

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMETAAN ZONASI POTENSI KEBERADAAN EMAS EPITERMAL MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* DI SEBAGIAN KABUPATEN TAPANULI SELATAN, SUMATERA UTARA

Rukiyya Sri Rayati Harahap

rukiyya.sri.r@mail.ugm.ac.id

Projo Danoedoro

projo.danoedoro@ugm.ac.id

ABSTRAK

Keberadaan emas epitermal berasosiasi dengan tubuh intrusi, patahan, dan zona alterasi. Penginderaan jauh tidak dapat mendeteksi keberadaan emas epitermal secara langsung akan tetapi dapat mendeteksi asosiasi yang menjadi indikator adanya emas epitermal tersebut, seperti bentuklahan, batuan (litologi), struktur geologi dan zona alterasi. Citra Landsat 8 OLI dan SRTM 30 meter digunakan sebagai data penginderaan jauh. Parameter-parameter yang dijadikan sebagai indikator keberadaan emas epitermal dapat diketahui dari data penginderaan jauh melalui interpretasi visual. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kemampuan interpretasi visual melalui analisis pendekatan litologi, bentuklahan, dan stuktur geologi untuk mengetahui zonasi alterasi hidrotermal dan untuk mengetahui kemampuan metode *fuzzy logic* dalam menentukan zonasi potensi emas epitermal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode interpretasi visual dan *fuzzy logic*. Analisis laboratorium yang berupa analisis petrografi bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral dalam menentukan zona alterasi hidrotermal. Hasil analisis menunjukkan tingkat akurasi untuk parameter bentuklahan adalah sebesar 88%, sedangkan tingkat litologi sebesar 92,7%. Hasil analisis *fuzzy logic* disimpulkan bahwa keberadaan emas ada di area yang memiliki potensi keberadaan emas yang tinggi tersebar di bagian utara Kecamatan Batang Toru yaitu di Kecamatan Batang Angkola dan Kecamatan Siais dan di Kecamatan Batang Toru. Potensi Keberadaan emas epitermal yang tinggi ini juga didukung dengan adanya aktivitas pertambangan emas. Aktivitas pertambangan emas ini mengindikasikan potensi keberadaan emas yang tinggi. Dengan analisis melihat asosisasi berbagai parameter fisik (litologi, bentuklahan, struktur geologi, dan alterasi hidrotermal), metode *fuzzy logic* mampu memberikan informasi potensi keberadaan emas epitermal. Sehingga tingkat validasi dari model zonasi alterasi hidrotermal yaitu sebesar 80%.

Kata Kunci: Emas Epitermal, *Fuzzy Logic*, Alterasi Hidrotermal, Interpretasi visual, Petrografi

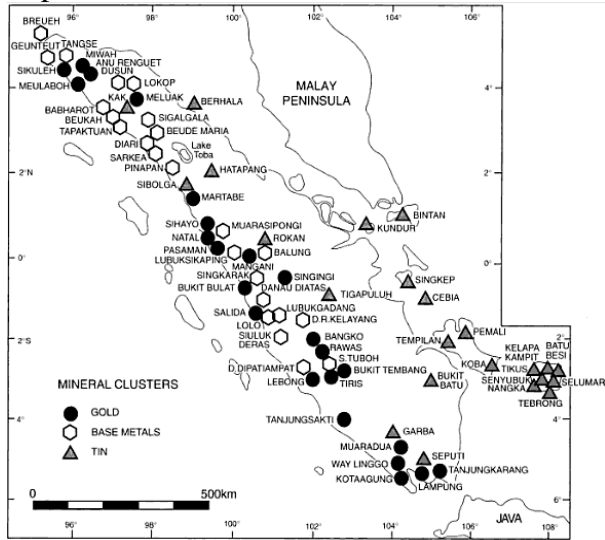
ABSTRACT

The existence of epithermal gold associated with body intrusion, faulting and alteration zones. Remote sensing cannot detect the presence of epithermal gold directly but can detect the association which is the indicator of epithermal gold, such as landforms, lithology, geological structure and alteration zones. Landsat 8 OLI and SRTM 30 meters are used as remote sensing data. The parameters that serve as indicators of the presence of epithermal gold can be seen from the data remote sensing through visual interpretation. This study aims to determine the ability of visual interpretation through analysis approach with lithology, landform and geological structure to determine zonation of hydrothermal alteration and to determine the ability of fuzzy logic in determining zoning epithermal gold potential. The method used in this research is the method of fuzzy logic. Laboratory analysis with petrographic analysis aims to determine the mineral content in determining hydrothermal alteration zones. The analysis showed accuracy for landform parameter is 88%, while the rate of 92.7% lithology. The results of fuzzy logic analysis concluded that the presence of gold in the area which has the potential presence of high gold scattered in the northern part of the Batang Toru District, in the southern part of which is in Batang Angkola District and Siais District and the middle District of Batang Toru. The presence of epithermal gold potential of this high is also supported by the gold mining activities. The gold mining activities indicate the potential presence of high gold. By analysis see asosiation some physical parameters (as lithology, landform, geological structure and hydrothermal alteration), fuzzy logic method is able to provide information on potential presence of epithermal gold. So that the level of validation of the model of hydrothermal alteration zoning that is equal to 80%.

Keyword: Epithermal gold, Fuzzy Logic, Hydrothermal Alteration, Visual Interpretation, Petrography

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh *ring of fire*, ditandai dengan adanya jejeran gunung api. Indonesia dilalui oleh 15 busur magmatik, 7 diantaranya membawa cebakan emas, dan 8 lainnya belum diketahui (Carlile & Mitchell, 1994). Busur magmatik terpanjang di Indonesia adalah busur magmatik Sunda-Banda yang terbentang dari Sumatera bagian utara sampai bagian timur Damar (Carlile & Mitchell, 1994). Pulau Sumatera merupakan salah satu pusat tambang emas tertua di nusantara (Crow & Leeuwen, 2005). Jalur emas sumatera berhimpitan dengan garis patahan karena adanya peristiwa geologi sehingga sepanjang bukit barisan di Pulau Sumatera memiliki potensi emas yang melimpah. Sebagian besar emas epitermal terakumulasi pada daerah busur magmatik. Salah satu daerah yang terdapat pada jajaran busur magmatik adalah Kabupaten Tapanuli Selatan.



Gambar 1.1 Potensi mineral di Pulau Sumatera (Crow & Leeuwen, 2005: 148)

Secara ekonomis emas juga merupakan bahan galian tambang yang banyak diminati oleh masyarakat. Keberadaan emas saat ini mayoritas dimanfaatkan sebagai perhiasan, bahan kosmetik, campuran mata uang dan media investasi. Keberadaan emas sangat berharga, akan tetapi ketersediaan relatif sedikit. Oleh karena itu, penambangan emas terus berkembang teknologinya untuk mengefektifkan dan mengefisienkan eksplorasi emas.

Jenis endapan emas yang banyak ditemukan di Indonesia sebagian besar pada endapan epitermal. Kurang lebih 13% jenis endapan tersebut dihasilkan di seluruh dunia. Endapan epitermal merupakan endapan mineral permukaan yang berada di lapisan paling atas (dekat dengan permukaan), mempunyai temperatur dan tekanan yang relatif rendah. Dua tipe utama dari endapan ini adalah *low sulphidation* dan *high sulphidation* yang dibedakan berdasarkan pada sifat kimia fluidanya, alterasi dan mineraloginya (Hedenquist, 1990). Proses transportasi larutan hidrotermal dari dapur magma yang kaya akan ligan HS^- dan OH^- menerobos melalui lapisan *porphyry*, *high sulphidation* sampai *low sulphidation* dan ligan-ligan ini mengangkut emas hingga ke tempat pengendapannya. Proses tersebut merupakan hal yang terpenting dimana emas dibawa oleh mineral-mineral dalam zona alterasi. Endapan tersebut berupa epitermal sulfida rendah dalam bentuk mineral-mineral dan urat kuarsa yang umumnya terdapat dalam batuan gunung api (*volcano-magmatic arc*) yang berumur Pratersier sampai Tersier, sedangkan endapan epitermal sulfida tinggi dalam bentuk mineral-mineral akan tetapi pada urat dengan lapisan-lapisan yang kasar. Keberadaan emas epitermal dekat permukaan berasosiasi dengan adanya batuan, struktur geologi baik sesar maupun patahan yang menunjukkan adanya potensi emas endapan epitermal dan mineral pembawa (Widodo, 2004). Hal ini dikarenakan proses transportasi larutan hidrotermal dari dapur magma menerobos pada rekahan-rekahan batuan maupun pada singkapan batuan.

Kabupaten Tapanuli Selatan secara geologi merupakan daerah vulkanik tua dan disertai dengan adanya sesar mengindikasikan kemungkinan adanya batuan teralterasi hidrotermal. Adanya batuan teralterasi hidrotermal dapat menjadi salah satu indikator potensi keberadaan berbagai macam mineral salah satunya emas. Berbicara tentang adanya potensi keberadaan emas tidak jauh dari adanya proses eksplorasi. Kegiatan eksplorasi tambang khususnya tambang emas di Indonesia masih

belum seberkembang di negara maju lainnya. Eksplorasi yang dilakukan pada umumnya dengan metode geologi, parit uji, geokimia tanah/endapan sungai yang dimaksud untuk mengetahui kontinuitas dan hubungan antara singkapan satu dengan lainnya akan keberadaan urat kuarsa (Wiguna, 2012). Salah satu kendala yang muncul yaitu survei terestris memerlukan biaya, tenaga dan waktu yang relatif tinggi. Melihat kendala tersebut, saat ini terus dikembangkan teknologi untuk memudahkan kegiatan eksplorasi termasuk teknologi penginderaan jauh. Penginderaan jauh dapat membantu untuk mengetahui potensi keberadaan emas dengan menggunakan pendekatan alterasi hidrotermal, struktur geologi, batuan (litologi) dan bentuklahan. Akan tetapi dalam kajian geologi, jika penginderaan jauh menggunakan pendekatan spektral maka akan memiliki kelemahan. Kelemahan pada kajian geologi ini terletak pada penutup lahan seperti vegetasi kerapatan tinggi. Oleh karena itu, interpretasi visual dalam analisis data penginderaan jauh merupakan salah satu cara yang dapat diterapkan untuk meminimisasi hambatan dari penutup lahannya.

Peneliti mencoba memetakan zonasi potensi keberadaan emas epitermal melalui metode *fuzzy logic* dimana zonasi alterasi, struktur geologi, batuan (litologi) dan bentuklahan digunakan sebagai input datanya. Zonasi alterasi hidrotermal dapat diketahui melalui interpretasi visual menggunakan analisis pendekatan fisik seperti interpretasi bentuklahan, batuan (litologi), dan struktur geologi. Interpretasi visual parameter fisik tersebut dari citra Landsat 8 OLI yang di semi-transparankan dengan SRTM 30m bertujuan untuk menonjolkan kesan topografinya. Tipe alterasi hidrotermal, struktur geologi, bentuklahan dan litologi dijadikan sebagai asosiasi dasar dalam penentuan zonasi emas epitermal melalui metode *fuzzy logic*.

Identifikasi keberadaan emas pada setiap tipe alterasi ditemukan faktor-faktor ketidakpastian. Oleh karena itu, perlu adanya suatu metode yang dapat digunakan untuk menentukan keberadaan emas tersebut. Maka peneliti mencoba menggunakan metode *fuzzy*

logic untuk menjelaskan faktor-faktor ketidakpastian dalam proses mengidentifikasi objek secara tidak langsung dalam citra penginderaan jauh.

Fuzzy logic adalah suatu metode dimana setiap elemen memiliki nilai derajat keanggotaan pada interval 0-1 akan tetapi nilai ini bukan berupa nilai biner (Zadeh, 1965). Metode *fuzzy logic* merupakan pengembangan dari logika Boolean/Klasik, dimana logika Boolean menyatakan bahwa segala hal dalam istilah binari (seperti 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak). *Fuzzy logic* menyatakan segala hal diekspresikan dalam istilah derajat keanggotaan dengan nilai interval antara 0 hingga 1, “tingkat keabuan”, “hitam” dan “putih”, “sedikit”, “lumayan” dan “sangat”. Kelebihan dari metode *fuzzy logic* ini yaitu dapat menjelaskan faktor-faktor ketidakpastian dalam menentukan suatu objek dari penginderaan jauh. Metode *fuzzy logic* ini biasanya digunakan dalam klasifikasi suatu objek yang bersifat heterogen dimana tidak ada batas yang tegas pada setiap objeknya.

Penerapan *fuzzy logic* pada penelitian ini menggunakan data peta tipe alterasi, struktur geologi, dan batuan (litologi). Mineralisasi emas dipengaruhi oleh larutan hidrotermal yang mengalir melewati permeabilitas (sekunder maupun primer) batuan, sehingga terjadi proses alterasi yang merubah komposisi kimiawi, mineralogi dan tekstur batuan asal yang dilaluinya (Idrus & Pramutadi, 2008). Oleh karenanya, peneliti mencoba menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menentukan keberadaan emas epitermal melalui informasi tipe alterasi, batuan (litologi) dan bentuklahan.

Metode

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini berupa metode pra lapangan, lapangan dan pasca lapangan. Pralapangan berupa pengolahan citra seperti:

Pra Lapangan

- a. Koreksi geometrik

Koreksi ini bertujuan untuk memperbaiki lokasi absolut citra. Sehingga ketika citra ditampilkan dengan peta RBI merujuk pada lokasi yang sama dan objek yang sama.

- b. Interpretasi visual untuk parameter fisik seperti interpretasi bentuklahan, litologi (batuan), struktur geologi.

Interpretasi bentuklahan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa pendekatan seperti pendekatan relief, pola aliran, dan tutupan vegetasi. Interpretasi struktur geologi dan batuan juga dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan kenampakan relief, pola aliran, dan tutupan vegetasi.

- c. Penentuan lokasi sampel

Metode sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode sampel. *stratified sampling* dimana setiap satu unit pemetaan diambil sampel dengan asumsi tiap unit pemetaan hasil interpretasi visual. Alasan penggunaan teknik *stratified sampling* ini yaitu dikarenakan unit analisis yang bersifat heterogen. Berdasarkan hasil interpretasi citra diperoleh peta tentatif bentuklahan, peta tentatif jenis batuan (litologi), peta struktur geologi, dan dilakukan pengecekan lapangan untuk mengetahui keakuratan hasil interpretasi, selain itu pengambilan sampel dilakukan untuk menambahkan informasi yang tidak dapat disadap melalui interpretasi citra penginderaan jauh secara visual. Jumlah sampel yang diambil tergantung pada luasan dari *mapping unit*.

Survei Lapangan

Tahapan survey lapangan bertujuan untuk mengambil sampel di lapangan yang akan digunakan untuk uji hasil interpretasi parameter bentuklahan, struktur geologi dan litologi serta menambah informasi yang tidak terekam pada citra penginderaan jauh. Tahapan dalam survey lapangan ini meliputi:

- 1) Pengumpulan sampel di lapangan

Tahapan ini merupakan tahapan yang paling dominan untuk reinterpretasi pada peta bentuklahan, peta geologi dan struktur geologi.

- 2) Uji hasil interpretasi bentuklahan, litologi, dan struktur geologi.

Pengujian hasil interpretasi bentuklahan dilakukan dengan morfologi dari bentuklahan seperti kemiringan lereng, pola aliran, tutupan vegetasi, dan batuan (litologi). Sehingga diasumsikan bahwa kemiringan lereng, pola

aliran, tutupan vegetasi dan batuan (litologi) berbeda-beda pada setiap satuan bentuklahan. Pengujian hasil interpretasi batuan (litologi) dan struktur geologi dilakukan untuk melihat batuan dan formasi batuan yang terkait dengan mineral teralterasi *hydrothermal* serta pengukuran *dip* dan *strike* pada perlapisan batuan.

3.3 Pasca Lapangan

Pada tahapan ini, analisis data hasil survey lapangan dilakukan dengan tahapan berikut yaitu:

- 1) Analisis petrografi batuan.

Analisis petrografi batuan dilakukan untuk melihat kandungan mineral, ukuran mineral dan persentasi mineral penyusun suatu batuan. Analisis ini menggunakan mikroskopis polarisasi dengan dua metode yaitu ranpa nikol (// nikol) atau dengan nikol (X nikol)

- 2) Uji ketelitian hasil interpretasi

Uji ketelitian interpretasi visual parameter fisik seperti bentuklahan dan litologi (batuan), diuji dengan menggunakan persentasi tingkat akurasi omisi (*producer accuracy*) dan komisi (*user accuracy*). Peta bentuklahan di uji dengan menggunakan peta landsystem, peta litologi diuji dengan menggunakan peta geologi. Uji akurasi ini menggunakan table *confusion matrix*.

- 3) Pemetaan zona alterasi

Pemetaan zonasi alterasi hidrotermal dilakukan dengan menggunakan analisis parameter bentuklahan, parameter batuan (litologi) serta analisis petrografi batuan di laboratorium.

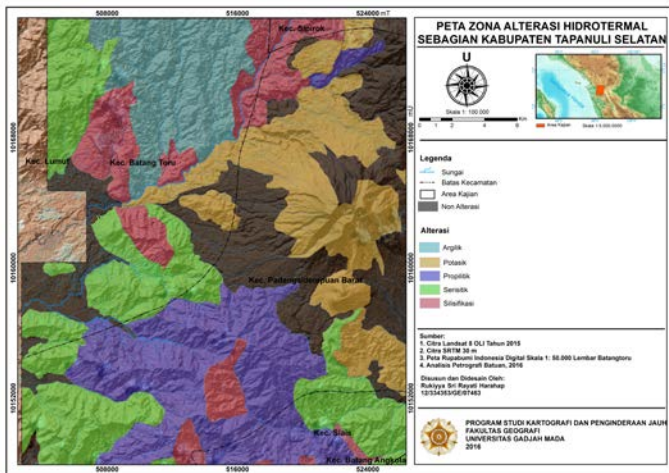
- 4) *Fuzzy Logic*

Metode ini merupakan suatu metode yang diterapkan pada penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui potensi keberadaan emas epitermal yang di visualisasikan dengan nilai fuzzy antara 0-1. Semakin mendekati 1 maka potensi keberadaan emas semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Semakin mendekati angka 0 potensi keberadaan emas nya semakin tidak ada.

Pembahasan

Pemetaan zonasi alterasi hidrotermal dapat dilakukan dengan menggunakan analisis parameter bentuklahan, litologi (batuan), dan analisis hasil laboratorium. Analisis petrografi batuan yang sudah dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral dalam batuan ini digunakan

sebagai informasi tambahan dalam penentuan zonasi alterasi. Pada prinsipnya analisis petrografi ini dilakukan untuk melihat hubungan mineral dari batuan dengan aspek fisik medan seperti bentuklahan, litologi (batuan) dan struktur geologi dari interpretasi visual. Peta zona alterasi hidrotermal dihasilkan seperti **gambar 3.1**. Bentuklahan dan litologi untuk pemetaan zona alterasi ini sudah di uji akurasi menggunakan metode *confusion matrix* dimana tingkat ketelitian dari litologi yaitu 92,7% sedangkan pada bentuklahan 88%. Peta litologi diuji akurasi menggunakan peta geologi. Akan tetapi dalam melakukan uji akurasi ini peta geologi digunakan sebagai acuan analisis dalam interpretasi visual, hal inilah yang menyebabkan uji akurasi ini menghasilkan persentasi akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuklahan. Sementara peta bentuklahan diuji akurasi menggunakan peta landsystem yang ada di area kajian.



Gambar 3.1 Peta Zona Alterasi Hidrotermal

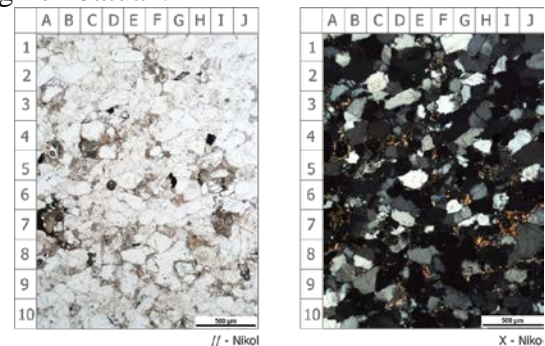
Ada beberapa daerah di area kajian yang tidak mengalami alterasi sama sekali. Hal ini ditandai dengan tidak adanya mineral ubahan pada daerah tersebut.

Luas dari zonasi alterasi di daerah kajian dapat ditunjukkan pada tabel berikut

No	Zonasi Alterasi	Luas (ha)
1	Argilik	65221
2	Potasik	10631

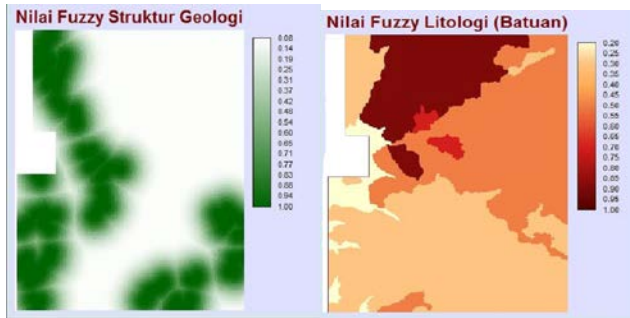
3	Propilitik	13103
4	Serisitik	14740
5	Silikifikasi	8015
6	Non Alterasi	128547

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada area kajian zona alterasi terluas adalah zonasi serisitik. Oleh karenanya zonasi serisitik ini merupakan zonasi alterasi yang didominasi mineral kuarsa, serisit, dan muskovit. Zona alterasi yang terdapat pada area kajian dapat diketahui dari analisis petrografi batuan. Misalnya untuk zona alterasi serisitik terdapat pada batuan bentuklahan struktural dan vulkan tua yang berbatuan beku vulkan basa, intermediet dan batuan piroklastik. Contohnya terdapat pada kode sampel batuan PJ 04/SN yang berupa batu pasir kuarsa arenit mineral penyusun primernya adalah mineral butiran kuarsa (75%) dan mineral sekundernya berupa mineral lempung, mineral opak, mika, rongga, dan fragmen batuan.



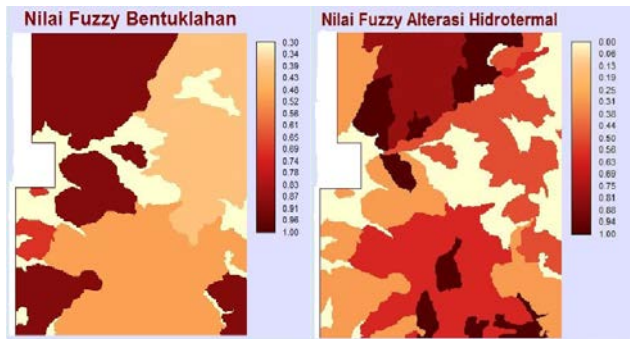
Gambar 3.2 Alterasi serisitik pada sampel PJ04/SN

Parameter bentuklahan, litologi yang sudah diuji akurasi dijadikan sebagai input dalam metode *fuzzy logic*. Selain itu, Zona alterasi hidrotermal dan struktur geologi juga. Pemetaan zonasi potensi emas epitermal ini merupakan hasil overlay dari parameter fisik tersebut yang sudah diklasifikasikan dan di *fuzzy* kan.



Gambar 3.3. Nilai fuzzy struktur Geologi

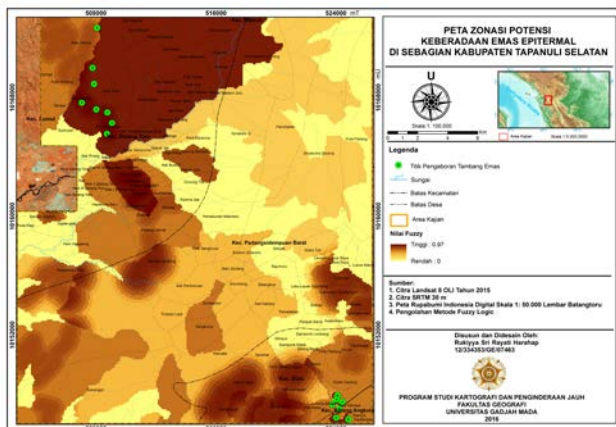
Gambar 3.4. Nilai fuzzy litologi (batuan)



Gambar 3.5 Nilai fuzzy bentuklahan

Gambar 3.6. Nilai fuzzy alterasi hidrotermal

Hasil overlay peta setiap parameter fisik tersebut berupa peta zonasi potensi keberadaan emas epitermal. Seperti pada **gambar 3.7**



Gambar 3.7. Peta Zonasi Potensi Keberadaan Emas Epithermal

Hasil potensi keberadaan emas epitermal di sebagian daerah Kabupaten Tapanuli Selatan dalam menggunakan metode *fuzzy logic* ini memiliki kelebihan. Kelebihan dari penelitian ini yaitu aplikasi dalam penentuan potensi keberadaan emas dapat meminimalisir biaya, tenaga dan waktu juga lebih singkat

dibandingkan dengan survey terestris. Akan tetapi kajian dalam penentuan potensi keberadaan emas epitermal merupakan kajian yang bersifat analitis. Yaitu dengan melihat asosiasi parameter fisik yang berpotensi adanya emas, seperti struktur geologi, bentuklahan, litologi(batuan), dan zona alterasi hidrotermalnya. Penentuan parameter visual bentuklahan, litologi, struktru geologi, dan zona alterasi dilakukan menggunakan interpretasi visual yang bersifat kualitatif. Sehingga kedetailan interpretasi visual berpengaruh pada proses *fuzzy logic* dalam penentuan potensi keberadaan emas epitermal di daerah kajian. Hal inilah yang menjadi kelemahan dari penelitian ini, sehingga sangat diperlukan jam terbang dan *local knowledge* yang mantap tentang intepretasi visual parameter fisik (litologi, struktur geologi dan bentuklahan) dan karakteristik geologi area kajian. Model zonasi potensi emas epitermal tersebut di uji tingkat kevalidannya dengan menggunakan perbandingan antara lokasi potensi tertinggi di model dengan hasil plotingan pengeboran tambang emas di lapangan. Dari 15 sampel hasil plotingan di lapangan, ternyata 12 diantaranya berada pada model zonasi potensi tertinggi. Sehingga dapat disimpulkan tingkat validasi dari model yang dihasilkan yaitu $12/15 * 100\% = 80\%$. Model yang sudah dihasilkan dari metode *fuzzy logic* mampu memberikan informasi potensi keberadaan emas epitermal di suatu area kajian berdasarkan data parameter fisik seperti bentuklahan, batuan (litologi), struktur geologi dan zonasi alterasi.

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Kedetailan interpretasi visual citra dalam penentuan parameter fisik litologi dan bentuklahan dalam penentuan alterasi hidrotermal tergolong baik, hal ini dapat ditunjukkan dengan akurasi parameter litologi sebesar 92,7% dan parameter bentuklahan sebesar 88%. Alterasi hidrotermal yang ada di daerah kajian dominan alterasi silisifikasi, propilitik, dab argilik yang mengindikasikan litologi di

daerah kajian dominan memiliki mineral kuarsa dan mineral lempung yang tinggi.

- b) Penentuan nilai derajat keanggotaan (*value membership*) setiap parameter fisik dapat dilakukan dengan cara berurutan pada parameter yang memiliki keteraturan seperti struktur geologi (jarak terhadap sesar), dan secara bebas pada parameter yang tidak memiliki keteraturan seperti litologi, bentuklahan dan alterasi. Pada struktur geologi karena datanya memiliki keteraturan menggunakan fungsi fuzzy small, sedangkan pada parameter litologi, bentuklahan dan alterasi karena datanya tidak memiliki keteraturan maka diberi bobot dan menggunakan fungsi *fuzzy large*. Dari hasil analisis fuzzy logic disimpulkan bahwa area yang memiliki potensi keberadaan emas yang tinggi tersebar di bagian utara Kecamatan Batang Toru, di bagian selatan yaitu di Kecamatan Batang Angkola dan Kec. Siais dan dibagian tengah Kecamatan Batang Toru. Potensi Keberadaan emas epitermal yang tinggi ini juga didukung dengan adanya aktivitas pertambangan emas. Aktivitas pertambangan emas ini mengindikasikan potensi keberadaan emas yang tinggi. Dengan analisis melihat asosiasi berbagai parameter fisik (litologi, bentuklahan, struktur geologi, dan alterasi hidrotermal), metode fuzzy logic mampu memberikan informasi potensi keberadaan emas epitermal. Sehingga tingkat validasi dari model zonasi alterasi hidrotermal yaitu sebesar 80%

Saran

- a) Perlu dicoba analisis lebih mendalam mengenai besar kecilnya pengaruh alterasi terhadap keberadaan emas epitermal.
- b) Agar menghasilkan hasil yang lebih optimal perludanya data sekunder yang lebih mendukung dalam penentuan potensi keberadaan emas seperti data anomali geokimia.

- c) Setelah diketahui potensi keberadaan emas epitermal dari proses fuzzy logic, selain data pengeboran di lapangan, juga perlu dilakukan lagi analisis adanya kandungan mineral emas dalam batuan di laboratorium berupa *X-Ray*

DAFTAR PUSTAKA

- Ananada, I. N. (2013). *Fusi Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra ASTER G-DEM untuk Identifikasi Zona Alterasi Hydrothermal Terkait Mineral di Sebagian Kalimantan Barat*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Barber, A., Crow, M., & Milsom, J. (2005). *Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. London, Memoirs: Geological Society.
- Bedard, J., & Michelene, T. (1993). Expertise in Auditing. *Accounting Practice and Theory*.
- Buchanan, L. (1981). Precious metal deposits associated with volcanic environments in the. (W. D. Payne, Penyunt.) *Relations of Tectonics to Ore Deposits, 14, 237-262*.
- Burrough, P. (1986). *Principle of Geographical Information System for Land Resources Assessment*. New York: Oxford University Press.
- Carlile, J., & Mitchell. (1994). Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia. *Geochemical Exploration*.
- Carranza, E. J., & Hale, M. (2001). Geologically Constrained Fuzzy Mapping of Gold Mineralization Potential, Banguio District, Philippines. *Natural Research, 10*.
- Corbett, G., & Leach. (1996). Southwest Pacific Rim Gold/Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. *Society of Exploration Geochemists*, (hal. 145). Townville.
- Crow, M., & Leeuwen, T. V. (2005). *Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution*

- (*Capter 12, Metalic Mineral Deposits*). London: The Geological Society.
- Darman, H., & Sidi, F. (2000). An Outline of the Geology of Indonesia. *IAGI*, 20, 45-67.
- Diantoro. (2010). *Emas; Investasi dan Pengolahannya (Pengolahan Emas Skala Home Industry)*. Jakarta: Gramedia Pustaka Umum.
- Evans, A. (1993). *Ore Geology and Industrial Minerals*. Blackwell Scientific Publication.
- Faeyumi, M. (2012). *Sebaran Potensi Emas Epitermal di Areal Eksploitasi PT Antam Unit Geomin, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Geografi.
- Gerrard, A. (1994). *Rocks and Landforms*. New Zealand: Academic Division of Unwin Hyman Ltd.
- Gopal, S. C., & Alan, H. S. (1998). *Fuzzy ARTMAP Calssification of Global Land Cover from AVHRR Data Set*. National Science Foundation (NSF SBR 9300633) and National Aeronautics and Space Administration .
- Guilbert, G., & Park, C. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Hedenquist, J. (1990). *Epithermal Gold MIneralization of ther Circum-Pasific : Geology, Geochemistry, Origin, and Exploration*. Delhi, India: Elsevier.
- Hutton, J. (2009). Dalam D. Noor, *Pengantar Geologi* (hal. 61). Bogor : Fakultas Teknik, Universitas Pakuan.
- Idrus, A., & Pramutadi, E. B. (2008). Mineralisasi Bijih dan Geokimia Batuan Samping Vulkaniklastik Andesitik Yang Berasosiasi Dengan Endapan Tembaga-Emas Porfiri Elang, Pulau Smbawa, Nusa Tenggara Barat. *Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi*, 30-37.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. (2007). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
- Lindgren, W. (1993). *Mineral Deposits*. New York: Mc-Graw-Hill Book Company, Inc.
- Muslim, H. (2009). *Penerapan Metode Fuzzy Logic dalam Pemetaan Potensi Mineralisasi Emas Epitermal di Kabupaten Sukabumi Menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG)*. Bandung: Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung.
- Nicholas, M. S. (1982). *The Landsat Tutorial Workbook*. New York: NASA.
- Pirajno, F. (1992). *Hydrothermal Mineral Deposits*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Hedelberg.
- Pulunggono, A., & Cameron, N. (1984). Sumatran Microplates, Their Characteristics and Their Role In Evolution of the Central and Soouth Sumatera Basin. *Proceedings PIT XII IAGI*. Jakarta: IAGI.
- R. Soeria-At, a., Y.Sunarya, Sutanto, & Hendranyono. (1998). Epithermal Gold-Sopper Mineralization Associated With Late Neogene-Magmatism and Crustal Extemsion in The Sunda-Banda Arc. *Geol. Soc. Malaysia*, 257-268.
- Sastroprawiro, S., Raharjo, S., & Purnomo, H. (2008). *Buku Panduang Praktikum Geologi Citra Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional.
- Selatan-Sipirok, T. (2011). *tapanuliselatankab.go.id*. Dipetik April 20, 2016, dari Tapanuli Selatan: <http://www.tapanuliselatankab.go.id/2011/07/geografi.html>
- Sigit, S., Purbo-Handiwidjojo, M., Sulasmoro, B., & Wirjosudjono, S. (1969). *Minerals and Mining in Indonesia*. Djakarta: Minister of Mines, Republic of Indonesia.

- Silva, E. C., M., A., Toleda, C. L., Mol, A. G., Otterman, D. W., & Cortez, S. R. (2012). *Mineral Potential Mapping for Orogenic Gold Deposits in the Rio Maria Granite, Greenstone Terrane, Southeastern Para State, Brazil* (Vol. 107). Brazil: Society of Economic Geologists, Inc.
- Soetoto. (2001). *Hand Out Mata Kuliah Geologi Foto Pokok Bahasan: Fotogrametri untuk Geologi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Sutanto. (1994). *Penginderaan Jauh Jilid I*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Sutanto. (1994). *Penginderaan Jauh Jilid II*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Thornbury. (1970). *Geomorphology*. London: Mc. Graw Hill.
- Verstappen, H. T. (1983). *Applied Geomorphology*. Amsterdam: Geomorphological Survey for Environment.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1990). Epithermal Environments and Style of Mineralization: Variations and Their Causes, and Guidelines for Exploration. *Geochemical Exploration*, 445-474.
- Whitton. (1984). *Geomorphology and Environmental Impact Assessment*. CRC Press.
- Widodo. (2004). *Laporan Hasil Kegiatan Eksplorasi Bahan Galian Logam Mulia dan Logam Dasar Pada Wilayah Penugasan Pertambangan*. Lumajang, Jawa Timur: Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral di Daerah Tepungsari.
- Wiguna, S. (2012). *Sebaran Potensi Deposit Emas Epitermal di Cibalung, Pandeglang-Banten*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Departemen Geografi.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, VIII, 338-353.
- Zuidam, R. V., & Zuidam-Cancelado, F. V. (1979). *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs. A Geomorfological Approach*. Enschede: ITC.