

PERAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH UNTUK KAJIAN DESERTIFIKASI BATUAN KARST

Eko Budiyanto

Jurusan Pendidikan Geografi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Surabaya
Kampus Ketintang, Jl. Ketintang Surabaya

Abstrak : Desertifikasi batuan karst merupakan suatu proses dimana tanah penutup lahan karst tererosi dengan kuat baik dalam bentuk erosi permukaan ataupun erosi pelarutan (*dissolve erosion*) serta berbagai aktivitas pemanfaatan lahan karst yang berlebihan, sehingga batuan dasarnya tersingkap. Akibat dari desertifikasi batuan pada lahan karst ini adalah semakin luasnya singkapan batuan dasar, penurunan produktifitas lahan, dan perubahan bentang lahan menjadi seperti gurun. Data penginderaan jauh memiliki potensi untuk kajian desertifikasi batuan pada lahan karst. Cakupan perekaman citra yang luas, banyaknya saluran perekaman dan periode ulang perekaman yang cepat memungkinkan proses monitoring terhadap lingkungan karst yang akurat dan intensif. Tulisan ini bertujuan untuk mengulas tentang pemantauan proses desertifikasi batuan karst dengan teknologi penginderaan jauh. metode yang digunakan dalam ulasan ini telaah terhadap pustaka yang bersumber dari penelitian terkait.

Kata Kunci : Desertifikasi batuan karst, Penginderaan jauh

PANTAUAN LINGKUNGAN KARST

Kawasan karst Indonesia merupakan satu bagian dari kawasan karst dunia dan telah ditetapkan sebagai kawasan lindung geologi oleh pemerintah Indonesia sejak tahun 2004 (Samodra, 2005). Secara eksplisit perlindungan kawasan karst tersebut selanjutnya dinyatakan pada Peraturan Pemerintah nomor 26 tahun 2008 pasal 60 ayat 2 huruf f. Peraturan Pemerintah tersebut selanjutnya dioperasionalkan dengan peraturan menteri energi dan sumberdaya mineral nomor 17 tahun 2012 tentang penetapan kawasan bentang alam karst. Peraturan menteri ini merupakan revisi dari dari keputusan menteri nomor 1456k tahun 2000 tentang pedoman pengelolaan kawasan

karst. Walaupun telah ditetapkan sebagai kawasan lindung, namun sebagian besar kawasan karst Indonesia telah lama menjadi wilayah pemukiman penduduk dengan berbagai aktifitasnya seperti pertanian, peternakan, dan pertambangan. Pertumbuhan penduduk terus terjadi sehingga jumlah penduduk yang tinggal menetap di wilayah karst tersebut terus bertambah. Tulisan ini bertujuan untuk mengulas tentang pemantauan proses desertifikasi batuan karst dengan teknologi penginderaan jauh. Telaah pustaka terhadap penelitian terkait merupakan metode yang digunakan dalam ulasan ini.

Karst memiliki sifat yang sangat rentan terhadap berbagai gangguan alami

ataupun manusia (van Beynen dan Townsend, 2005; Calo dan Parise, 2006; de Waele, 2008; Parise, 2008; Brinkmann dan Jo Garren, 2011). Satu bentuk degradasi lahan karst akibat gangguan alami ataupun manusia adalah desertifikasi batuan karst (*rocky desertification*). Rocky desertification adalah satu jenis desertifikasi yang paling utama terjadi pada daerah karst (Li dkk, 2009). Desertifikasi batuan merupakan suatu proses dimana tanah penutup lahan karst tererosi dengan kuat baik dalam bentuk erosi permukaan ataupun erosi pelarutan (*dissolve erosion*) (Yang dkk, 2011) serta berbagai aktivitas pemanfaatan lahan karst yang berlebihan, sehingga batuan dasarnya tersingkap (Huang dan Cai, 2009; Xiong dkk, 2009). Akibat dari desertifikasi batuan pada lahan karst ini adalah semakin luasnya singkapan batuan dasar, penurunan produktifitas lahan, dan perubahan bentang lahan menjadi seperti gurun (Zhang dkk, 2011).

Aktivitas manusia di lingkungan karst memberikan pengaruh yang kuat terhadap percepatan proses desertifikasi batuan (*rocky desertification*) (Xiong, 2009; Yang, 2011), yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada ekosistem karst tersebut. Huang dan Cai (2007) menyebutkan bahwa tidak banyak lahan karst yang telah terdegradasi oleh proses desertifikasi ini dapat dipulihkan menjadi lahan tak terdegradasi. Pada proses selanjutnya pengelolaan lahan karst menjadi sangat sulit

ketika pada wilayah tersebut telah mengalami urbanisasi yang berlebihan dan pemanfaatan teknologi-teknologi pertanian tingkat lanjut (Parise dan Pascali, 2003).

Mengingat karakteristik lahan karst yang yang rentan terhadap berbagai gangguan alami ataupun aktivitas manusia, semakin meningkatnya potensi gangguan lingkungan karst terutama oleh aktivitas manusia, serta bahaya yang ditimbulkan oleh proses desertifikasi batuan pada lahan karst diperlukan upaya pencegahan dan pengendalian terhadap proses tersebut. Informasi yang cepat dan akurat mengenai kemungkinan keberadaan, perkembangan dan sebaran proses desertifikasi batuan pada suatu lahan karst sangat dibutuhkan untuk upaya pencegahan dan pengendalian tersebut (De Waele, 2008). Salah satu metode perolehan informasi yang dapat dilakukan dengan cepat dan akurat adalah menggunakan data penginderaan jauh.

DESERTIFIKASI BATUAN KARST

Desertifikasi batuan karst (*karst rock desertification*) merupakan suatu proses yang mengubah bentang lahan karst bertutupan vegetasi dan tanah menjadi bentang lahan berbatuan tanpa vegetasi dan tanah sama sekali (Daoxian dan Guilin, 1997). Desertifikasi batuan karst ini adalah satu bentuk degradasi lingkungan yang terutama terjadi pada lahan karst. Proses desertifikasi batuan diakibatkan oleh pemanfaatan lahan karst yang berlebihan dan adanya erosi kuat

yang mengikis tanah penutup batuan karst sehingga batuan dasarnya tersingkap ke permukaan secara luas (Shijie dkk, 2002; Huang dan Cai, 2007; Xiuqin, 2011).

Desertifikasi batuan merupakan suatu proses hasil interaksi antara kondisi geologi, geomorfologi, curah hujan, temperatur, vegetasi penutup, tanah dan aktifitas manusia (Yansui dkk, 2009; Ji dan Xie, 2011). Karakteristik batuan karbonat pada kawasan karst mendasari terjadinya proses desertifikasi batuan karst (Sunkar, 2008). Batuan karbonat yang mudah terlarutkan oleh air hujan membentuk morfologi eksokarst maupun endokarst berupa celah, rekah, dan lorong. Lapisan tanah pada kawasan karst yang tipis dapat tererosi bersamaan dengan aliran air hujan yang masuk ke dalam celah, rekah dan lorong tersebut.

Curah hujan memberikan pengaruh langsung terhadap kejadian erosi pada tanah penutup lahan karst. Xiong dkk (2009) menjelaskan adanya korelasi positif antara peningkatan curah hujan dan temperatur dengan desertifikasi batuan. Erosi tanah akan meningkat pada curah hujan dengan intensitas yang semakin tinggi. Kemampuan air hujan mengerosi tanah ini semakin kuat dengan semakin jaranginya vegetasi penutup tanah tersebut.

Temperatur memberikan pengaruh terhadap kelembaban tanah, dimana kelembaban tanah akan berkurang dengan semakin tingginya temperatur. Kenaikan

temperatur juga akan meningkatkan evapotranspirasi pada vegetasi penutup lahan karst. Penurunan kelembaban tanah dan peningkatan evapotranspirasi akan mengarah pada kekeringan lahan karst. Peningkatan kekeringan hingga ambang batas tertentu dapat mengakibatkan kematian vegetasi penutup yang ada pada lahan karst.

Temperatur bersama-sama dengan hujan memberikan pengaruh terhadap kecepatan pelarutan batuan karbonat (Ford dan Williams, 2007; Xiong, 2009). Pada temperatur rendah, variasi curah hujan tidak banyak memberikan efek pada variasi tingkat pelarutan karst. Tingkat pelarutan batuan karbonat oleh curah hujan meningkat pada temperatur 16 hingga 20°C. Intensitas pelarutan pada batuan karst ini akan memperlebar celah dan rekah yang memungkinkan pengangkutan massa tanah yang semakin cepat.

Faktor manusia yang memberikan pengaruh pada terjadinya desertifikasi batuan lahan karst ini adalah tekanan pertumbuhan jumlah penduduk dan berbagai aktifitas eksploitasi terhadap lahan karst yang melebihi kemampuan dan daya dukung karst tersebut (Sijhie dkk, 2002; Ford dan Williams, 2007; Huang dkk, 2012). Yang dkk (2009) melaporkan bahwa faktor antropogenik seperti aktivitas manusia dan penggunaan lahan menjadi faktor pemicu yang lebih dominan dibandingkan dengan faktor lain dalam proses desertifikasi batuan karst.

Aktifitas manusia seperti penambangan, penebangan hutan, dan pertanian pada lahan karst dapat mempercepat proses desertifikasi lahan karst. Penambangan di wilayah karst ini biasanya mengambil batu gamping hingga mencapai lapisan zona vadose. Penggalan batu gamping seperti pada bukit-bukit karst akan menghilangkan zona epikart yang sangat penting sebagai lapisan penangkap air. Hilangnya zona epikart ini tentu saja akan mematikan imbuhan air ke dalam lorong-lorong konduktif atau sungai-sungai bawah tanah. Air tidak dapat teresapkan ke dalam jaringan sungai bawah tanah tersebut. Air akan melimpas di permukaan dan dapat membentuk air larian dengan volume yang besar dan banjir. Akibatnya tentu adalah matinya sungai-sungai bawah tanah, matinya mata air di kawasan karst, peningkatan erosi pada tanah penutup, serta potensi bencana banjir pada saat hujan. Penelitian yang dilakukan oleh Risyanto dkk (2001) menyebutkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat penambangan dolomit meliputi perubahan relief, ketidakstabilan lereng, kerusakan tanah, terjadinya perubahan tata air permukaan dan bawah permukaan, hilangnya vegetasi penutup, perubahan flora dan fauna, meningkatnya kadar debu dan kebisingan.

Penebangan hutan (deforestasi) pada wilayah karst telah terbukti menjadi penyebab awal terjadinya desertifikasi batuan seperti dilaporkan oleh Sunkar (2008) di

karst Gunungsewu, Yansui dkk (2008) di wilayah otonomi Guangxi Zhuang, Xiong dkk (2009) di wilayah Yongshun County dan Li dkk (2009) di area karst Zhudong. Penebangan hutan ataupun perubahan fungsi hutan menjadi lahan pertanian dan lain-lain, mengubah kerapatan tutupan vegetasi pada lahan karst. Air hujan akan dengan mudah mencapai permukaan tanah karena hilangnya vegetasi penutup. Ketika vegetasi penutup tanah pada lahan karst telah hilang, maka proses kehilangan tanah akan tidak terhindarkan (White, 1988). Peran penting vegetasi penutup pada lahan karst seperti disebutkan oleh Xiong dkk (2009) yaitu: 1) sebagai penangkap air hujan dan meresapkannya ke dalam tanah, 2) mencegah butiran air hujan langsung mengenai permukaan tanah sehingga mengurangi erosi percik (*splash erosion*) yang ditimbulkan oleh air hujan tersebut. Tingginya kemampuan sistem pengatur pada karst meloloskan butiran tanah ketika terjadi aliran air melalui celah dan rekah yang ada serta kondisi solum tanah yang tipis mengakibatkan erosi kuat pada lapisan tanah penutup batuan karst saat terjadi hujan (White, 1988; Ford dan Williams, 2007).

Pertanian yang dilaksanakan masyarakat pada lahan karst biasanya dilakukan pada lembah-lembah karst atau pada lereng-lereng bukit karst dengan membuat teras. Proses pengemburan tanah selama masa pertanaman akan meningkatkan kemampuan pengangkutan butir tanah oleh

air hujan melalui berbagai rekah dan celah yang ada (Yang dkk, 2011). Massa tanah akan tererosi masuk ke dalam akuifer karst melalui imbuhan-imbuhan autogenik, pori makro batuan karst dan jalur-jalur masuk pada doline (Coxon, 2011). Akibat erosi tersebut ketebalan solum pada permukaan karst terus menipis.

Proses desertifikasi batuan pada lahan karst akan memberikan dampak hilangnya vegetasi dan tanah penutup, serta tersingkapnya batuan dasar ke permukaan. Pada kondisi tersebut, produktifitas lahan akan menurun bahkan hilang sama sekali (Zhang dkk, 2011). Dampak selanjutnya adalah terjadinya penurunan taraf hidup masyarakat wilayah karst tersebut. Desertifikasi batuan pada lahan karst juga memberikan pengaruh terhadap kondisi dan kualitas air bawah tanah. Deng dan Jiang (2011) melaporkan bahwa dampak desertifikasi batuan mengakibatkan aliran yang kecil dan tidak tetap pada mata air epikarst, sensitivitas yang tinggi terhadap curah hujan pada mata air epikarst, serta kondisi air menjadi kotor.

PENGINDERAAN JAUH UNTUK DESERTIFIKASI BATUAN KARST

Data penginderaan jauh memiliki potensi untuk kajian desertifikasi batuan pada lahan karst. Cakupan perekaman citra yang luas, banyaknya saluran perekaman dan periode ulang perekaman yang cepat memungkinkan proses monitoring terhadap

lingkungan karst yang akurat dan intensif. Pemanfaatan data penginderaan jauh dalam kaitannya dengan desertifikasi batuan lahan karst pada saat ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Huang dan Cai (2007, 2009), Liu dkk (2008), Yue dkk (2008, 2009), Li dkk (2009), Xiong dkk (2009), dan Zhang dkk (2011).

Penilaian desertifikasi batuan melalui metode klasifikasi dan interpretasi multispektral pada data citra Landsat TM, Landsat ETM+ dilakukan oleh Liu dkk (2008), Xiong dkk (2009), dan Zhang dkk (2011). Metode klasifikasi dan interpretasi yang sama pada data citra ASTER dilakukan oleh Li dkk (2009). Beberapa peneliti tersebut memadukan data citra dengan berbagai data non citra untuk memperoleh informasi penggurunbatuan pada lahan karst.

Metode lain dikembangkan oleh Huang dan Cai (2009) dan Yue dkk (2009) dengan mendasarkan pada model transformasi spektral citra. Model transformasi NDRI (*Normalized Difference Rock Index*) dikembangkan oleh Huang dan Cai (2009) untuk membedakan lahan karst berpenutupan vegetasi dan singkapan batuan. Model transformasi ini merupakan model transformasi yang serupa dengan NDVI(NDRI) dengan berbasiskan pada citra Landsat TM. Model transformasi ini dapat digunakan dengan baik untuk mempetakan singkapan batuan karst, namun tidak secara langsung mengindikasikan tingkat

desertifikasi batuan yang terjadi pada lahan karst.

Model transformasi yang lebih ditujukan pada desertifikasi batuan pada lahan karst adalah *Karst Rocky Desertification Synthesis Index / KRDSI* (Yue dkk, 2009). KRDSI ini dapat digunakan dengan baik untuk memetakan desertifikasi batuan pada lahan karst. Model ini mendasarkan pada julat gelombang pendek (SWIR) dan hanya diaplikasikan pada citra hiperspektral.

Penajaman informasi yang terkandung pada sebuah citra dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode transformasi citra (Mather, 2004). Transformasi citra pada umumnya dirancang untuk meningkatkan kemampuan analisis kuantitatif citra dan untuk menyederhanakan penajaman berbagai informasi yang terdapat pada citra penginderaan jauh (Schowengerdt, 2007). Transformasi citra ini dilakukan dengan operasi aljabar piksel citra dan disusun dengan berdasarkan pada prinsip-prinsip fisik dan spektral yang selanjutnya disebut dengan indek spektral (Gao, 2009). Liang (2004) mengelompokkan indek-indeks spektral tersebut menjadi indek-indeks multispektral dan indek-indeks hiperspektral yang tergantung pada jumlah saluran dan rentang panjang gelombang yang digunakan.

Citra turunan dari hasil proses transformasi akan memiliki data yang lebih sesuai untuk tujuan tertentu yang diinginkan dari pada citra aslinya. Informasi yang

dihasilkan melalui transformasi citra lebih obyektif dibandingkan dengan metode klasifikasi tradisional. Informasi yang dihasilkan dari metode klasifikasi tradisional sangat tergantung dari pengalaman dan keahlian interpreter serta tujuan klasifikasinya (Huang dan Cai, 2009). Cara terbaik untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas informasi yang diturunkan dari citra adalah dengan menerapkan model fisik yang menghubungkan nilai spektroskopis dan sifat optis dari obyek-obyek yang diketahui (Adam dan Gillespie, 2006).

APLIKASI PENILAIAN GEJALA DESERTIFIKASI BATUAN KARST BERBASIS PENGINDERAAN JAUH

Penginderaan jauh memiliki kemampuan merekam permukaan bumi area yang luas dalam satu waktu perekaman. Kemampuan ini bermanfaat dalam berbagai kajian pada wilayah karst yang sering sulit dijangkau secara terestrial. Penginderaan jauh telah berkembang tidak hanya sebagai fenomena teknis, tetapi telah menjadi bagian penting dalam memahami perubahan lingkungan (Adams dan Gillespie, 2006). Aplikasi penginderaan jauh untuk kajian karst khususnya terkait desertifikasi batuan karst telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Qiwei dkk (2003), Yue dkk (2008, 2009, 2012), Yansui dkk (2008), Xu dkk (2009), Huang dan Cai (2009), Li dkk (2009), Xiong dkk (2009), Yang dkk (2009), Zhang dkk (2009), Newman dkk (2011).

Pemanfaatan teknik dan data penginderaan jauh dalam berbagai penelitian tersebut digunakan untuk mengidentifikasi sebaran spasial dan tingkat desertifikasi batuan karst yang terjadi pada daerah penelitian. Metode yang digunakan sebagian besar adalah metode interpretasi visual dan klasifikasi beracuan.

Yansui dkk (2008), Li dkk (2009), Yang dkk (2009) memanfaatkan teknik interpretasi visual berbantuan komputer (*onscreen*) untuk

menentukan tingkat desertifikasi batuan karst. Interpretasi dibantu dengan studi lapangan untuk memperoleh gambaran tentang kondisi desertifikasi yang terjadi di lapangan. Area yang mengalami desertifikasi batuan diidentifikasi dengan mengacu pada indikator prosentase luas tutupan vegetasi, tanah terbuka, singkapan batuan, dan kemiringan lereng. Tabel 1 berikut menunjukkan klasifikasi tingkat desertifikasi batuan yang digunakan dalam interpretasi.

Tabel 1. Kriteria Desertifikasi Batuan Karst

Tingkat Desertifikasi	Tutupan Vegetasi (%)	Singkapan Batuan (%)	Kemiringan Lereng (°)
Tidak Terdesertifikasi	> 60	<30	< 15
Ringan	40 – 60	30 – 50	15 – 20
Sedang	20 - 40	50 – 70	21 - 25
Berat	< 20	>70	>25

Li dkk (2009) melakukan analisis sebaran spasial desertifikasi batuan karst dikaitkan dengan penggunaan lahan yang ada. Analisis ini secara garis besar menyimpulkan bahwa desertifikasi batuan karst terutama berasal dari adanya aktifitas perusakan hutan. Sejalan dengan hal tersebut, Yang dkk (2009) menyimpulkan bahwa faktor dominan penyebab terjadinya desertifikasi batuan karst adalah berbagai aktifitas manusia dilingkungan karst tersebut.

Metode klasifikasi beracuan dilakukan oleh Xiong dkk (2009) untuk menentukan area terdesertifikasi. Segmentasi terlebih dahulu dilakukan

untuk menentukan piksel area karst terdesertifikasi dan tidak terdesertifikasi. Piksel area karst yang mengalami desertifikasi batuan selanjutnya diklasifikasi beracuan untuk menentukan tingkat desertifikasi yang terjadi pada area tersebut. Studi yang dilakukan oleh Xiong dkk (2009) ini memberikan kesimpulan bahwa desertifikasi batuan karst di daerah penelitiannya menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan peningkatan intensitas hujan dan temperatur.

Zhang dkk (2011) memanfaatkan data Landsat TM sebagai sumber data tutupan hutan dan penggunaan lahan

dengan menggunakan analisis NDVI dan klasifikasi beracuan. Informasi-informasi tersebut selanjutnya di analisis bersama dengan data-data lain menggunakan model *radial basis function network (RBFN)*. Hasil analisis RBFN di daerah penelitian menunjukkan bahwa desertifikasi batuan karst berkaitan erat dengan kepadatan penduduknya. Area karst yang terdesertifikasi kuat tersebar pada wilayah-wilayah yang memiliki tingkat kepadatan penduduk tinggi.

Pengembangan metode penginderaan jauh untuk penilaian desertifikasi batuan dilakukan oleh Yue dkk (2008, 2009, 2012) dan Huang dan Cai (2009). Metode yang dikembangkan menghasilkan indeks spektral yang dapat digunakan untuk pemetaan singkapan batuan karst yang ditujukan pada penilaian tingkat desertifikasi batuan karst. Model *AutoSWIR* dikembangkan oleh Yue dkk (2008) dengan mendasarkan pada karakteristik spektral tutupan vegetasi, tanah terbuka dan singkapan batuan pada julat spektral SWIR dari citra Hyperion. Model *AutoSWIR* ini dapat digunakan dengan baik untuk memetakan sebaran dan pola spasial desertifikasi batuan karst di China.

Yue dkk (2009) selanjutnya mengembangkan indeks *Karst Rocky Desertification Synthesis Index (KRDSI)* untuk penilaian tingkat desertifikasi batuan karst. Indeks KRDSI sepenuhnya menggunakan julat SWIR antara 2100nm hingga 2380nm. Indeks KRDSI dibangun dengan mendasarkan pada karakteristik spektral dari vegetasi, tanah terbuka dan batuan dasar. Menurut Yue dkk (2009), fraksional cover vegetasi, tanah terbuka dan singkapan batuan merupakan dasar penting dalam pencirian gejala proses desertifikasi batuan karst dari permukaan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa indeks KRDSI dapat digunakan dengan baik untuk memetakan fraksional tutupan lahan dan berkorelasi kuat dengan tingkat desertifikasi batuan karst.

Model NDVI-SMA digunakan Yue dkk (2012) untuk mengkuantifikasi fraksional cover tutupan vegetasi dan singkapan batuan dengan berbasis pada citra Hyperion dan ASTER. Dalam penelitian ini Yue dkk (2009) menyatakan bahwa indikator ekologi utama dari gejala desertifikasi batuan karst yang adalah tutupan vegetasi dan singkapan batuan dasar. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa model NDVI-SMA dapat digunakan dengan baik untuk penyadapan fraksional

tutupan vegetasi dan singkapan batuan dasar. Hasil analisis pada citra Hyperion menunjukkan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan citra ASTER.

Huang dan Cai (2009) membangun *Normalized Difference Rock Index (NDRI)* untuk memetakan sebaran singkapan batuan karst sebagai penciri area terdesertifikasi kuat. Indeks NDRI dibangun berdasar pada karakteristik spektral beberapa tutupan lahan pada band 3 dan band 5 citra Landsat TM. Fraksional tutupan lahan yang digunakan sebagai sampel adalah tutupan hutan bertajuk lebat, hutan bertajuk jarang, padang rumput, dan singkapan batuan karst. Persamaan indeks NDRI adalah sebagai berikut.

$$NDRI = (band\ 5 - band\ 3) / (band\ 5 + band\ 3)$$

Huang dan Cai (2009) menyimpulkan aplikasi NDRI dalam pemetaan singkapan batuan karst perlu dilakukan kombinasi dengan NDVI. Persamaan yang digunakan selanjutnya adalah sebagai berikut.

$$NDVI(NDRI) = NDRI - NDVI$$

Nilai NDVI(NDRI) selanjutnya diklasifikasikan dengan nilai digital 0 dan 254. NDVI(NDRI) bernilai positif

disimbolkan dengan nilai digital 254, dan NDVI(NDRI) bernilai negatif disimbolkan dengan nilai digital 0. Aplikasi NDVI(NDRI) menunjukkan hasil yang baik untuk memetakan singkapan batuan karst.

Zhou dan Ma (2012) mengembangkan *Index of Karst (IK)* dengan mendasarkan pada nilai kuantifikasi brightness, greenness, dan wetness dari citra Landsat ETM+ untuk menilai tingkat desertifikasi batuan karst. IK merupakan persamaan linear dengan memanfaatkan saluran pada citra Landsat ETM+. Parameter brightness merupakan total bobot kecerahan dari enam saluran citra Landsat ETM+. Parameter greenness merepresentasikan tingkat tutupan dan pertumbuhan vegetasi. Parameter wetness berkorelasi dengan tingkat kebasahan tanah. Analisis pada lahan karst terdesertifikasi menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif dari parameter brightness dengan IK, yang berarti terdapat peningkatan kecerahan pada singkapan-singkapan batuan karst. Nilai greenness dan wetness memiliki korelasi negatif dengan IK.

PENUTUP

Karst memiliki sifat yang sangat rentan terhadap berbagai gangguan alami

ataupun manusia. Satu bentuk degradasi lahan karst akibat gangguan alami ataupun manusia adalah desertifikasi batuan karst (*rocky desertification*). Desertifikasi batuan merupakan suatu proses dimana tanah penutup lahan karst tererosi dengan kuat baik dalam bentuk erosi permukaan ataupun erosi pelarutan (*dissolve erosion*) serta berbagai aktivitas pemanfaatan lahan karst yang berlebihan, sehingga batuan dasarnya tersingkap. Akibat dari desertifikasi batuan pada lahan karst ini adalah semakin luasnya singkapan batuan dasar, penurunan produktifitas lahan, dan perubahan bentang lahan menjadi seperti gurun.

Data penginderaan jauh memiliki potensi untuk kajian desertifikasi batuan pada lahan karst. Cakupan perekaman citra yang luas, banyaknya saluran perekaman dan periode ulang perekaman yang cepat memungkinkan proses monitoring terhadap lingkungan karst yang akurat dan intensif. Penginderaan jauh telah berkembang tidak hanya sebagai fenomena teknis, tetapi telah menjadi bagian penting dalam memahami perubahan lingkungan. Pemanfaatan teknik dan data penginderaan jauh dalam berbagai penelitian banyak digunakan untuk

mengidentifikasi sebaran spasial dan tingkat desertifikasi batuan karst yang terjadi. Metode yang digunakan sebagian besar adalah metode interpretasi visual dan klasifikasi beracuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, J.B., Gillespie, A.R., 2006. *Remote Sensing of Landscape with Spectral Images – A Physical Modeling Approach*. Cambridge University Press. New York.
- Adger, W.N., Brown, K., 2009. *Vulnerability and Resilience to Environment Change : Ecological and Social Perspective, A Companion to Environmental Geography*, Blackwell Science Ltd, Malden.
- Dinoi A., Perrone M.R., Burlizzi, P., 2010. *Application of Modis for Air Quality Studies Over Southeastern Italy*. Remote Sensing. 2. 1767-1796.
- Enger, E., D., Smith, B., F., 2009, *Environmental Science – A Study of Interrelationship*, Twelfth Edition, McGraw Hill, New York.
- Forte F., Strobl, R. G., Penneta, I. 2006. *A methodology using GIS, Aerial photos and remote sensing for loss estimation and flood vulnerability analysis in the Supersano-Ruffano-Nociglia Graben, Southern Italy*. Environ Geol. 50. 501-594.
- Ghulam A., Qin Q., Zhan Z., 2007. *Designing of the Perpendicular Drought Index*. Environ Geol. 52: p.

1045-1052. DOI 10.1007/s00254-006-0544-2

DOI:10.1016/B978-0-12-387692-8.00010-2

- Glenn, E., P., Nagler, P., L., Huete, A., R., *Vegetation Index Methode for Estimating Evapotranspiration by Remote Sensing*, *Surv Geophys.* 31:531-555. DOI 10.1007/s10712-010-9102-2
- Horning, N., Robinson, J.A., Sterling, E.J., Turner, W., Spector, S., 2010. *Remote Sensing for Ecology and Conservation*. Oxford University Press, New York.
- Huete, A.R, Glenn, E.P., 2011. *Remote Sensing of Ecosystem Structure and Function*, *Advance in Environment Remote Sensing*, p. 291. CRC Press. Boca Raton.
- Javed, A., Wani, M.H., 2009. *Delineation of groundwater potensial zones in Kakund Watersheed Eastern Rajashtan using remote sensing and GIS technology*. *Journal Geological Society of India.* 73. 229-236.
- Korosov, A.A., Pozdnyakov, D.V., Folkestad, A., Pettersson, L.H., Sorensen, K., Schuman, R., 2009. *Semi-empirical algorithm for retrieval of ecology-relevant water constituents in various aquativ environment*. *Algorithm.* 2. 470-497.
- Liang, S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surface*. John Willey & Sons Inc.. New Jersey.
- Miyazawa, Y., Yamazaki, T., Moriwaki, T., Takahashi, H., 2011, *Root Tropism: Its Mechanism and Possible Functions in Drought Avoidance*, *Advance in Botanical Research* Vol 57. P. 350- 368.
- Owringi M.A., Adamowski J., Ranemaei M., Mohammadzadeh A, Sharifan R.A., 2011. *Drought Monitoring Methodology Based on AVHRR Images and SPOT Vegetation Maps*. *Journal of Water Resource and Protection.* 3. p. 325-334. DOI: 10.4236/jwarp.2011.35041
- Patel, N.R., Parida, B.R., Venus, V., Saha, S.K., Dadhwal, V.K., 2011, *Analysis of Agricultural drought Using Vegetation Temperatur Condition Index (VTCI) from Terra/MODIS Satellite Data*, *Environ Monit Asses*, DOI: 10.1007/s10661-011-2487-7
- Rao P.P.N., Shobha S.V., Ramesh, K.S., Somashekhar R.K., 2005. *Satellite-Based Assessment of Agricultural Drought in Karnataka State*. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing.* Vol. 33. No. 3.
- Reed, B.C., Brown, J.F., Loveland, T.R., 2002. *Geographic Data for Environmental Modelling and Assessment*. Taylor & Francis, Routledge.
- Wang, J., Xu, R., Yang, S., *Estimation of plant water content by spectral absorption features centered at 1,450 nm and 1,940 nm region*, *Environ Monit Asses.* 157:459-469. DOI 10.107/s10661-008-0548-3.
- Weng, Q., Yang, S., 2006. *Urban Air Pollution Patterns, land Use, and Thermal Landscape: an Examination of The Linkage using GIS*. *Environment Monitoring and*

Assesment. 117: 463-489. Doi:
10.1007/s10661-006-0888-9

Wibowo, A., Ratnasari, D., Sukojo, B.,
M., Harianto, T., Djajadihardja,
Y., S., *Ekstraksi kandungan air
kanopi daun tanaman padi dengan
data hyperspektral*, Jurnal Ilmiah
Geomatika Vol 16. P. 21-32.

Wong, M.S., Nichol, J., 2011. *Remote
sensing of aerosol from space: a
review of aerosol retrieval using
Moderate-Resolution Imaging
Spectroradiometer*. Advance in
Environmental Remote Sensing, p.
423 - 438. CRC Press. Boca Raton.