

Aplikasi Teknik Penginderaan Jauh untuk Identifikasi Mulut Gua dan Sebarannya Di Kawasan Karst Daerah Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta

oleh
Efendi Saputra
moong.86@gmail.com

Retnadi Heru Jatmiko
retnadih@ugm.ac.id

Abstract

Karst region known as barren land due to the potential stored in it in the form of an underground river, as well as beauty Speleotem isn't widely known by the people. The development of resources satellite technology at this time, already widely used for various disciplines of science, especially for the geological mapping purposes and related studies. The study aims to analysis of Landsat 8 Pancromatic remote sensing imagery to identification and to discover the distribution of the cave entrance in the study area.

Remote sensing techniques application for the identification of the cave entrance in this study using an the approach flow pattern analysis, structural analysis, and morphological analysis. The variables used are flow patterns, straightness and negative morphology and vegetation obtained through visual interpretation process

This result is remote sensing techniques to identify the cave entrance in the karst region with the approach flow pattern analysis, structural analysis, and morphological analysis have accuracy level 72%. That remote sensing techniques can be used to identify entrance of the cave.

Keyword: karst, remote sensing, cave

Intisari

Kawasan karst dikenal dengan lahan tandus karena potensi yang ada berupa sungai bawah tanah, serta keindahan *Speleotem* belum banyak diketahui oleh masyarakat luas. Pengembangan teknologi satelit sumber daya saat ini, sudah banyak digunakan untuk keperluan berbagai disiplin ilmu pengetahuan, khususnya untuk keperluan pemetaan geologi dan kajian terkait. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji kemampuan citra landsat 8 pankromatik dalam memberikan informasi terkait identifikasi mulut gua serta agihan sebaran mulut gua di daerah penelitian.

Aplikasi teknik penginderaan jauh untuk identifikasi mulut gua pada penelitian ini digunakan analisis pola aliran, analisis struktur dan morfologi. Variabel yang digunakan adalah pola aliran, kelurusan dan morfologi negatif dan vegetasi yang didapatkan melalui proses interpretasi visual.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa di daerah Semanu memiliki tingkat ketelitian interpretasi citra dengan menggunakan pendekatan analisis pola aliran, analisis struktur, dan analisis morfologi sebesar 72%, sehingga dapat dikatakan bahwa teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk identifikasi mulut gua.

Kata kunci: karst, penginderaan jauh, gua

PENDAHULUAN

Karst adalah suatu daerah yang mempunyai karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh derajat pelarutan batu-batuannya yang intensif (Ford dan Williams, 1996). Kawasan karst dikenal dengan lahan tandus dan kekurangan air karena potensi yang tersimpan didalamnya belum banyak diketahui oleh masyarakat luas.

Kawasan Karst dapat berfungsi sebagai laboratorium alam hal ini dikarenakan potensinya yang unik salah satunya adalah memiliki bentang gua. Gua merupakan potensi yang terpendam di dalam perut bumi, proses terbentuknya yang membutuhkan proses ribuan tahun menjadikannya unik.

Pengembangan teknologi satelit sumber daya saat ini, sudah banyak digunakan untuk keperluan berbagai disiplin ilmu pengetahuan, khususnya untuk keperluan pemetaan geologi dan kajian terkait. Teknologi satelit sumber daya dinilai memiliki banyak kelebihan dan keuntungan, selain cakupan area cukup luas, kemampuan perekaman secara temporal cukup baik.

Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk keperluan deteksi mulut gua diarahkan pada pengenalan adanya kelurusan, aliran permukaan yang terputus, besarnya erosi ataupun sedimentasi terkait penggunaan lahan, keberadaan vegetasi yang endemik yang merupakan pelopor porosi. Citra penginderaan jauh mampu mendeteksi pola aliran, topografi permukaan, tutupan tanah dengan sangat baik sehingga akan sangat membantu dalam hal penafsiran keberadaan mulut gua.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengkaji kemampuan citra landsat 8 pankromatik dalam memberikan informasi terkait identifikasi mulut gua
2. Mengetahui agihan sebaran mulut gua di daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian berdasarkan pada kenampakan apa adanya, dan proses identifikasi yang dilakukan secara visual. Kejadian mulut gua diidentifikasi dengan pendekatan analisis pola aliran, analisis struktur, dan analisis morfologi untuk melihat perpotongan garis kelurusan, putusnya pola aliran permukaan secara tiba-tiba, dan keberadaan cekungan.

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan:

1. Tahap Persiapan

Berupa studi literatur untuk mengetahui objek kajian dan membangun dasar teori. Observasi awal untuk mengetahui karakteristik dan mengumpulkan informasi-informasi berkaitan dengan tujuan serta pengenalan karakteristik daerah penelitian.

2. Tahap Pelaksanaan

a. Koreksi Geometri

Koreksi Geometri dilakukan karena adanya kesalahan sistematik (kecondongan penyiam, kecepatan kaca penyiam, kesalahan panoramik, kecepatan wahana, rotasi bumi dan perspektif) dan kesalahan non sistematis karena variasi ketinggian dan posisi (Lillesand, et.al., 2007).

b. Penajaman Citra

Penajaman citra (*image enhancement*) meliputi operasi yang menghasilkan citra baru dengan kenampakan visual dan karakteristik spektral yang berbeda. Dilakukan dengan metode *equalisasi histogram* untuk memberi kesan kontras yang lebih baik sehingga memudahkan dalam proses interpretasi.

c. Digital Elevasi Model

Sebuah DEM dapat direpresentasikan sebagai raster (piksel) atau sebagai jaringan segitiga yang tidak teratur (*Triangular Irregular Networks*). Representasi ini sangat berguna dalam memberi gambaran topografi yang lebih baik dan data spasial yang lebih akurat.

d. Interpretasi Citra

Proses deteksi, identifikasi, dan deliniasi dilakukan berdasarkan pada Pola, Rona, Bentuk, Tekstur, Ukuran, Asosiasi, Lokasi, Bayangan yang meliputi proses interpretasi struktur geologi, pola aliran, dan morfologi dan vegetasi.

e. Survei Lapangan

Dilakukan untuk menguji ketepatan hasil interpretasi pada lokasi sampel sesuai dengan prediksi kemungkinan muncul mulut gua dari hasil interpretasi.

3. Tahap Analisis dan Penyajian Data

a. Analisis Deskriptif Kuantitatif

Digunakan dalam penentuan tingkat kemampuan teknik penginderaan jauh untuk identifikasi pemunculan mulut gua di daerah karst dengan melakukan uji hasil interpretasi dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Ketelitian} = \frac{\text{Jumlah sampel yang sesuai}}{\text{jumlah seluruh sampel}} \times 100\%$$

Katagori:

- Baik, jika % benar > 65% atau total % kesalahan < 35%, sehingga layak digunakan untuk penelitian lebih lanjut.
- Buruk, jika % benar < 65% atau total % kesalahan > 35%, sehingga tidak layak digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

b. Analisis Deskriptif Kualitatif

Dilakukan pada data-data hasil interpretasi guna menjawab permasalahan yang menjadi tujuan penelitian.

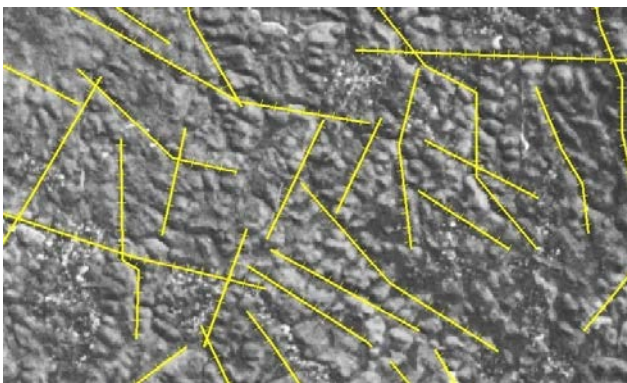
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian diketahui karakteristik variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Karakteristik kelurusan

Identifikasi kelurusan dilakukan dengan interpretasi citra *Landsat 8* pankromatik dan DEM hasil interpolasi garis kontur. Pengenalan kelurusan dibentuk oleh kelurusan morfologi, sungai atau vegetasi yang tergambar oleh perubahan rona yang lurus dan homogen. Kelurusan yang terekspresikan sebagai kenampakan bukan sesar terbentuk oleh aktivitas manusia, seperti jalan, saluran irigasi, rel kereta api dan tanggul buatan.

Hasil interpretasi diketahui Semanu bagian utara terdapat pola kelurusan memanjang serta rona cerah sebagai kelurusan bukan sesar. Semanu bagian selatan tersusun atas sesar dan kelurusan normal cenderung ke arah barat laut tenggara selatan dan timur ke barat. Pola yang lurus serta rona yang cerah diidentifikasi sebagai pola permukiman yang mengikuti jalan dianggap sebagai bukan pola kelurusan karena adanya pengaruh aktivitas manusia.



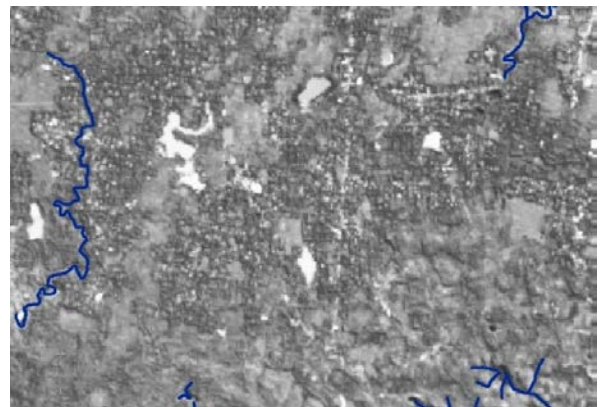
Gambar 1. Kelurusan Pada daerah penelitian

Garis kelurusan utama yang memanjang di utara yaitu dari barat daya ke timur laut membentuk sudut 70° merupakan garis batas zona tengah dan selatan, serta merupakan perbatasan *planeplain* dan perbukitan struktural. Garis kelurusan didominasi membentuk sudut 345° disusul kelurusan dengan sudut 30° sehingga perpotongan yang terjadi cenderung tegak lurus.

Perpotongan garis kelurusan dan ujung dari garis kelurusan merupakan penciri adanya perbedaan kekerasan batuan yang diindikasikan adanya keberadaan mulut gua. Lembah yang terbentuk merupakan zona lemah yang terkikis oleh air. Lembahan yang dalam juga diikuti dengan keberadaan vegetasi sehingga dapat dikenali sebagai zona lemah. Vegetasi dapat tumbuh pada daerah yang memiliki batuan lunak yang memungkinkan untuk menyimpan air.

b. Karakteristik Pola Aliran

Pola aliran pada citra *Landsat 8* dikenali dengan adanya rona cerah, memanjang dan berkelak-kelok. Semanu bagian utara terdapat pola aliran memanjang sebagai pola aliran *rectangular*, menandakan daerah semanu bagian utara memiliki topografi homogen datar. Proses terbentuknya mulut gua berupa terpotongnya muka air oleh permukaan tanah dapat diidentifikasi sebagai mulut gua. Fenomena tersebut ditemukan pada Semanu bagian utara yang teridentifikasi sebagai mulut gua berupa *sinkhole*.



Gambar 2. Pola aliran daerah penelitian

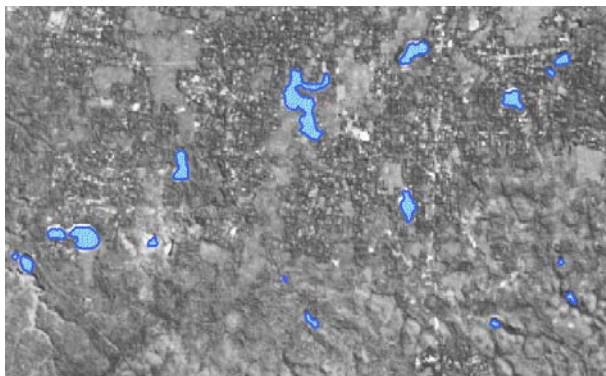
Sungai tahunan di daerah penelitian terdapat pada zona tengah yaitu kali Suci, membelah semanu menjadi bagian utara dan selatan. Selain kali Suci juga terdapat sungai Nongrong dan Serpeng namun tidak sepanjang dan sebesar kali Suci.

Semanu bagian selatan pada citra berupa pola aliran multibasinal berdasarkan arah hadap lereng serta bentuk lembah yang mengarah pada cekungan. Rona cerah pada suatu cekungan menandakan daerah tersebut merupakan tempat tampungan air yang mengering. Pola aliran yang dikenali berasosiasi dengan keberadaan tubuh air atau telaga.

c. Karakteristik Obyek Asosiasi Kejadian Mulut Gua

Semanu memiliki karakteristik morfologi negatif berupa runtunan dan pengikisan. Tipe runtunan banyak terdapat pada topografi datar, hal ini menandakan tebalnya tanah lapisan atas dan besarnya rongga dalam tanah. Morfologi negatif pada citra *Landsat 8* pankromatik dikenali dengan rona cerah pada luasan yang mengelompok serta bentuk tertentu serta berada pada daerah yang relatif lebih rendah.

Keberadaan morfologi negatif yang dapat dikenali ialah kenampakan depresi karst seperti dolin dan lembah kering. Kenampakan dolin dikenali dari bentuk membulat serta rona cenderung gelap serta efek bayangan bukit. Beberapa mulut gua yang ditemui pada Semanu bagian utara merupakan tipe mulut gua hasil runtunan atap gua berukuran cukup besar sedangkan bagian selatan hanya ditemukan berukuran kecil saja.



Gambar 3. Morfologi negatif daerah penelitian

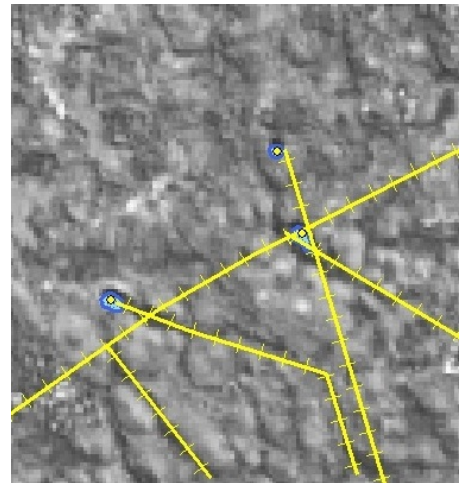
Telaga karst merupakan bukti adanya jalur struktural yang terkontrol oleh kekar dan sesar sebagai tempat penampungan air di daerah karst. Telaga merupakan bentukan topografi negatif yang tergenang air saat musim penghujan dan kering disaat musim kemarau.

Vegetasi pada daerah penelitian berupa pohon hidup menggerombol pada satu tempat dengan potensi air yang melimpah.

Kenampakan tersebut terdapat di sepanjang jalur sesar atau kelurusan yang menandakan sebagai tempat masuk atau keluar air sehingga diidentifikasi sebagai mulut gua.

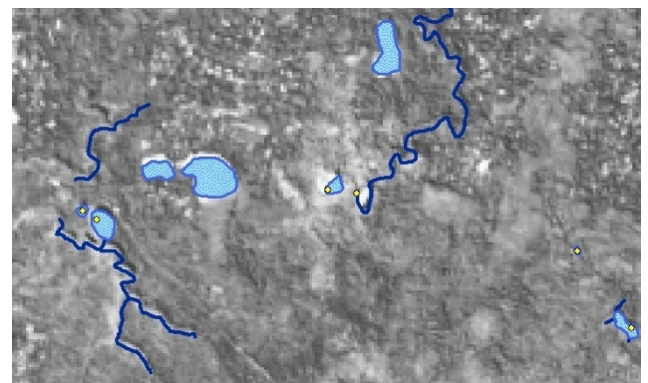
d. Identifikasi Kejadian Mulut Gua

Proses identifikasi dilakukan dengan interpretasi obyek yang berhubungan dengan lokasi mulut gua. Proses identifikasi menggunakan citra penginderaan jauh berupa garis maupun poligon. Hal ini terkait dengan resolusi spasial citra dan ukuran mulut gua itu sendiri, sehingga dari indikator tersebut dapat diidentifikasi lokasi koordinat mulut gua.



Gambar 4. Proses identifikasi mulut gua berdasarkan kelurusan dan morfologi.

Identifikasi lokasi kejadian mulut gua dengan mengamati pola kelurusan dari bukit karst dan depresi karst banyak dijumpai pada Semanu bagian selatan yang merupakan pegunungan seribu. Perpotongan antara garis-garis kelurusan diidentifikasi sebagai daerah kejadian mulut gua terkait dengan parameter fisik yang ada.



Gambar 5. Hasil identifikasi mulut gua berdasarkan pola aliran dan morfologi

Identifikasi lokasi kejadian dalam bentuk titik dilakukan dengan mengamati pola aliran permukaan, yakni terputusnya aliran permukaan. Terputusnya pola aliran permukaan dapat terlihat jelas dari foto udara seperti pola aliran kali Suci, dan Serpeng.

1. Analisis Hasil Identifikasi Kejadian Mulut Gua

a. Dataran Tinggi Karst

Topografi datar dicirikan dengan lapisan tanah yang tebal dan memiliki kecenderungan untuk memiliki aliran permukaan. Pada daerah ini terbentuk dolin runtuh yang terbentuk akibat atap dari suatu lorong gua runtuh, yakni pelarutan di atas gua, pelarutan atap gua dari bawah, dan penurunan muka air tanah di atas gua. Rongga dalam tanah yang besar serta sifat batuan yang resistan memungkinkan terjadi runtuh akibat beban yang berada dipermukaan tidak dapat lagi ditahan oleh struktur batuan bawahnya.

Kenampakan putusannya aliran permukaan pada daerah ini dijumpai dengan empat aliran permukaan. Jalur lewatnya air dibatasi dengan dinding yang terjal dan merupakan batuan yang tidak dapat ditembus oleh air. Bentuk sungai yang berkelok-kelok dan patah-patah secara tidak langsung menggambarkan kenampakan bidang sesar daerah tersebut.

Mulut gua di daerah datar memiliki kecenderungan diameter cukup besar disebabkan proses pelarutan secara aktif. Serta kemungkinan terdapat satu sistem aliran bawah tanah yang cukup besar dan kerap terjadi penurunan muka air tanah sehingga menimbulkan runtuh atap gua.

Munculnya telaga-telaga karst di sekitaran mulut gua menandakan bahwa daerah tersebut merupakan jalur kekar, kandungan karbon pada tiap jalur kekar tersebut berbeda sehingga mempengaruhi proses pembentukan dolin. menggenang.

b. Daerah perbukitan Kartis Terkikis

Berdasarkan penelitian diketahui Semanu bagian selatan tidak dijumpai aliran permukaan akibat tingginya proses solusional. Identifikasi kejadian mulut gua pada Semanu bagian selatan berdasarkan garis kelurusan yang diinterpretasi dari citra Landsat 8 Band 8. Kemungkinan munculnya mulut gua terkontrol oleh jalur sesar atau

kelurusan, akan tetapi ada faktor pendorong lain dalam pembentukannya.

Sepanjang garis kelurusan hasil interpretasi terdapat kemunculan depresi karst yakni telaga-telaga karst dan dolin yang merupakan penciri zona lemah dibanding sekitarnya. Ujung dari garis kelurusan dan setiap perpotongan garis kelurusan diidentifikasi sebagai mulut gua dan lokasi persisinya dibantu dengan melihat kenampakan variabel tambahan yang diidentifikasi dari citra detil yang merupakan objek asosiasi kejadian mulut gua.

Ukuran mulut gua secara umum berukuran sedang dan tidak dapat dikenali langsung. Ukuran mulut gua yang kecil serta posisinya yang tertutup oleh vegetasi umum dijumpai di semanu pada topografi berbukit. Lokasi yang diidentifikasi sebagai mulut gua secara umum berada pada suatu lembahan dalam dengan kenampakan vegetasi yang rimbun. Beda tinggi medan juga mempengaruhi proses pembentukan mulut gua, hal ini terkait dengan proses pelarutan air sehingga terbentuk lorong gua.

Mulut gua juga dapat dikenali dengan melihat bentuk suatu lembahan yakni pola kelurusan. Seperti halnya aliran permukaan, kesan kelokan secara tiba-tiba pada suatu lembahan juga mencerminkan perbedaan arah rekahan memungkinkan kejadian mulut gua. Kelokan lembahan secara tajam serta adanya vegetasi yang rimbun juga memberikan kesan bahwa di lokasi tersebut ada kejadian mulut gua.

Ujung dari garis kelurusan jarang dijumpai kenampakan yang menunjukkan adanya kejadian mulut gua. Akibat pengaruh kenampakan topografi maupun bentuk bukit di sekitarnya. Lembahan yang terbentuk cenderung melebar sehingga proses pelarutan atau erosi kecil, dikarenakan bidang erosi yang lebar serta kecenderungan air untuk menjadi air tanah

2. Uji Ketelitian Hasil Identifikasi Kejadian Mulut Gua

Metode yang digunakan ialah metode yang kenalkan oleh Daels dan Antrop yang telah dimodifikasi sesuai dengan objek kajian penelitian, yaitu dengan membandingkan hasil interpretasi citra penginderaan jauh dengan hasil identifikasi di lapangan. Uji

ketelitian tersebut dinyatakan dalam bentuk prosentase.

Tabel 1. Matrik uji akurasi

| Kode Objek | Hasil Interpretasi | | | Hasil Survei Lapangan | | |
|------------|--------------------|-------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|
| | Kelurusan | Pola Aliran | Depresi Karst & Vegetasi | Mulut Gua | Bukan Mulut Gua | Ket. |
| T1 | | √ | | √ | | G. Kalisuci |
| T2 | | √ | √ | √ | | G. Gelung |
| T3 | | √ | √ | √ | | G. Mburi Omah |
| T4 | | √ | √ | √ | | G. Serpeng |
| T5 | | √ | √ | √ | | G. Wot Sriti |
| T6 | | √ | √ | √ | | G. Mulo |
| T7 | | √ | √ | √ | | G.Ningrong |
| T8 | | | √ | √ | | G.Jomblang |
| T9 | √ | √ | √ | √ | | G. Tawing |
| T10 | √ | √ | √ | √ | | G. Danggal |
| T11 | √ | | √ | √ | | G. seropan |
| T12 | | | √ | √ | | G. bedesan |
| T13 | √ | | √ | √ | | G.Ceblok |
| T14 | √ | √ | √ | √ | | G.Jurang |
| T15 | √ | | √ | √ | | G.Sinden |
| T16 | √ | | √ | | √ | Lem-bahan |
| T17 | √ | √ | √ | √ | | G.Jurang Jero |
| T18 | √ | √ | √ | √ | | G.Bribin |
| T19 | √ | | √ | | √ | Cerukan |
| T20 | √ | √ | √ | √ | | G.Sodong |
| T21 | √ | | √ | √ | | G.Kumbang |
| T22 | √ | | √ | | √ | Lembahan |
| T23 | | √ | √ | √ | | G. pozo |
| T24 | √ | | √ | | √ | Cerukan |
| T25 | √ | | √ | √ | | G.Ledok |
| T26 | √ | | √ | √ | | G.Sindon |
| T27 | √ | | √ | | √ | Telaga Kering |
| T28 | √ | | √ | | √ | Bekas penambangan |
| | | | | √ | | G.Grubuk: temuan |
| T29 | √ | | √ | | √ | Lembahan dalam |
| T30 | √ | | √ | | √ | Lembahan dalam |
| T31 | √ | | | √ | | Jumblengan |
| T32 | √ | | √ | | √ | Telaga Kering |
| T33 | √ | | √ | | √ | Lembahan |
| T34 | √ | | √ | √ | | G. Puniran |
| T35 | √ | | √ | √ | | G.Buhputih |
| T36 | √ | | √ | √ | | G.Sangupati |

Ket: G. = Gua

Sumber: Hasil analisis dan survey lapangan 2014.

Uji tingkat ketelitian dengan cara membandingkan prediksi lokasi yang benar dengan jumlah populasi kemudian dikalikan seratus persen, maka tingkat ketelitian sebesar persen (72%). Berdasarkan pada metode uji ketelitian Daels dan Antrop tingkat ketelitian >65% tergolong baik. Tingkat ketelitian yang baik menandakan teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian mulut gua di daerah karst.

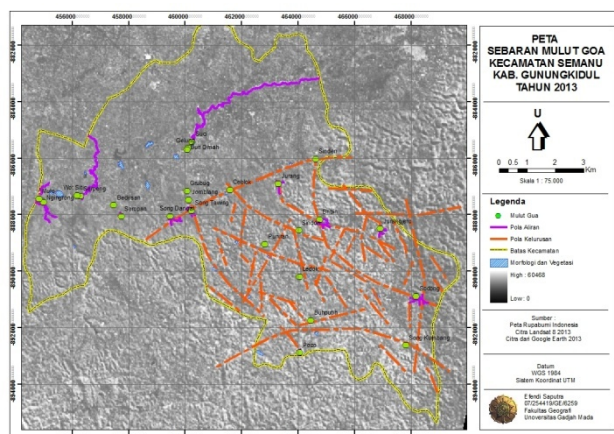
Penelitian ini menggunakan prosedur delineasi satuan-satuan yang diinterpretasi

bersifat tak otomatis atau secara manual. Oleh karena itu hasil uji ketelitian interpretasi tersebut bukan merupakan nilai mutlak, tergantung kemampuan penafsir itu sendiri. Kedalaman pemahaman konseptual – teoritis, tingkat pengalaman, dan pengetahuan daerah kajian penafsir yang mempengaruhi hasil ketelitian interpretasi.

3. Sebaran Mulut Gua

Sebaran mulut gua di Kecamatan Semanu berdasarkan interpretasi litologi dan observasi lapangan, serta data sekunder litologi secara visual pada citra skala besar dari *google earth*. Keadaan topografi dan struktur geologi daerah penelitian menyebabkan kemunculan mulut gua yang khas.

Pada topografi datar hingga landai banyak dijumpai jenis gua yang merupakan dolin dan lubang masuknya air permukaan atau sebaliknya yaitu keluarnya air tanah. Sedangkan pada topografi berbukit didominasi oleh jenis mulut gua jenis amblesan. Tipisnya lapisan atas dan besarnya tekanan dari permukaan menyebabkan timbulnya amblesan, sehingga tercipta mulut gua. Rongga-rongga dalam tanah hasil proses pelarutan tidak mampu menahan beban, proses runtuhnya atap gua tidak dapat dielakkan dan seiring berjalannya waktu rongga tersebut semakin besar dan akhirnya menyisakan lubang yang sering disebut mulut gua.



Gambar 6. Peta sebaran mulut gua daerah penelitian

Pemunculan lokasi mulut gua di daerah datar pada lokasi penelitian dapat dikatakan sebagai suatu sistem perguaan, dilihat dari jarak dan posisi antar pemunculan mulut

gua. Jika ditarik garis antar mulut gua maka pola sebaran mulut gua di daerah datar membelah Semanu utara selatan.

Pola aliran permukaan yang terputus hanya terdapat pada zona tengah cekungan Wonosari. Topografi datar dan tebalnya tanah di daerah tersebut memungkinkan terjadi aliran permukaan yang menghilang pada zona yang lebih keras. Proses pelarutan pada rekahan batuan menciptakan rongga-rongga dalam tanah sehingga banyak mulut gua berupa *sinkhole*.

Sistem aliran bawah permukaan kali suci menghubungkan sistem gua suci, gua gelung, gua mburi omah dan gua grubuk yang menggambarkan adanya jalur sesar daerah tersebut. Ukuran lubang dan arah hadap lubang memberikan informasi bahwa diantara beberapa gua tersebut merupakan satu kesatuan sistem.

Bentuk kelurusan hanya dapat dijumpai pada perbukitan karst. Tingkat solusional tinggi menandakan daerah tersebut memiliki lapisan tanah yang tipis sehingga air memiliki kecenderungan untuk menerobos celah batuan sehingga mulut gua berukuran kecil-kecil. Hasil identifikasi dari citra dengan menggunakan parameter kelurusan sedikit susah karena terbentur oleh skala pemetaan, sehingga diperlukan variabel pendukung seperti kenampakan pola vegetasi dan depresi karst.

Morfologi permukaan dan kenampakan-kenampakan khas permukaan merupakan aspek yang mudah untuk mengidentifikasi mulut gua yang berukuran sedang hingga besar. Kenampakan permukaan juga sering digunakan sebagai pembatas, seperti halnya kenampakan mulut gua di kecamatan semanu yang digunakan sebagai pembatas antar desa.

KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi fenomena kejadian mulut gua di daerah karst dengan tingkat ketelitian tinggi berdasarkan parameter karakteristik lahan.
2. Kejadian mulut gua yang dapat diidentifikasi melalui teknik penginderaan jauh ialah merupakan jenis mulut gua yang berada pada depresi karst berupa cekungan ataupun

morfologi negatif. Untuk kenampakan mulut gua yang berada pada punggung bukit belum bisa diidentifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- C, Ford D, and W, Williams P, 1996. *Karst Geomorphology and Hydrology*. Chapman and Hall, London
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Haryono, Eko, 2000. *Kajian Mintakat Epikarst Untuk Penyediaan Air Bersih di Daerah Gunung Kidul DIY*, Laporan Penelitian HB VIII/1 Perguruan Tinggi TA 1999/2000, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta
- Harsoyo, Budi, 2001. *Aplikasi Teknik Penginderaan Jauh Untuk Identifikasi Mataair Karst dan Sebarannya di Kawasan Karst Ponjong, Gunungkidul (skripsi)*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lillesand, Thomas M. And ralph W. Kiefer. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ridarso, Eko. 1995. *Survey dan Pemetaan Untuk Inventarisasi Sumberdaya Gua Dan Pengenalan Dasar Geomorfotika*, GEGAMA Mahasiswa Pecinta Alam Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Sutanto, 1999. *Penginderaan Jauh, Jilid 1*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Sutanto. 1994. *Penginderaan jauh Jilid II*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Widyastuti M, 1991. *Pengaruh Struktur Kekar Terhadap Karakteristik Mata Air Cekungan Wonosari, Kabupaten Gunung Kidul*. Skripsi Sarjana, Yogyakarta : Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.