

PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN LINGKUNGAN PERTAMBANGAN, SUATU TINJAUAN

Suwarsono dan Indah Prasasti

Abstract

Indonesia is a country rich in energy and mineral resources. Exploration and exploitation of energy and mineral resources has continued until today and have it as the main source of state revenue. The other side of the exploitation of these resources is the impact of mining activities on environmental degradation caused by mining waste pollution. Taking into account these problems, the control effects of mining activity absolutely must be done. One of the efforts that need to be done is the monitoring of mining activities at the mine site and its surrounding environment. This monitoring is done in the framework of supervision so that when the indication of environmental damage they cause, it can be done to anticipate as early as possible. One of the techniques that can be done to carry out such monitoring is to utilize remote sensing technology. This paper is intended to summarize some of the remote sensing methods that have been used in previous studies to monitor the impact of mining on the surrounding environmental conditions. The results showed that the type of optical data is more dominant than the SAR data is used as the object of tailings and mining waste is more easily recognized from image based on spectral characteristics. In general, the research related to the utilization of remote sensing data in monitoring the environmental impacts of mining activities as well as the resulting wastes include aspects: detection of waste characteristics and their distribution pattern spatially and temporally; changes in the mining area; changes in the type, area and land cover pattern in the mining area and its surroundings; waste detection in waters and decreasing its water quality; as well as remote sensing data utilization in support of the EIA analysis.

Key words : Remote sensing, mining environment

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang kaya sumberdaya energi dan mineral. Eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya energi dan mineral telah berlangsung hingga saat ini dan telah menjadikannya sebagai sumber pendapatan negara yang utama. Sisi lain dari eksploitasi sumberdaya tersebut adalah dampak aktivitas pertambangan terhadap penurunan kualitas lingkungan hidup yang diakibatkan oleh pencemaran limbah pertambangan. Memperhatikan permasalahan tersebut, pengendalian dampak-dampak aktivitas pertambangan mutlak harus dilakukan. Salah satu upaya yang perlu dilakukan adalah pemantauan aktivitas pertambangan di lokasi pertambangan beserta lingkungan di sekitarnya. Pemantauan ini dilakukan dalam rangka pengawasan sehingga apabila terindikasi adanya kerusakan lingkungan yang ditimbulkannya maka dapat dilakukan upaya antisipasi sedini mungkin.

Salahsatu teknik yang dapat dilakukan untuk melakukan monitoring tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Tulisan ini dimaksudkan untuk merangkum beberapa metode penginderaan jauh yang telah dimanfaatkan dalam penelitian sebelumnya dalam memantau dampak pertambangan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya. Hasil kajian menunjukkan bahwa jenis data optis lebih dominan dipergunakan daripada data SAR karena obyek *tailing* dan limbah pertambangan lebih mudah dikenali dari citra berdasarkan karakteristik spektralnya. Secara umum, penelitian terkait pemanfaatan data penginderaan jauh dalam pemantauan dampak lingkungan akibat aktivitas pertambangan beserta limbah-limbah yang dihasilkannya mencakup aspek-aspek: deteksi karakteristik limbah beserta pola sebaran secara spasial dan temporal; perubahan luas areal pertambangan; perubahan jenis, luas dan pola penutupan lahan di wilayah pertambangan dan sekitarnya; deteksi limbah di perairan dan penurunan kualitas air; serta pemanfaatan data inderaja dalam mendukung analisis AMDAL.

Kata kunci: Penginderaan jauh, lingkungan pertambangan

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya sumberdaya energi dan mineral. Eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya energi dan mineral telah berlangsung hingga saat ini dan telah menjadikannya sebagai sumber pendapatan negara yang utama penggerak roda perekonomian bangsa ini. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, dari tahun 2000 hingga 2011, total produksi minyak bumi mencapai 4.640 juta barel, gas bumi 35,70 juta MMSCF, batubara 386.741 juta ton, konsentrat timah 753.183 ton, bauksit 3.831 juta ton, bijih nikel 15.798 juta ton, konsentrat tembaga 37.213,5 m.ton, emas 1.428 ton, dan perak 3.419 ton. Sisi lain dari eksploitasi sumberdaya tersebut adalah dampak aktivitas pertambangan terhadap penurunan kualitas lingkungan hidup yang diakibatkan oleh pencemaran limbah pertambangan.

Salahsatu isu utama pencemaran limbah pertambangan adalah keberadaan *tailing*. *Tailing* merupakan residu yang berasal dari sisa pengolahan bijih setelah target mineral utama dipisahkan dan biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir, yaitu: fraksi berukuran pasir, lanau, dan lempung. Bahaya pencemaran lingkungan oleh arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) mungkin terbentuk jika *tailing* mengandung unsur-unsur tersebut tidak ditangani secara tepat. Terutama di wilayah-wilayah tropis, tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktivitas biokimia akan menunjang percepatan mobilisasi unsur-unsur berpotensi racun. Limbah *tailing* sangat membahayakan kesehatan manusia. Apabila Arsen bercampur dengan air minum dan melebihi ambang batas dapat menyebabkan keracunan kronis yang ditimbulkannya pada tubuh manusia berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel. Merkuri organik akan menghambat jalan darah ke otak dan gangguan metabolisme dari sistem syaraf. Sedangkan merkuri *non* organik akan memicu kerusakan fungsi ginjal dan hati. Penyerapan unsur Timbal oleh tubuh manusia yang melebihi ambang batas akan merusak saluran metabolik, menyebabkan hipertensi darah, hiperaktif dan merusak otak. Racun kadmium akan menyebabkan penyakit lumbago, kerusakan tulang, dan gagal ginjal (Herman, 2006). Isu lainnya adalah pertambangan batubara yang sudah menjadi primadona menyisakan permasalahan lingkungan. Sisa-sisa lahan pertambangan yang tererosi oleh aliran air dan terangkut ke sungai akan meningkatkan keasaman (pH) air (Marganingrum & Noviardi, 2010). Penurunan pH air tersebut tentu saja akan membawa pengaruh buruk bagi sumberdaya alam dan lingkungan hidup, seperti kualitas tanah pertanian sawah (Syarif *et al.*, 2011) dan menurunkan hasil produksi pertanian dan perkebunan (Mansyah, 2013). Belum lagi dampak pembakaran batubara bagi kesehatan manusia, yaitu pengaruh gas buangan sulfur oksida dan oksida nitrogen bagi pernafasan, pengaruh sistemik akibat kandungan logam dan gas sisa pembakaran, pengaruh dari merkuri, serta pengaruh genotoksik (Soesanto, 1996).

Memperhatikan permasalahan tersebut, pengendalian dampak-dampak aktivitas pertambangan yang diakibatkan oleh pencemaran limbah pertambangan mutlak harus dilakukan. Salahsatu upaya yang perlu dilakukan adalah pemantauan aktivitas

pertambangan di lokasi pertambangan serta lingkungan di sekitarnya. Pemantauan ini dilakukan dalam rangka pengawasan sehingga apabila terindikasi adanya kerusakan lingkungan akibat dari aktivitas pertambangan tersebut maka dapat diantisipasi sedini mungkin. Salahsatu teknik yang dapat dilakukan untuk melakukan monitoring tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh memberikan tawaran sebuah metode yang efisien, efektif, konsisten, dan terukur dalam memantau secara spasial dampak-dampak yang diakibatkan oleh aktivitas pertambangan. Tulisan ini dimaksudkan untuk merangkum beberapa metode penginderaan jauh yang telah dimanfaatkan dalam penelitian sebelumnya dalam memantau dampak pertambangan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya.

2. PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMANTAUAN LINGKUNGAN PERTAMBANGAN

Berikut ini diuraikan secara singkat beberapa penelitian terkait dengan pemanfaatan penginderaan jauh untuk pemantauan dampak pertambangan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya.

Limbah pertambangan dominan akan berdampak langsung pada meningkatnya pencemaran air yang mengakibatkan penurunan kualitas air. Pemanfaatan citra hiperspektral yang dilakukan oleh Sares *et al.* (2004) telah berhasil mengetahui bahwa data AVIRIS, SpecTIR HST-1, Hyperion dan ASTER dapat dipergunakan dalam penentuan secara tidak langsung pH aliran. Informasi yang diperoleh dari pemanfaatan data tersebut dapat dipergunakan dalam memantau dampak kegiatan pertambangan pada saat ini, memberikan arahan dan memprioritaskan upaya perbaikan saat ini atau yang perlu direncanakan serta memantau secara umum perbaikan kualitas air dari waktu ke waktu.

Parameter indeks seperti NDVI yang dapat diturunkan dari data optis seperti Landsat dan MODIS juga dapat dimanfaatkan untuk memantau kondisi lingkungan pertambangan. Tian *et al.* (2013) telah melakukan pemetaan dan evakuasi tren nilai NDVI dari data seri waktu yang diperoleh dari gabungan (*blending*) Landsat dan MODIS pada wilayah pertambangan batubara. Teknik *blending* yang dipergunakan adalah *Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model* (STARFM). Hasil teknik analisis ini menunjukkan bahwa apabila menangkap perubahan vegetasi dalam skala halus. STARFM dihasilkan NDVI sintetis *time series* bisa digunakan untuk mengukur dampak dari kegiatan pertambangan terhadap vegetasi. Namun demikian daerah uji harus dipilih dengan hati-hati, karena tren yang berasal dari sintetis *time series* dan MODIS mungkin berbeda secara signifikan di beberapa daerah.

Dampak aktivitas pertambangan dalam skala luas terhadap perubahan lahan pertanian yang terkait dengan ketahanan pangan juga telah dilakukan dengan menggunakan data citra. Matejcek & Kopackova (2010) telah melakukan penelitian tersebut dengan menggunakan

data Landsat seri waktu di wilayah Baratlaut Republik Ceko. Parameter yang dipergunakan adalah NDVI. Pemahaman yang penting dalam penelitian tersebut adalah bahwa pola nilai NDVI dalam runut waktu mungkin disebabkan oleh efek musiman vegetasi, namun, tren utama terkait dengan aktivitas penambangan selama periode jangka panjang dapat dipahami dengan jelas. Penelitian tersebut juga menyajikan suatu pemodelan spatio-temporal didasarkan pada seri data citra satelit yang memberikan pengalaman yang cukup untuk pengolahan NDVI dalam rangka identifikasi kelas tutupan lahan dan juga, untuk tingkat tertentu, variabilitas lahan pertanian dengan dampaknya terhadap ketahanan pangan.

Vanderberg (2003) telah mendemonstrasikan proses identifikasi dan karakterisasi limbah pertambangan dengan menggunakan data optis Landsat dengan mengambil lokasi di Cherokee County Kansas. Metode yang dipergunakan dalam mengidentifikasi *tailing* dan limbah tambang adalah dengan klasifikasi terawasi dari data Landsat komposit *false color*. Selain itu, juga dilakukan metode kombinasi kanal TM (indeks mineral) untuk mengkarakterisasi mineralogi limbah tersebut. Keakuratan klasifikasi dalam identifikasi limbah tambang dari jenis lahan yang lain kurang dari 60 persen. Namun demikian, komposit warna palsu kanal Landsat TM merupakan alat yang berguna dalam mengidentifikasi limbah tersebut, dan menentukan untuk mineralogi pengotornya.

Data Landsat sudah sangat populer dan sudah sering dimanfaatkan dalam mengetahui perubahan luas wilayah penambangan. Townsend *et al.* (2009) memanfaatkan data Landsat seri waktu untuk mengetahui luas permukaan wilayah penambangan dan reklamasi lahan dari tahun 1976 hingga 2006 di daerah Central Appalachians, Amerika Serikat. Teknik pengolahan citra yang dipergunakan adalah teknik standar dengan *decision tree* serta menggabungkannya dengan data peta izin tambang untuk memetakan tambang aktif dan reklamasi serta melacaknya dari waktu ke waktu.

Pemanfaatan Data LiDAR dan MSS untuk pengecekan dampak penambangan terhadap lingkungan pesisir pernah dilakukan oleh Kerfoot *et al.*, (2014). Dalam aplikasi ini, LiDAR memiliki kelebihan dalam resolusi spasial yang tinggi serta kemampuan penetrasi di air. Kemampuan tersebut dikombinasikan dengan sistem pemindaian multispektral akan menjadi suatu model yang baik dalam mengatasi fitur pada garis pantai yang terganggu di lingkungan dengan kekeruhan yang rendah. Hasil penelitian tersebut memperhatikan bahwa kombinasi data LiDAR dan Landsat mampu mengungkap perpindahan *tailing* di wilayah pesisir. Masih dampak pertambangan pada lingkungan pesisir, Yildirim *et al.* (2009) telah berusaha mendeteksi kekeruhan oleh abu batubara di lingkungan pesisir dengan menggunakan data Landsat. Abu batubara tersebut dihasilkan dari aktivitas pembangkit tenaga listrik yang menggunakan bahan bakar fosil batubara. Teknis yang dipergunakan adalah klasifikasi citra berbasis obyek dengan software e-Cognition. Kelas wilayah tercemar dibedakan menjadi tiga, yaitu sangat tercemar (2380 ± 213 mg.L-1), cukup tercemar (361 ± 118 mg.L-1), dan kurang tercemar (57 ± 24 mg.L-1). Dalam penelitian ini, data penginderaan jauh bermanfaat dalam mendeteksi dan juga melacak polusi itu sendiri, serta yang rute, dimensi dan efek di

laut. Penelitian tersebut dapat berfungsi sebagai database untuk perbandingan masa depan untuk mengidentifikasi tren peningkatan atau penurunan lingkungan pesisir. Dengan menggunakan data Landsat 5 TM, Yang & Jiuyun (2011) secara sederhana membedakan tingkat pencemaran air di wilayah pertambangan, yang dibedakan menjadi sangat tercemar (TM3 40~60), agak tercemar (TM3 30~40), dan air tawar (TM3 <30).

Jenis limbah dari pertambangan mineral yang lebih spesifik seperti *pyrite* yang dihubungkan dengan tren perubahan iklim dapat dideteksi dengan menggunakan data citra hiperspektral. Riaza & Muller (2010) telah berusaha memanfaatkan data hiperspektral. Pemantauan limbah tambang deposit sulfida melalui penginderaan jauh hiperspektral data memberikan kontribusi untuk memprediksi kualitas air permukaan, secara kuantitatif memperkirakan drainase asam dan kontaminasi logam secara tahunan. Mineralogi dari kerak permukaan sarat dengan garam sangat larut merupakan catatan kelembaban dan suhu yang tersedia sepanjang tahun. Sebuah pemantauan temporal kemekaran garam pada limbah tambang di lokasi tambang di Pyrite Belt Iberia (Spanyol) telah dipetakan dalam penelitian ini menggunakan data Hymap udara. Estimasi perubahan iklim dibuat berdasarkan tahapan oksidasi yang berasal dari sumur – dikenal urutan mineral sulfida melacak intensitas oksidasi, menggunakan arsip spectral library. Oleh karena itu, tambang – limbah pelapukan produk sulfida dipetakan dari data penginderaan jauh hyperspectral dapat digunakan sebagai catatan jangka pendek dari perubahan iklim, menyediakan alat yang berguna untuk menilai indikator lingkungan geologi di daerah semi-arid.

Data Landsat juga dapat dimanfaatkan untuk analisis dan pemantauan penambangan batubara muda (*lignite*). Schroeter & Glaber (2011) mengaplikasikan penelitian tersebut di wilayah Jerman bagian Barat. Data Landsat yang dipergunakan adalah Landsat-5 TM dan Landsat-7 ETM+ tahun 1999 dan 2004. Selain itu juga dilakukan uji sifat-sifat fisis dan kemis sampel air. Dari data tersebut akan diketahui kondisi lingkungan dan selanjutnya dapat dipergunakan dalam mengembangkan sistem pemantauan. Di sisi lain, penelitian ini dilakukan untuk menilai potensi penggunaan data satelit dan untuk mengkalibrasi isinya untuk memantau geokimia dari danau pertambangan. Korelasi parameter hidrokimia air danau dengan *spectral signature* yang terdeteksi oleh satelit dilakukan dengan metode analisis statistik multivariat.

Kegiatan penambangan yang akan dilakukan wajib didahului oleh analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL). Dalam kegiatan AMDAL tersebut, data penginderaan jauh sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi, mendeskripsikan serta memantau sumber-sumber pencemaran dan wilayah-wilayah yang akan terkena dampaknya. Charou *et al.* (2010) mencoba menggunakan data penginderaan jauh dalam menilai dampak kegiatan pertambangan. Tujuan penelitian diarahkan pada evaluasi penggunaan data multi-temporal Landsat-5 dan Landsat-7, SPOT Pankromatik, dan ASTER untuk memetakan lingkungan alam pada skala lokal serta untuk menilai dampak kegiatan pertambangan dengan memperlihatkan perubahan yang terjadi pada lahan dan sumberdaya air. Dalam penelitian

tersebut, data ASTER dapat dipergunakan secara efisien dalam memantau perubahan tutupan lahan di daerah pertambangan, anomali suhu permukaan air, serta memantau kegiatan reboisasi lahan untuk memastikan bahwa reklamasi lahan sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan ASTER multi-temporal, Landsat, dan SPOT merupakan suatu metode yang efisien dan efektif untuk pemetaan pertambangan besar dan menunjukkan penggunaan tanah dan air serta perubahannya, dan dapat digunakan untuk melengkapi data dari studi lingkungan.

Dampak lingkungan akibat kegiatan pertambangan yang lebih serius, seperti menyentuh aspek-aspek keanekaragaman hayati dan kesejahteraan masyarakat dapat diketahui dengan pemanfaatan data penginderaan jauh. Limpitlaw & Woldai (2004) berupaya memanfaatkan data Landsat seri waktu, dari Landsat MSS hingga ETM+. Sebuah penurunan bertahap dalam kegiatan ekonomi formal dalam Zambia Copperbelt telah mengakibatkan meningkatnya tingkat kemiskinan. Perubahan lingkungan telah dilacak selama tiga puluh hampir tahun dari data Landsat dan telah dinilai dengan *patch analysis*. Pendekatan ini telah menunjukkan bahwa *patch landscape* di Copperbelt adalah menjadi semakin kompleks dalam bentuk dan ukurannya lebih kecil. Kondisi tutupan lahan alami, hutan miombo, semakin terfragmentasi, menjadi ancaman bagi keanekaragaman hayati dan kesejahteraan masyarakat lokal.

Upaya evaluasi secara sistematis dengan menggunakan data penginderaan jauh dalam identifikasi pertambangan telah dicontohkan oleh Stork *et al.* (2006). Dalam penelitian dilakukan upaya sistematis dalam mengidentifikasi pertambangan uranium di lokasi pertambangan uranium Ranger dan tambang-tambang lainnya di Australia dengan menggunakan data *Hyperion*, *ASTER*, dan *Quickbird*. Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah satu-satunya diamati menjanjikan pada Ranger yang dapat diidentifikasi secara unik menggunakan sistem satelit komersial saat ini (terutama *Hyperion*) adalah magnesium klorit dalam tambang terbuka dan stockpile sulfur. Berdasarkan magnesium klorit yang teridentifikasi dan sulfur yang teramati, pohon keputusan mempersempit calon mineral yang mungkin pada Ranger untuk uranium, tembaga, seng, mangan, vanadium, unsur tanah yang jarang, dan fosfor, semua yang digiling menggunakan teknik pencucian asam sulfat.

Untuk contoh pemanfaatan data penginderaan jauh dalam pemantauan dampak lingkungan akibat aktivitas pertambangan di wilayah Indonesia di sini kami mengambil contoh dari penelitian Paull *et al.* (2006). Dalam penelitian tersebut dipaparkan pemantauan dampak lingkungan akibat aktivitas pertambangan oleh PT. Freeport Indonesia dengan menggunakan data Landsat dalam kurun waktu tahun 1988 dan 2004. Dalam kegiatan pemantauan ini, data penginderaan jauh sangat bermanfaat dalam pemantauan untuk wilayah yang terpencil dan sangat terkendala oleh minimnya akses jalan. Penelitian ini menunjukkan bahwa satelit penginderaan jauh dapat memberikan informasi tentang perubahan lanskap dengan cara yang hemat biaya untuk tambang skala besar seperti PT. Freeport Indonesia.

Tambang PT Freeport Indonesia di Papua (Indonesia) adalah tambang tembaga - emas yang terbesar di dunia. Identifikasi tutupan lahan antropogenik dihitung dengan teknik dijitasi layar dari tiga citra komposit *false color* selama periode tersebut untuk menentukan luas lahan hutan yang telah dibersihkan dan daerah yang telah terkena dampak tambang oleh sedimen yang terangkut dalam sistem Sungai Ajkwa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik pemukiman dan sedimen mengubah secara radikal kondisi tutupan lahan dan bersama-sama telah menyebabkan peningkatan enam kali lipat terhadap penurunan hutan hujan tropis di dataran rendah. Penelitian ini menyoroti kegunaan metode penginderaan jauh untuk memonitor elemen dampak pertambangan berskala luas dan bentuk lain dari eksploitasi sumber daya alam seperti penggundulan hutan di negara berkembang.

Data SAR juga telah memberikan kontribusi dalam pemantauan dampak-dampak kegiatan penambangan. Liu *et al.* (2014) mencoba memanfaatkan data InSAR dan TomoSAR untuk memantau deformasi yang diakibatkan oleh penambangan pada wilayah pegunungan. Hasil penelitian menunjukkan keuntungan dari teknik InSAR untuk pemantauan skala besar. Namun, aplikasi untuk daerah pegunungan menyebabkan tantangan lebih banyak daripada di kasus lain, yang mengharuskan peneliti untuk mempertimbangkan tidak hanya ruang atau / dan temporal de-korelasi, karena pegunungan medan dan *baseline* (spasial dan temporal), tetapi juga efek topografi. Dalam penelitian ini, data TerraSAR-X memberikan kemungkinan baru untuk aplikasi InSAR di wilayah pertambangan pegunungan, karena resolusi tinggi dan siklus revisit pendek. Selain itu, diketahui bahwa data 4-D TomoSAR, bermanfaat untuk mengukur gerakan struktur dan menunjukkan hasil yang menjanjikan.

Penggunaan data penginderaan jauh dari berbagai jenis dan sumber dilakukan oleh De Peijun *et al.* (2007) untuk memantau kondisi lingkungan perkotaan di kota industri pertambangan. Contoh yang dilakukan adalah di Kota Xuzhou China. Data yang dipergunakan adalah Landsat TM, CBERS, ASTER, InSAR, SPOT, dan IKONOS. Penelitian ini menunjukkan bahwa data inderaja multi-temporal fusion dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan dan pemantauan kondisi dinamis lingkungan. Contoh studi kasus di Kota Xuzhou membuktikan bahwa penginderaan jauh dapat memainkan peran penting dalam analisis lingkungan dan penilaian di bidang pertambangan di kota industri dan berfungsi dalam pengambilan keputusan yang efisien sebagai dukungan untuk pembangunan berkelanjutan.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan studi terhadap beberapa literatur yang dipilih dan dikaji dapat diketahui bahwa data penginderaan jauh telah dimanfaatkan secara meluas untuk memantau aktivitas pertambangan beserta dampak-dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh adanya limbah pertambangan. Jenis data optis lebih dominan dipergunakan daripada data SAR karena obyek *tailing* dan limbah pertambangan lebih mudah dikenali dari citra berdasarkan karakteristik spektralnya. Dalam hal ini, pemanfaatan data hiperspektral menjadi tantangan

tersendiri dalam penelitian lebih lanjut untuk memberikan hasil identifikasi yang lebih akurat. Penggunaan metode identifikasi dan analisis masih berkuat pada teknik-teknik tradisional pengolahan citra dan analisis data seperti: deteksi parameter indeks vegetasi, indeks mineral, *spectral signature*, yang dikaitkan secara statistik dengan data-data observasi. Metode klasifikasi mengandalkan teknik klasifikasi berbasis piksel meskipun ada yang sudah mengarah ke berbasis objek. Secara umum, penelitian terkait pemanfaatan data penginderaan jauh dalam pemantauan dampak lingkungan akibat aktivitas pertambangan beserta limbah-limbah yang dihasilkannya mencakup aspek-aspek: deteksi karakteristik limbah beserta pola sebaran secara spasial dan temporal; perubahan luas areal pertambangan; perubahan jenis, luas dan pola penutupan lahan di wilayah pertambangan dan sekitarnya; deteksi limbah di perairan dan penurunan kualitas air; serta pemanfaatan data inderaja dalam mendukung analisis AMDAL.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2014). http://www.bps.go.id/menustab.php?kat=3&tabel=1&id_subyek=10. Diakses pada tanggal 23 Oktober 2014.
- Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Vasiliou., E., & Mavrantza. (2010). Using Remote Sensing to Assess Impact of Mining Activities on Land and Water Resources. *Mine Water Environment*, 29, 45-52.
- Du Peijun, Huapeng, Z., Chen, P., & Pei, L. (2007). Applications of Multi-source Remote Sensing Information to Urban Environment Monitoring in Mining Industrial Cities – Taking Xuzhou City as an Example. *IEEE*, 1-4244-0712-5/07.
- Herman, D.Z. (2006). *Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam*. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1 (1), 31-36.
- Kerfoot, W.C., Hobmeier, M.M., Yousef, F., Green, S.A., Regis, R., Brooks, C.N., Shuchman, R., Anderson, J., & Reif, M. (2014). Light Detection and Ranging (LiDAR) and Multispectral Scanner (MSS) Studies Examine Coastal Environments Influenced by Mining. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3, 66-95.
- Liu, D., Shao, Y., Liu, Z., Riedel, B., Sowter, A., Niemer, W., & Bian, Z. (2014). Evaluation of InSAR and TomoSAR for Monitoring Deformations Caused by Mining in a Mountainous Area with High Resolution Satellite-Based SAR. *Remote sensing*, 6, 1476-1495.
- Limpitlaw, D. & Woldai, T. (2004). Patch analysis of Landsat Datasets for Assessment of Environmental Change in the Zambian Copperbelt. *IGARSS 2004, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings*, 4, 2290-2293.
- Mansyah, N. (2013). Studi tentang dampak pertambangan batu bara bagi kehidupan sosial ekonomi masyarakat di Kelurahan Jawa Kecamatan Sangasanga. *eJournal Administrasi Negara*, 1(3), 843-857.

- Marganingrum, D. & Noviard, R. (2010). Pencemaran air dan tanah di kawasan pertambangan batubara di PT. Berau Coal Kalimantan Timur. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 20(1), 11-20.
- Matejcek, L. & Kopackova, V. (2010). Changes in Croplands as a Result of Large Scale Mining and the Associated Impact on Food Security Studied Using Time-Series Landsat Images. *Remote sensing*, 2, 1463-1480.
- Paul, D., Banks, G., Ballard, C., & Gillieson, D. (2006). Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data. *Geocarto International*, 21, 33-42.
- Riaza, A. & Muller, A. (2010). Hyperspectral remote sensing monitoring of pyrite mine wastes: a record of climate variability (Pyrite Belt, Spain). *Environment Earth Sciences*, 61, 575-594.
- Sares, M.A., Hauff, P.L., Peters, D.C., Coulter, D.W., Bird, D.A., Henderson, F.B., & Prosh, E.C. (2004). Characterizing Sources of Acid Rock Drainage and Resulting Water Quality Impacts Using Hyperspectral Remote Sensing – Examples from the Upper Arkansas River Basin, Colorado. *2004 Advanced Integration of Geospatial Technologies in mining and Reclamation*, December 7 – 9, 2004, Atlanta, GA.
- Schroeter L & Glaber, C. (2011). Analyses and monitoring of lignite mining lakes in Eastern Germany with spectral signatures of Landsat TM satellite data. *International Journal of Coal Geology*, 86, 27-39.
- Soesanto, S.S. (1996). Dampak pemakaian batubara terhadap kesehatan dan lingkungan. *Media Litbangkes*, 6(2), 1-3.
- Stork, C.L., Smartt, H.A., Blair, D.S., & Smith, J.L. (2006). *Systematic Evaluation of Satellite Remote Sensing for Identifying Uranium Mines and Mills*. Sandia Report, Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico and Livermore, California.
- Syarif, I., Priatnadi, B.J., Indrayati, E., & Haris, A. (2011). Perubahan kualitas tanah sawah di areal pertambangan batubara di Kabupaten Banjar. *EnviroScienteeae*, 7, 21-30.
- Tian, F., Wang, Y., Fensholt, R., Wang, K., Zhiang, L. & Huang, Y. (2013). Mapping and Evaluation of NDVI Trends from Synthetic Time Series Obtained by Blending Landsat and MODIS Data around a Coalfield on the Loess Plateau. *Remote sensing*, 6, 4255-4279.
- Townsend, P.A., Helmers, D.P., Kingdon, C.C., McNeil, B.E., de Beurs, K.M., & Eshleman, K.N. (2009). Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976–2006 Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 113, 62-72.
- Yang, L. & Jiuyun, S. (2011). Study of the Integrated Environmental Monitoring in Mining Area Based on Image Analysis. *Procedia Engineering*, 21, 267-272.
- Yildirim, Y., Alkan, M., & Oruc. (2009). Detection of coal ash turbidity in marine environment using remote sensing. *Fresenius Environmental Bulletin*, (18) 11, 2072-2078.

Vanderberg, G.S. (2003). *Identification and characterization of mining waste using landsat thematic mapper imagery, Cherokee county, Kansas*. ASMR, 3134 Montavesta Rd., Lexington, KY.

BIOGRAFI PENULIS

Suwarsono, S.Si, M.Si.



Email : suwarsono@lapan.go.id; landsono@yahoo.com

Pendidikan:

- Magister Sains (M.Si.) pada program studi ilmu Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia (UI), 2012
- Sarjana (S.Si.) Program Studi Geografi Fisik, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada (UGM). 2002.

Suwarsono telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 2003. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan (hutan dan perkebunan) dan potensinya terhadap kebencanaan (banjir, longsor, kekeringan, kebakaran hutan). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN).

Dr. Indah Prasasti



Email : indah.prasasti@lapan.go.id, septian_5990@yahoo.com

Pendidikan:

- Doctor (Dr) pada program studi Klimatologi Terapan, Program Doktor, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor (IPB). 2012.
- Magister Sains (M.Si) pada program studi Ilmu Tanah, Program Magister Sains, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor (IPB). 2004.
- Insinyur (Ir.) pada program studi Agrometeorologi, Jurusan Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor (IPB). 1988.

Dr. Indah Prasasti telah bekerja sebagai peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN sejak tahun 1990. Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan aplikasi data penginderaan jauh untuk pemantauan kondisi kekeringan lahan (1990 – 1997), identifikasi dan deteksi parameter permukaan bumi dan laut (1997 – 2007), dan mitigasi bencana alam yang merupakan integrasi dari berbagai disiplin ilmu, seperti cuaca dan iklim serta interaksinya dengan sumberdaya lahan dan potensinya terhadap kebencanaan (banjir, kekeringan, dan kebakaran hutan) (2007 – sekarang). Organisasi profesi yang diikuti adalah Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) dan Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI).