

APLIKASI PENGINDERAAN JAUH UNTUK IDENTIFIKASI MULUT GOA DI KAWASAN KARST KECAMATAN TEPUS GUNUNGKIDUL

Andani Kusumawati
andanikus@gmail.com
Zuharnen
zuharnen@ugm.ac.id

Abstract

Karst is landform from dissolving process with one potensial of cave. The benefit of remote sensing is for identify parameter cave appearance in karst area. The purpose of this research for analyse remote sensing ability for identification cave and spread pattern in Tepus District. This research use GeoEye satellite imagery, landsat 8, and RBI map. Methods of this research is determiner approachment parameter for location of cave. Lineament, flow-surface pattern, morphology, and vegetation density are used parameters. The analyse of this research is quantitave descriptive and qualitative descriptive. Result of this research shows remote sensing has good effectiveness for parameter extraction parameter for cave identification with effectiveness levels is 86,88%. The spreads of cave location depends on visual analyse which has spread pattern.

Keyword: Remote sensing, Karst, Cave

Intisari

Karst merupakan bentuklahan hasil proses pelarutan dengan salah satu potensi berupa goa. Penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk mengenali parameter kenampakan mulut goa di kawasan karst. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk analisis kemampuan citra penginderaan jauh untuk identifikasi mulut goa dan pola persebarannya di Kecamatan Tepus. Penelitian ini menggunakan citra GeoEye, Landsat 8 dan Peta RBI. Metode yang digunakan adalah pendekatan parameter penentu lokasi mulut goa. Parameter yang digunakan berupa Kelurusan, Pola Aliran Permukaan, Morfologi dan Kerapatan vegetasi. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan deskripsi kualitatif. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penginderaan jauh memiliki tingkat efektifitas yang baik untuk mengekstraksi parameter identifikasi mulut goa dengan tingkat ketelitian sebesar 86.88 %. Persebaran lokasi mulut goa berdasarkan analisis visual memiliki pola menyebar.

Kata kunci : Penginderaan Jauh, Karst, Goa

PENDAHULUAN

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (kras) yang berarti lahan gersang berbatu. Istilah ini di negara asalnya tidak berkaitan dengan batugamping dan proses pelarutan, namun saat ini istilah kras telah diadopsi untuk istilah bentuklahan hasil proses pelarutan. Ford dan Williams (2007) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik.

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang mempunyai kawasan karst yang tersebar hampir di semua pulau-pulau besar dari Sumatra sampai ke Papua. Kawasan karst yang telah dikenali di Indonesia antara lain Gunung Sewu, Gombong Selatan, Maros-Pangkajenen dan Papua.

Kawasan karst merupakan kawasan lindung cagar alam, salah satu potensi kawasan karst berupa sumberdaya alam yang tak terbaharukan. Terdapat banyak sekali fenomena alam yang unik dan langka. Sistem drainase/tata air kawasan karst sangat unik dengan didominasi oleh sistem drainase bawah permukaan, dimana air permukaan sebagian besar masuk ke jaringan sungai bawah tanah melalui ponor ataupun *inlet*.

Bentuklahan karst memiliki potensi besar berupa goa. Goa merupakan rongga bawah tanah yang alami termasuk didalamnya pintu masuk (*entrance*), lorong (*passage*) dan ruang (*room/chamber*) yang dapat ditelusuri oleh penjelajah manusia. (Rahmadi, 2007). Rongga bawah tanah yang tidak dapat ditelusuri manusia bukan merupakan goa. Berdasarkan bentuk lorongnya terdapat dua tipe goa yakni: Goa horizontal dan

Goa vertikal. Goa dapat dimanfaatkan sebagai obyek wisata, obyek penelitian, dan obyek yang digunakan untuk olahraga minat khusus. Penggalan potensi kawasan karst berupa goa dapat memberikan manfaat besar bagi kehidupan masyarakat disekitarnya. Selain digunakan untuk wisata dan penelitian, goa juga memiliki potensi berupa sungai bawah tanah ataupun cadangan air yang belum banyak dimanfaatkan.

Teknologi penginderaan jauh dipilih karena memiliki banyak keuntungan. Keuntungan penggunaan teknologi penginderaan jauh antara lain: Citra penginderaan jauh dapat memberikan gambaran obyek, daerah dan gejala di permukaan bumi dengan juaud dan letak obyek yang mirip dengan juaud dan letaknya di permukaan bumi. Citra penginderaan jauh juga memberikan gambaran obyek yang relatif lengkap dan meliputi daerah kajian yang luas. Citra penginderaan jauh bersifat permanen sehingga mudah digunakan untuk kajian / penelitian; Citra penginderaan jauh dapat memberikan gambaran 3 dimensional apabila dilakukan pengamatan secara stereoskopik dengan menggunakan alat berupa stereoskop; Karakteristik obyek yang tak tampak dapat diujudkan dalam bentuk citra penginderaan jauh sehingga memudahkan dalam proses pengenalan obyek tersebut; Citra penginderaan jauh dapat dibuat secara cepat meskipun untuk daerah yang sulit dijelajahi secara terestrial; Merupakan satu-satunya cara untuk pemetaan daerah bencana secara cepat pada saat terjadi bencana; Citra penginderaan jauh sering dibuat dengan periode pengulangan yang pendek. (Sutanto, 1999)

Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk keperluan identifikasi mulut goa dilakukan dengan pendekatan pada hasil perekaman yang dapat terdeteksi oleh citra penginderaan jauh. Citra penginderaan jauh mampu mendeteksi adanya pola aliran permukaan, topografi permukaan, tutupan lahan dengan sangat baik sehingga dapat membantu proses identifikasi keberadaan mulut goa. Kenampakan fisik lahan tergambar dengan baik dan kebutuhan ekstraksi data yang dibutuhkan sangat memungkinkan digunakan untuk melakukan identifikasi mulut goa.

Penelitian ini dilakukan dengan 2 (dua) tujuan yakni: analisis kemampuan citra penginderaan jauh untuk proses identifikasi lokasi mulut goa dan persebarannya di Kecamatan Tepus. Tujuan kedua adalah untuk

mengetahui pola persebaran mulut goa di Kecamatan Tepus, Gunungkidul dan sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Aplikasi penginderaan jauh untuk identifikasi mulut goa di kawasan karst pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan parameter kelurusan, pola aliran permukaan, morfologi lembah kering dan kerapatan vegetasi. Parameter-parameter tersebut diekstraksi secara visual pada citra penginderaan jauh. Pola kelurusan diperoleh dari hasil proses interpretasi Citra Satelit Landsat 8, sedangkan pola aliran permukaan, morfologi dan kerapatan vegetasi diperoleh dari citra satelit *GeoEye*. Berdasarkan parameter yang ada kemudian digunakan sebagai dasar penentuan obyek berupa mulut goa.

Metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan, yakni:

Tahap Persiapan

Tahap persiapan dalam penelitian ini terdiri dari 2 (dua) tahapan. Tahapan pertama berupa studi literatur studi literatur, tahapan ini dilakukan untuk lebih mengetahui objek kajian, dengan tujuan mengetahui sejauh mana penelitian sejenis telah dilakukan serta sebagai dasar pertimbangan dan dasar teori di dalam melakukan penelitian ini sehingga memudahkan tahapan selanjutnya. Tahapan kedua yakni observasi awal, tahapan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik umum daerah penelitian dan mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan tujuan penelitian dari penduduk setempat. Selain itu juga merupakan pengenalan karakteristik daerah penelitian.

Tahap Pelaksanaan

a. Pengolahan Citra

- Koreksi Geometri

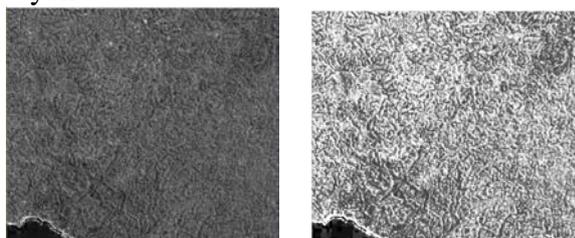
Menurut Mather (1987, dalam Lillesand, et.al., 2007), koreksi geometri adalah transformasi citra hasil penginderaan jauh sehingga citra tersebut mempunyai sifat-sifat peta dalam bentuk, skala dan proyeksi. Koreksi geometri dilakukan untuk meminimalisir kesalahan dalam perekaman citra. Terdapat 2 (dua) kesalahan dalam perekaman yakni Kesalahan sistematik berupa kesalahan kecondongan penyiam, kecepatan kaca penyiam, kesalahan panoramik, kecepatan wahana, rotasi bumi dan perspektif. Sedangkan kesalahan non-sistematik dapat disebabkan oleh variasi ketinggian dan posisi (Lillesand, et.al., 2007)

Metode yang digunakan untuk melakukan koreksi geometrik yaitu metode *image to image* dan metode *image to map*. Metode *image to image* merupakan metode koreksi yang dilakukan dengan membandingkan dua citra dengan daerah liputan yang sama. Citra yang memiliki koordinat digunakan sebagai dasar dalam proses koreksi. Metode kedua yakni *image to map* yang merupakan metode yang dilakukan dengan cara membandingkan citra dengan peta daerah liputan yang sama. Peta digunakan sebagai dasar dalam proses koreksi.

- Penajaman Citra (*image enhancement*)

Meliputi semua operasi yang menghasilkan citra baru dengan kenampakan visual dan karakteristik spektral yang berbeda. Operasi ini mengubah nilai piksel secara sistematis sehingga menghasilkan efek kenampakan atau kesan yang lebih ekspresif sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pengolahan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai citra yang sesuai dengan tujuan interpretasi. Proses mentransformasi nilai piksel/kecerahan menghasilkan citra baru dengan kesan hitam putihnya lebih menonjol.

Penajaman citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah equalisasi histogram. Penajaman ini dilakukan pada citra *Landsat 8* daerah penelitian dengan tujuan untuk menghasilkan kesan kontras yang lebih baik seperti pada gambar dibawah ini. Gambar a merupakan citra *Landsat 8* yang belum mengalami proses penajaman. Kesan kontras yang dimiliki citra sebelum dilakukan penajaman tidak terlihat jelas. Hal tersebut menyulitkan proses identifikasi, sehingga perlu dilakukan penajaman citra. Gambar b merupakan citra *Landsat 8* yang telah mengalami proses penajaman. Kesan kontras pada citra hasil penajaman lebih jelas sehingga memudahkan dalam proses interpretasi karena menyajikan efek bayangan, warna dan rona yang lebih jelas untuk membedakan antar obyek.



(a) (b)

Gambar 1. Penajaman Citra

b. Interpretasi Citra

Interpretasi citra merupakan proses mengenali dan mengkaji obyek, wilayah dan fenomena pada citra penginderaan jauh dengan maksud untuk mendapatkan informasi mengenai obyek, wilayah dan fenomena tersebut. (Lillesand dan Kiefer, 1979). Interpretasi meliputi proses deteksi, identifikasi dan delineasi untuk mengkaji dan memahami hubungan antar obyek yang dikenali sesuai dengan tujuan tertentu. Terdapat 4 (empat) obyek yang diinterpretasi dalam penelitian ini, antarlain:

- Interpretasi Struktur Geologi

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mempelajari kenampakan obyek geologi dapat dilakukan dengan cara proses dan analisis secara digital maupun manual. Analisis secara digital dilakukan dengan menggunakan *software*/perangkat lunak pengolah citra penginderaan jauh. Analisis ini dilakukan dengan bantuan algoritma tertentu dalam penentuan kelurusannya. Sedangkan analisis secara manual dilakukan dengan interpretasi visual pada citra penginderaan jauh.

Identifikasi permunculan mulut goa dilakukan dengan menggunakan parameter struktur geologi berupa kelurusan/*lineament*. Kelurusan merupakan kenampakan kondisi morfologi yang teramati dipermukaan bumi sebagai hasil aktifitas gaya geologi dari dalam bumi. Kelurusan dapat berupa: kelurusan punggung, kelurusan lembah, kelurusan sungai dan kelurusan akibat sesar. Kelurusan dalam proses identifikasi mulut goa ini digunakan untuk melihat adanya jalur atau zona patahan dan perubahan gradien/ kemiringan lereng lahan.

- Interpretasi Pola Aliran

Pola aliran pada umumnya memiliki hubungan erat dengan kondisi geologi. Persyaratan utama terbentuknya pola aliran di daerah karst adalah kondisi batuan yang mudah larut, yaitu batu gamping kalsit, dolomit, aragonite atau gipsum. Pola aliran yang biasa dijumpai di kawasan karst adalah multibasinal. Pola aliran yang digunakan sebagai salah satu parameter identifikasi mulut goa adalah pada aliran yang tiba-tiba terputus (*sinking creep*) dan pola aliran yang tiba-tiba muncul (*resugen*).

- Interpretasi Variabel Pendukung

Variabel pendukung merupakan parameter yang digunakan untuk membantu memudahkan

dalam proses identifikasi kenampakan mulut goa pada citra penginderaan jauh. Variabel pendukung ini dapat berupa morfologi dan pola serta kerapatan vegetasi. Morfologi secara langsung dapat menginformasikan genetis dari batuan. Adanya fenomena bukit-bukit karst, doline, telaga, lembah kering dan kekar mengindikasikan bahwa dibawahnya terbentuk sistem goa dan sungai bawah tanah.

Keberadaan lembah kering atau tebing akibat sesar yang berasosiasi dengan daerah kelurusan serta keberadaan doline, sehingga dapat mencirikan lokasi mulut goa. Vegetasi berupa pohon yang hidup menggerombol pada daerah tertentu seperti pada daerah berair dapat diperkirakan sebagai lokasi munculnya goa.

Tahap Survei Lapangan

- Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan pada lokasi sampel yang diperoleh dari hasil identifikasi lokasi mulut goa menggunakan citra satelit. Tingkat akurasi hasil identifikasi diketahui setelah dilakukan survei lapangan ini. Survei lapangan juga digunakan untuk menentukan koordinat lokasi mulut goa. Alat yang digunakan untuk mengetahui koordinat lokasi mulut goa adalah GPS (*Global Positioning System*). Koordinat lokasi mulut goa kemudian dimasukkan ke dalam peta dasar untuk mengetahui pola persebaran mulut goa.

Tahap Analisis dan Penyajian Data

Analisis data yang dilakukan meliputi:

1. Analisis Deskriptif Kuantitatif

Analisis ini digunakan dalam menentukan tingkat kemampuan teknik penginderaan jauh untuk identifikasi lokasi mulut goa di daerah kajian. Uji hasil interpretasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kemampuan penginderaan jauh untuk penelitian ini.

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

Kategori tingkat ketelitian yang dihasilkan dari metode ini sebagai berikut: Tingkat ketelitian Baik, jika hasil tingkat ketelitian >80% atau total kesalahan <20% sehingga layak digunakan untuk penelitian lebih lanjut. Tingkat ketelitian Buruk, jika hasil tingkat ketelitian <80% atau total kesalahan >20% sehingga tidak layak untuk penelitian lebih lanjut.

2. Analisis Deskriptif Kualitatif

Analisis deskriptif kualitatif digunakan untuk dilakukan pada data–data yang diperoleh

dari hasil interpretasi guna menjawab permasalahan yang menjadi tujuan penelitian.

- Penyajian

Data yang diperoleh dari hasil interpretasi citra dan penafsiran peta–peta yang telah dianalisis selanjutnya disajikan dalam bentuk peta, gambar, grafik, dan tabel sesuai dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi lokasi mulut dan persebaran mulut goa serta mengetahui pola persebaran mulut goa pada kawasan karst dengan citra penginderaan jauh. Daerah penelitian ini adalah Kecamatan Tepus, Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Parameter yang digunakan untuk identifikasi mulut goa antara lain: kelurusan, pola aliran permukaan, morfologi dan kerapatan vegetasi. Parameter tersebut diperoleh dari citra penginderaan jauh. Hasil interpretasi parameter tersebut kemudian diolah dan digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan lokasi mulut goa di Kecamatan Tepus.

Penelitian ini memiliki hasil berupa: proses identifikasi parameter yang digunakan untuk menentukan mulut goa, proses identifikasi mulut goa, dan sebaran mulut goa di Kecamatan Tepus. Secara lengkap hasil penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut.

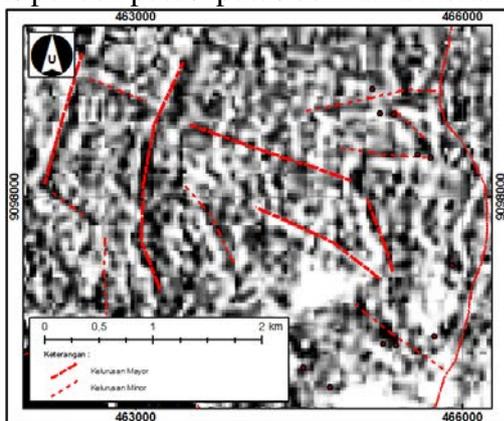
1. Proses Identifikasi Parameter

a. Karakteristik Kelurusan

Parameter berupa kelurusan di daerah penelitian dapat dikenali dengan melihat pola, rona, tekstur dan bentuk yang memanjang pada citra landsat pankromatik hitam putih dengan resolusi 15 x 15 meter. Efek bayangan ataupun rona yang gelap merupakan acuan untuk menarik garis dan menghubungkan beberapa lembah sebagai hasil identifikasi kelurusan.

Hasil identifikasi kelurusan di Kecamatan Tepus dapat dipetakan seperti pada gambar 3. Parameter kelurusan dibedakan menjadi 2 (dua) berdasarkan tingkat kemudahan identifikasi yakni: Kelurusan Mayor dan Kelurusan Minor. Kelurusan mayor merupakan kelurusan yang mudah dikenali dengan menggunakan 1 (satu) atau 2 (dua) kunci interpretasi. Simbol kelurusan mayor berupa garis panjang putus–putus berwarna merah tebal. Kelurusan minor merupakan kelurusan yang tidak terlihat jelas dan perlu menggunakan beberapa kunci interpretasi untuk mengenalinya. Kelurusan

minor berdasarkan gambar di atas diberi simbol garis pendek putus-putus berwarna merah tipis.

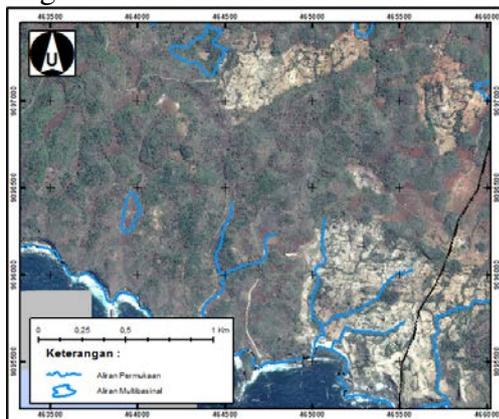


Gambar 2. Interpretasi Kelurusan

b. Karakteristik Pola Aliran

Parameter berupa pola aliran didaerah penelitian dapat dikenali dengan melihat pola, rona dan bentuk yang memanjang dan berkelok pada Citra *GeoEye* dengan resolusi spasial 1,65 x 1,65 m. Citra dengan resolusi spasial tinggi ini dipilih karena dapat menyajikan gambaran detail sehingga obyek-obyek yang tidak dapat terinterpretasi pada citra Landsat 8.

Hasil interpretasi pola aliran kemudian dipetakan seperti gambar 4 di bawah. Parameter aliran permukaan dibedakan menjadi 2 yakni aliran permukaan dan aliran multibasinal. Aliran permukaan membentuk sungai diatas permukaan, sedangkan untuk aliran multibasinal teridentifikasi adalah permunculan mata air yang tidak mengalir diatas permukaan. Pada peta dibawah aliran diberi simbol berwarna biru. Aliran permukaan diberi simbol garis memanjang berwarna biru, sedangkan aliran multibasinal memiliki simbol garis melingkar berwarna biru.



Gambar 3. Interpretasi Pola Aliran

c. Karakteristik Morfologi

Parameter berupa morfologi lembah kering didaerah penelitian dapat dikenali dengan melihat rona, dan bentuk. Lembah kering memiliki rona coklat cerah dan bentuk yang

melingkar pada citra resolusi tinggi *GeoEye*. Citra dengan resolusi spasial tinggi ini dipilih karena dapat menyajikan gambaran detail sehingga obyek-obyek yang tidak dapat terinterpretasi pada citra Landsat 8.

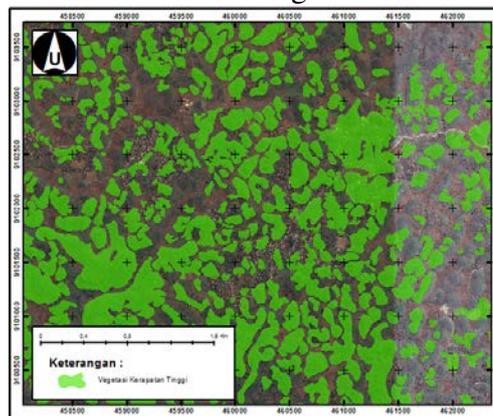
Hasil interpretasi kenampakan morfologi lembah kering di Kecamatan Tepus dapat dipetakan seperti gambar 5 di bawah. Penentuan area morfologi lembah kering dilakukan dengan melihat adanya arah aliran air hujan dengan memperkirakan area mana yang paling rendah dan merupakan pusat tumpungan aliran permukaan. Lembah kering diberi simbol area berwarna orange.



Gambar 4. Interpretasi Morfologi

d. Karakteristik Kerapatan Vegetasi

Parameter terakhir yang digunakan untuk identifikasi mulut goa pada penelitian ini adalah kerapatan vegetasi. Kerapatan vegetasi yang digunakan sebagai penciri keberadaan mulut goa yaitu kerapatan vegetasi tinggi. Kerapatan vegetasi yang tinggi dan membentuk klaster dapat dijadikan sebagai indikator adanya resapan air atau jalan masuknya air ke dalam tanah. Hal tersebut disebabkan oleh kerja akar pada batuan yang mudah lapuk dan terlarut. Sehingga lokasi dengan vegetasi yang rapat pada bentuklahan karst dapat digunakan untuk identifikasi lokasi mulut goa.



Gambar 5. Hasil Interpretasi Kerapatan Vegetasi

Kerapatan vegetasi diperoleh dari hasil interpretasi visual pada citra satelit resolusi tinggi *GeoEye*. Interpretasi dilakukan dengan melihat adanya rona, pola, tekstur dan bentuk. Vegetasi kerapatan tinggi memiliki rona hijau gelap, pola mengelompok, tekstur kasar dan bentuk melingkar/menggerombol. Vegetasi dengan tingkat kerapatan tinggi dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.

2. Identifikasi Mulut Goa

Citra penginderaan jauh tidak dapat memberikan informasi mengenai lokasi mulut goa secara langsung, terutama untuk mulut goa dengan ukuran kecil. Sehingga perlu dilakukan deduksi dengan menggunakan beberapa parameter yang diinterpretasi. Interpretasi dilakukan dengan menggunakan kunci interpretasi. Kunci interpretasi yang digunakan dalam proses identifikasi mulut goa ini antara lain: Pola, Rona, Bentuk, Tekstur, Ukuran, Asosiasi, Situs dan Bayangan. parameter lain yang digunakan untuk mendukung proses identifikasi dalam penelitian ini antara lain adanya: kelurusan, pola aliran, morfologi dan kerapatan vegetasi.

Kunci interpretasi berupa pola pada citra resolusi tinggi *GeoEye* terlihat dengan adanya pengulangan bentuk kenampakan suatu obyek. Pola obyek di daerah kajian yang dapat teridentifikasi didominasi pola memanjang dan pola melingkar. Pola memanjang terlihat oleh adanya kenampakan berupa morfologi yang memanjang pada citra satelit, sedangkan pola melingkar terlihat oleh kenampakan morfologi atau vegetasi yang membentuk setengah lingkaran atau hampir menyerupai lingkaran/lingkaran tidak sempurna.

Kunci interpretasi berupa rona pada citra satelit merupakan pantulan warna yang dapat diinterpretasi secara langsung. Penyebutan rona dilakukan dengan mengkombinasikan antara warna dengan rona (derajat keabuan). Terdapat beberapa rona yang dapat digunakan untuk menentukan lokasi mulut gua, antara lain: Hijau Gelap, Hijau Agak Gelap dan Coklat Gelap.

Berdasarkan hasil interpretasi rona hijau gelap merupakan penciri adanya kelompok vegetasi dengan tingkat kerapatan tinggi. Setelah dilakukan survei lapangan diketahui vegetasi dengan kerapatan tinggi didominasi oleh pohon melinjo, bambu dan mahoni.

Kunci interpretasi berupa bentuk pada citra resolusi tinggi *GeoEye* untuk identifikasi lokasi

mulut goa mengacu ke bentuk secara umum. Bentuk mulut goa yang dapat teridentifikasi antara lain berbentuk: lingkaran, lonjong, persegi, persegi panjang dan setengah lingkaran.

Kunci interpretasi berupa tekstur pada citra resolusi tinggi *GeoEye* mengacu pada tekstur vegetasi yang ada di daerah penelitian. Tekstur dalam proses identifikasi mulut goa ini dibedakan menjadi 3 (tiga) kelas yakni: tekstur halus, tekstur sedang dan tekstur kasar. Tekstur tidak dapat digunakan sebagai indikator tunggal karena lokasi mulut goa tidak memiliki kecenderungan pada satu tekstur saja.

Kunci interpretasi berupa ukuran yang teridentifikasi pada citra bersifat relatif tergantung pada skala yang digunakan, sehingga identifikasi ukuran dilakukan dengan menggunakan skala yang sama. Berdasarkan identifikasi pada skala 1 : 3.000 terdapat 3 (tiga) ukuran yakni: besar, sedang dan kecil.

Kunci interpretasi berupa asosiasi dapat diinterpretasi pada citra satelit berupa kedekatan suatu obyek yang dianggap sebagai mulut goa dengan tebing atau obyek lainnya. Kunci interpretasi berupa situs dan bayangan kurang digunakan dalam penelitian ini karena dengan kunci interpretasi lain dapat ditentukan lokasi perkiraan mulut goa.

3. Analisis Hasil Identifikasi Mulut Goa

a. Analisis Kemudahan Interpretasi

Interpretasi lokasi mulut goa dengan menggunakan beberapa kunci interpretasi berupa pola, rona, bentuk, tekstur, ukuran, asosiasi, situs, bayangan kelurusan, pola aliran dan pola vegetasi memiliki tingkat kemudahan dalam prosesnya. Tingkat kemudahan ini dibedakan menjadi 5 (lima) kelas yakni: Sangat Mudah, Cukup Mudah, Mudah, cukup Sulit. Penentuan ini bersifat relatif.

Kriteria penentuan tingkat kemudahan interpretasi adalah sebagai berikut:

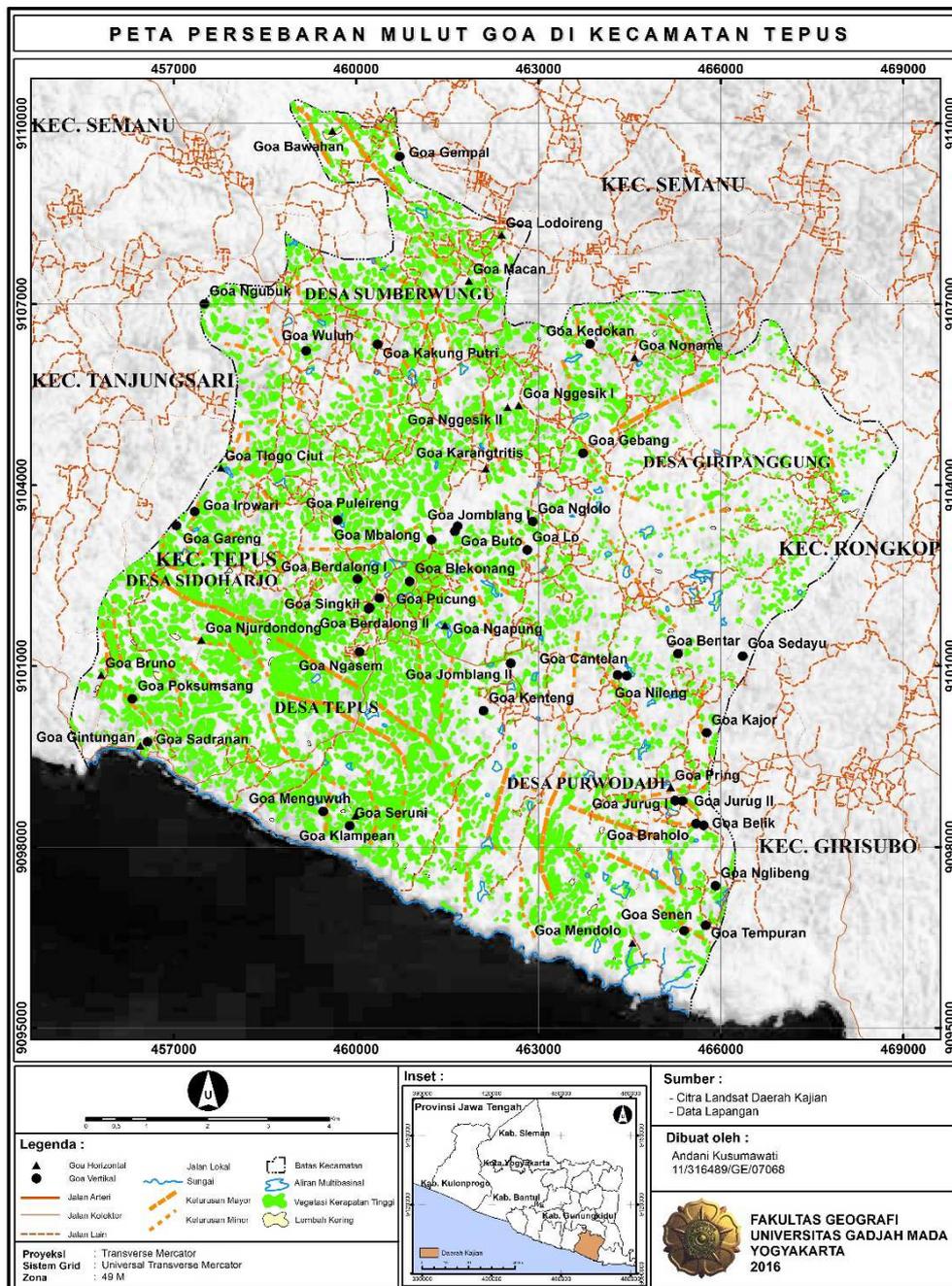
- 1. Sangat mudah:** tergolong sangat mudah apabila dalam proses penentuan lokasi mulut goa menggunakan sedikit kunci interpretasi.
- 2. Cukup mudah:** tergolong cukup mudah apabila dalam proses penentuan lokasi mulut goa menggunakan beberapa kunci interpretasi dapat menentukan lokasi mulut goa. Sebagai contoh dengan menggunakan rona, bentuk dan ukuran.
- 3. Mudah:** tergolong mudah apabila dalam proses penentuan lokasi mulut goa menggunakan sedikit parameter berupa kunci

interpretasi atau parameter parameter karakteristik lahan. Sebagai contoh dengan menggunakan rona, bentuk dan pola aliran.

4. **Cukup sulit:** tergolong cukup sulit apabila dalam proses penentuan lokasi mulut goa memerlukan cukup banyak kunci interpretasi dan karakteristik lahan. Sebagai contoh dengan melihat rona, bentuk, ukuran, pola aliran dan kerapatan vegetasi.
5. **Sangat sulit:** tergolong sangat sulit apabila dalam proses penentuan lokasi mulut goa memerlukan banyak kunci interpretasi dan karakteristik lahan sebagai bahan untuk pertimbangan. Sebagai contoh menggunakan pola, rona, bentuk, ukuran, asosiasi,

bayangan, pola aliran, pola vegetasi dan kelurusan.

Berdasarkan 67 titik duga yang teridentifikasi sebagai lokasi mulut goa terdapat: 16 (enam belas) titik duga berupa mulut goa yang termasuk ke dalam kelas sangat mudah diinterpretasi, 14 (empat belas) titik duga berupa mulut goa yang termasuk ke dalam kelas cukup mudah diinterpretasi, 14 (empat belas) titik duga berupa mulut goa yang termasuk ke dalam kelas mudah diinterpretasi, 16 (enam belas) titik duga berupa mulut goa yang termasuk ke dalam kelas cukup sulit diinterpretasi, dan 7 (tujuh) titik duga berupa mulut goa yang termasuk ke dalam kelas sangat sulit diinterpretasi.

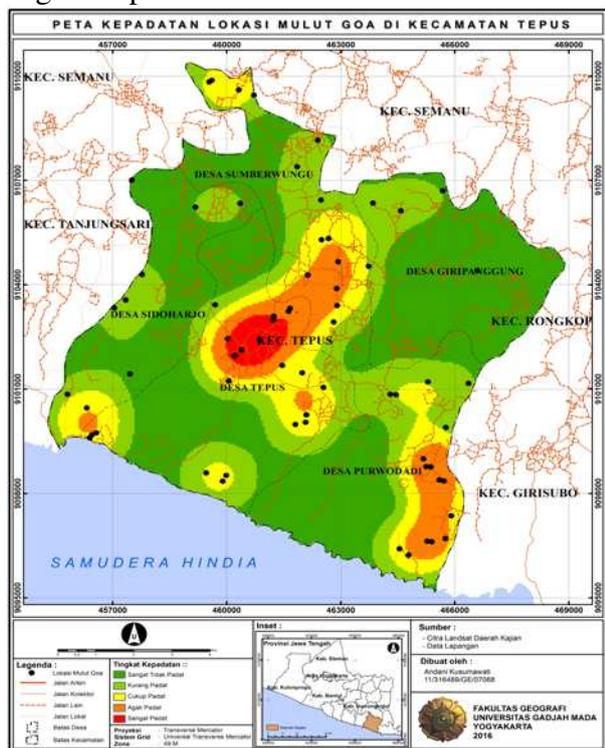


Gambar 6. Peta Persebaran Lokasi Mulut Goa

Berdasarkan hasil identifikasi lokasi mulut goa di lapangan dapat dipetakan menjadi Peta Persebaran Mulut Goa seperti pada gambar 5.30 di atas. Pola persebaran mulut goa yang terdapat di kawasan karst Kecamatan Tepus ini tergolong menyebar. Pola mengelompok ditemui bagian tengah dan timur kecamatan ini. Pola persebaran mulut goa ini dipengaruhi oleh parameter identifikasi mulut goa, dimana pada bagian tengah kecamatan ini tingkat kerapatan vegetasi tinggi dengan banyaknya kelurusan. Sementara untuk bagian timur memiliki tingkat kerapatan yang cukup tinggi ditambah dengan banyaknya kelurusan dan aliran permukaan.

b. Analisis Pola Persebaran Kepadatan Lokasi Mulut Goa.

Analisis pola persebaran kepadatan lokasi mulut goa ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kepadatan.



Gambar 7. Peta Kepadatan Lokasi Mulut Goa

Analisis pola kepadatan lokasi mulut goa ini dilakukan dengan menggunakan *kernel density*. *Kernel Density* merupakan salah satu formula statistik non parametrik untuk mengestimasi kepadatan yang diaplikasikan pada SIG. Pada prinsipnya fungsi matematika dalam perhitungan *kernel density* bertujuan untuk mengestimasi persebaran intensitas suatu titik dalam bidang dengan radius tertentu.

Berdasarkan hasil visualisasi data hasil *kernel density* yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kepadatan lokasi mulut goa di

Kecamatan Tepus seperti gambar 7 di atas. Kepadatan persebaran lokasi mulut goa tertinggi berada pada Desa Tepus, Kecamatan Tepus ini dengan diberi simbol area berwarna merah. Lokasi dengan tingkat kepadatan tertinggi kedua berada pada Desa Purwodadi yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Girisubo. Sebagaimana besar wilayah Kecamatan Tepus ini memiliki tingkat kepadatan lokasi mulut goa yang tergolong tidak padat hingga sangat tidak padat.

4. Uji Ketelitian Hasil Identifikasi

Uji ketelitian hasil identifikasi dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kemampuan penginderaan jauh untuk identifikasi lokasi mulut goa di daerah kajian. Uji ketelitian dilakukan dengan membandingkan hasil interpretasi citra penginderaan jauh dengan hasil identifikasi di lapangan. Uji ketelitian tersebut dinyatakan dalam bentuk prosentase.

Hasil interpretasi citra yang diperoleh 67 obyek yang dianggap sebagai lokasi mulut goa. Pengecekan di lapangan hanya dilakukan pada 61 sampel. Setelah dilakukan identifikasi di lapangan diketahui 8 diantaranya bukan mulut goa, melainkan hanya tebing dan vegetasi kerapatan tinggi. Oleh karena itu dalam proses identifikasi ini tidak dapat hanya menggunakan satu parameter saja.

Uji tingkat ketelitian dengan cara membandingkan prediksi lokasi yang benar dengan jumlah sampel kemudian dikalikan 100%, maka tingkat ketelitian sebesar 86.88 %. Berdasarkan kategori tingkat ketelitian >80 % tergolong baik sehingga teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian mulut goa di Kecamatan Tepus.

Tabel 1. Matriks Hasil Identifikasi Mulut Goa

Kode	Hasil Interpretasi				Hasil Survei Lapangan		Keterangan
	Kelurusan	Pola Aliran	Kerapatan Vegetasi	Morfologi	Mulut Goa	Bukan Mulut Goa	
SW 01			v	v		v	Cerukan
SW 02			v	v	v		Goa Bawah
SW 03	v		v		v		Goa Sempal
SW 04			v		v		Goa Macan
SW 06			v		v		Goa Karangtritis
SW 07			v		v		Goa Nggelik I
SW 08			v		v		Goa Nggelik II
SW 09			v			v	Rekahan Tebing
SW 10	v		v		v		Goa Gebang
SW 11			v			v	Ladang
SW 12			v		v		Goa Ngelolo
SW 13	v				v		Goa Lo
SW 14			v			v	Tebing
SW 15			v		v		Goa Lodoireng
SD 01			v		v		Goa Nggubuk
SD 02			v		v		Goa Wuluh
SD 03	v		v		v		Goa Kakung Putri
SD 04	v				v		Goa Irowari
SD 05	v		v		v		Goa Poksumsang
SD 06	v		v	v	v		Goa Tlogociut
SD 07	v		v		v		Goa Bruno

Lanjutan Tabel 1.

Kode	Hasil Interpretasi				Hasil Survei Lapangan		
	Kelurusan	Pola Aliran	Kerapatan Vegetasi	Morfologi	Mulut Goa	Bukan Mulut Goa	Keterangan
SD 08			v		v		Goa Gareng
SD 09	v		v		v		Goa Njurondong
GP 01			v	v	v		Goa Kedokan
GP 03			v		v		Goa Noname
PW 01			v	v	v		Goa Bentar
PW 02			v		v		Goa Sedayu
PW 03	v		v		v		Goa Nileng
PW 04			v	v	v		Goa Cantelan
PW 05	v		v		v		Goa Kajor
PW 06	v		v	v	v		Goa Pring
PW 07			v		v		Goa Jurug I
PW 08	v		v		v		Goa Jurug II
PW 09	v		v		v		Goa Belik
PW 10			v		v		Goa Tempuran
PW 11			v		v		Goa Nglibeng
PW 12			v		v		Goa Braholo
PW 13	v		v		v		Goa Senen
PW 14	v		v	v		v	Sumber Mata Air
PW 15		v	v			v	Sumber Mata Air
PW 16		v	v		v		Goa Mendolo
TP 01			v		v		Goa Puleireng
TP 02			v		v		Goa Mbalong
TP 03			v		v		Goa Buto
TP 04			v		v		Goa Jomblang I
TP 06			v		v		Goa Blekonang
TP 07			v	v	v		Goa Ngapung
TP 08			v		v		Goa Berdalong II
TP 09			v		v		Goa Pucung
TP 10			v		v		Goa Berdalong I
TP 11			v	v	v		Goa Singkil
TP 13			v		v		Goa Ngasem
TP 14			v		v		Goa Jomblang II
TP 15			v		v		Goa Kenteng
TP 16			v			v	Ladang
TP 18			v		v		Goa Klampean
TP 19			v		v		Goa Seruni
TP 20	v		v		v		Goa Menguwuh
TP 21			v			v	Ladang
TP 22			v		v		Goa Gintungan
TP 23			v		v		Goa Sadranan

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dari penelitian ini, yaitu:

1. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk melakukan identifikasi kejadian mulut goa di kawasan karst dengan menggunakan parameter karakteristik lahan, berupa kelurusan, pola aliran permukaan dan kerapatan vegetasi.
2. Pola persebaran mulut goa yang terdapat di kawasan karst Kecamatan Tepus ini tergolong menyebar. Pola mengelompok ditemui bagian tengah dan timur kecamatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ford, C and Williams, W 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chapman and Hall, London
- Rahmad, C. (2007). Ekosistem Karst dan Gua, Disampaikan dalam Pelatihan Kader Lingkungan oleh KAPEDAL Gunungkidul, Wonosari. Bidang Zoologi, Cibinong : LIPI
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sutanto, 1999. *Penginderaan Jauh, Jilid 1*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta