hasil pengujian laboratorium *Atomic Absorbtion Spechtrophotometer* (AAS).

Tabel 2. Sampel Hasil Pengujian AAS

No.	Kode Sampel	Berat Basah (gram)	Au (ppm)	Ag (ppm)
1	AAS 1	0,339	0,7	<0,5
2	AAS 2	0,489	3,41	<0,5
3	AAS 3	0,352	<0,01	<0,5
4	AAS 4	0,310	1,04	<0,5
5	AAS 5	0,465	<0,01	<0,5

Diketahui dari Gambar 5.7 di bawah ini merupakan peta rekomendasi blok potensi keterdapatan cebakan emas tervalidasi dengan 11 titik batuan teralterasi hasil pengamatan di lapangan dan 5 titik hasil pengujian laboratorium AAS yang ada di dalam daerah penelitian. Terdapat 2 titik batuan teralterasi yang tidak sesuai dengan peta hasil pengolahan dan terdapat 1 titik hasil pengujian laboratorium AAS yang juga tidak sesuai dengan peta hasil pengolahan. Berdasarkan analisis diketahui bahwa hal tersebut dapat terjadi karena disebabkan oleh faktor tutupan awan (*cloud cover*) yang terdapat pada Citra Landsat 8. Selain itu, faktor tebal atau lebatnya vegetasi di daerah penelitian juga bisa mempengaruhi pembacaan citra terhadap permukaan.



Gambar 7. Peta Rekomendasi Blok Potensi Keterdapatan Cebakan Emas Tervalidasi

Hasil persentase validasi dari peta rekomendasi blok potensi keterdapatan cebakan emas dapat ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Persentase Validasi Peta

No.	Blok	Persentase	
		Titik Batuan Teralterasi	Hasil Pengujian AAS
1	Barat Laut (A)	$2/2 * 100 \% = 100 \%$	$1/1 * 100 \% = 100 \%$
2	Tengah (B)	$5/6 * 100 \% = 83,33 \%$	$2/3 * 100 \% = 66,66 \%$
3	Selatan (C)	$2/3 * 100 \% = 66,66 \%$	-

Dari hasil validasi data tersebut dapat diketahui bahwa setiap blok yang ada pada daerah penelitian memiliki tingkat keakuratan yang cukup tinggi dengan data lapangan dan data hasil uji laboratorium AAS. Dimana pada Blok Barat Laut menghasilkan persentase 100% berdasarkan data lapangan dan hasil pengujian AAS. Selanjutnya, pada Blok Tengah yang menghasilkan persentase 83,33% berdasarkan data lapangan dikarenakan ada 1 titik batuan teralterasi dari 6 titik lainnya yang tidak masuk ke dalam blok tersebut, selain itu berdasarkan hasil pengujian AAS pada Blok Tengah menghasilkan persentase 66,66% dikarenakan ada 1 titik sampel dari 3 titik lainnya yang tidak masuk ke dalam blok tersebut. Pada Blok Selatan menghasilkan persentase 66,66% berdasarkan data lapangan dan tidak adanya sampel yang diambil untuk pengujian AAS pada blok tersebut. Sehingga kegiatan eksplorasi lanjutan berupa eksplorasi detail yang akan dilakukan hanya berfokus pada daerah rekomendasi blok potensi keterdapatan cebakan emas saja.

D. Kesimpulan

Interpretasi Citra Landsat 8 menunjukkan warna hijau muda merupakan Formasi Gunungapi Tapaktuan (*Muvt*) dengan tersebarnya batuan andesit. Pendugaan tersebut dibuktikan dengan data hasil pengamatan di lapangan yang umumnya tersebar batuan andesit. Interpretasi Citra SRTM dan data pengamatan kekar di lapangan, identifikasi struktur geologi dicirikan oleh kelurusan (*lineament*) dengan intensitas kerapatan *high – very high* (9/km² – 14/km²) yang membentang pada arah Barat Laut – Tenggara. Interpretasi Citra Landsat 8 menunjukkan mineral alterasi hidrotermal dikenali dengan kenampakan warna kuning hingga oranye. Pendugaan tersebut dibuktikan dengan hasil pengamatan lapangan terdapat batuan teralterasi jenis alterasi *propilitik*. Zona potensi keterdapatan cebakan emas diperoleh dengan cara *overlay* interpretasi data berdasarkan aspek litologi batuan, struktur geologi, dan alterasi. Sehingga luas potensi yang diperoleh yaitu pada Blok Barat Laut sebesar 64,7 Ha, Blok Tengah sebesar 126,3 Ha, dan Blok Selatan sebesar 30,1 Ha. Validasi pengolahan data citra satelit dengan data hasil pengamatan di lapangan memperoleh akurasi data berdasarkan titik batuan alterasi yaitu sebesar 100 % pada Blok Barat Laut, lalu 83,33 % pada Blok Tengah, dan 66,66 % pada Blok Selatan. Selain itu, akurasi data diperoleh berdasarkan hasil pengujian laboratorium AAS sebesar 100 % pada Blok Barat Laut dan 66,66 % pada Blok Tengah. Hal tersebut membuktikan bahwa aplikasi penginderaan jauh (*remote sensing*) dapat dijadikan dasar untuk kegiatan eksplorasi lanjutan berupa eksplorasi detail.

Daftar Pustaka

[1] S. J. Suprpto, *Tinjauan Tentang Cebakan Emas Aluvial di Indonesia dan Potensi Pengembangan*. Jakarta: Pusat Sumber Daya Geologi, 2007.

[2] N. R. Cameron *et al.*, “Peta Geologi Lembar Tapak Tuan, Sumatra Skala 1:250.000.” Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1982.

[3] A. S. O. Ali and A. B. Pour, “Lithological Mapping and Hydrothermal Alteration using Landsat 8 Data: A Case Study Ariab Mining District, Red Sea Hills, Sudan,” *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 2014.

[4] M. I. Lagowa, F. Farid, and D. T. Damayanti, “Kajian Teknis Crushing Plant LSC VI PT. Semen Padang,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 7–14, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrtp.v3i1.1654.

- [5] Muhammad Ikram and Yuliadi, “Kajian Geoteknik untuk Penentuan Geometri Lereng Front Penambangan di PT. XYZ,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 107–116, Dec. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i2.1246.
- [6] R. R. Dynand, Linda Pulungan, and Rully Nurhasan, “Evaluasi Produksi Crushing Plant Batu Andesit di PT. XYZ Pamoyanan Purwakarta,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 141–146, Dec. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i2.1412.
- [7] Novriadi, “Penerapan Metode Fuzzy Logic Dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal Di Pulau Flores, Nusa Tenggara Timur Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG),” Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2005.
- [8] S. Zuhannisa’, B. E. Cahyono, and N. Priyantari, “Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas di Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara,” *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, vol. 9, no. 01, p. 1, Oct. 2019, doi: 10.13057/ijap.v9i01.25478.
- [9] Z. Zhumabek, B. Assylkhan, F. Alexandr, T. Dinara, and K. Altytay, “Automated lineament analysis to assess the geodynamic activity areas,” *Procedia Comput Sci*, vol. 121, pp. 699–706, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.11.091.
- [10] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*. Hokoben: John Wiley and Sons Inc., 1994.
- [11] G.-B. Kim, J.-Y. Lee, and K.-K. Lee, “Construction of lineament maps related to groundwater occurrence with ArcView and Avenue™ scripts,” *Comput Geosci*, vol. 30, no. 9–10, pp. 1117–1126, Nov. 2004, doi: 10.1016/j.cageo.2004.09.002.
- [12] A. M. Evans, *Ore Geology and Industrial Minerals*. Malden, USA: Blackwell Publishing, 1993.