

MODEL SPASIAL KERUSAKAN LAHAN DAN PENCEMARAN AIR AKIBAT KEGIATAN PERTAMBANGAN EMAS TANPA IZIN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI RAYA, KALIMANTAN BARAT

Spatial Model of Land Degradation and Water Pollution Caused by Illegal Gold Mining Activities in Raya Watershed, West Kalimantan

Romiyanto^{1)*}, Baba Barus²⁾, dan Untung Sudadi²⁾

¹⁾ Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjung Pura Pontianak, Kalimantan Barat

²⁾ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Jl. Meranti Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

ABSTRACT

Illegal gold mining activities create mine pits, tailings, stressed vegetation and unvegetated land. The aims of this study were to identify and to develop spatial model of land degradation and water pollution caused by illegal gold mining activities in Raya watershed, West Kalimantan. The spatial land degradation model was developed by multiplication the score of mine age and type of mine tailings, while the scores for water pollution was based on the results of spatial distribution analysis of the water's total dissolved solids (TDS) and Hg concentration levels in Lake Serantangan. Vegetations of the degraded area showed nutrient deficiency and toxicity symptoms. Based on the NDVI (normalized difference vegetation index), the degraded area generated a value range of 0.1-0.6. Mine land in the study area were classified as rather degraded (29.33%), degraded (28.70%), and severe degraded (41.97% of the total 4,551 ha area). While, 65.87% or 83 ha of the Lake Serantangan area was classified as severely polluted based on the water's concentration of Hg and TDS. The accuracy of the spatial model developed was 88.30 and 82.57% for land degradation and water pollution, respectively.

Keywords: Illegal gold mining, land degradation, spatial model, water pollution

ABSTRAK

Aktivitas pertambangan emas tanpa izin menyebabkan terbentuknya lubang tambang, *tailing*, vegetasi tercekam dan lahan terbuka. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan mengembangkan model spasial kerusakan lahan dan pencemaran perairan akibat penambangan emas tanpa izin di DAS Raya, Kalimantan Barat. Model kerusakan lahan dikembangkan berdasarkan perkalian skor umur tambang dan jenis *tailing*, sedangkan skor untuk model pencemaran perairan didasarkan hasil analisis distribusi spasial kadar *total dissolved solids* (TDS) dan Hg air Danau Serantangan. Vegetasi di area terdegradasi menunjukkan gejala defisiensi dan toksisitas hara. Berdasarkan NDVI (*normalized difference vegetation index*), area terdegradasi menghasilkan kisaran nilai 0.1-0.6. Tingkat kerusakan lahan di areal penelitian diklasifikasikan agak rusak (29.33%), rusak (28.70%) dan sangat rusak (41.97% dari total luas 4,551 ha), sedangkan 65.87% atau 83 ha areal perairan Danau Serantangan diklasifikasikan sangat tercemar berdasarkan kadar Hg dan TDS. Tingkat akurasi model spasial kerusakan lahan dan pencemaran perairan yang dikembangkan masing-masing mencapai 88.30 dan 82.57%.

Kata kunci: Pertambangan emas tanpa izin, kerusakan lahan, model spasial, pencemaran air

PENDAHULUAN

Dampak geobiofisik utama akibat aktivitas pertambangan emas tanpa izin dengan teknik penambangan terbuka (*open pit mining*) adalah terbentuknya lubang tambang, *tailing*, vegetasi tercekam (*stressed vegetation*) dan lahan terbuka (*unvegetated land*). Perubahan penggunaan dan tutupan lahan tersebut lebih lanjut menyebabkan kerusakan lahan dan pencemaran perairan. Di DAS Raya, Kalimantan Barat, yang di dalam arealnya terdapat Danau Serantangan, penambangan emas tanpa izin telah dilakukan sejak abad ke-18 dengan mendatangkan pekerja dari Tiongkok (Heidhues, 2008).

Aktivitas pertambangan emas tanpa izin umumnya dilakukan di badan sungai, danau dan daerah rendah

lainnya yang mengandung cadangan emas. Penerapan teknik penambangan terbuka mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk lahan, hilangnya vegetasi dan habitat bagi fauna. Pengupasan tanah di atas lapisan cadangan emas mengakibatkan perubahan topografi, hidrologi dan kestabilan lereng. Penggunaan mesin untuk pembersihan lahan, penggalian tanah dan penyemprotan air membentuk lumpur serta menyebabkan sedimentasi dan kekeruhan (Setiabudi *et al.*, 2006). Dampak lainnya meliputi terbentuknya lubang tambang, vegetasi tercekam dan pencemaran pada badan air (Ramadan *et al.*, 2011). Terbentuknya lubang tambang dan pengupasan tanah mengakibatkan areal yang semula bervegetasi menjadi terbuka dan akan memerlukan waktu yang sangat lama untuk kembali ke kondisi semula (Noor, 2006).

*) Penulis Korespondensi: Telp. +6285252630989; Email. romi_yanto23@yahoo.com

Untuk mengidentifikasi lokasi, luas dan tingkat kerusakan lahan tambang secara lebih efisien dapat dilakukan dengan pendekatan pemodelan spasial (*spatial modelling development*). Model merupakan suatu bentuk representasi yang disederhanakan atau abstraksi sehingga mempermudah prediksi dari sebuah realita (Turban dan Anderson, 1998). Perubahan penggunaan lahan dapat dipantau dengan citra Landsat multitemporal (Toren dan Unal, 2001). Lahan terbuka dapat diidentifikasi secara visual dari citra Landsat (Gunawan *et al.*, 2010), sedangkan vegetasi tercekam dapat dideteksi melalui teknik transformasi NDVI (*normalized difference vegetation index*) dengan memanfaatkan saluran merah dan inframerah dekat (Swain dan Davis, 1978).

Beberapa pemodelan kerusakan lahan sudah dikembangkan dan diaplikasikan di Indonesia, antara lain model prediksi bahaya erosi dan lahan kritis, pengendalian kerusakan tanah akibat produksi biomasa serta baku mutu kerusakan lingkungan bagi usaha atau kegiatan penambangan bahan galian golongan C jenis lepas di daratan. Kesemua model tersebut memasukkan unsur topografi dan penutupan lahan yang dapat diinterpretasikan dari citra satelit. Dalam pemodelan spasial tingkat pencemaran perairan, data dasar yang digunakan adalah hasil analisis parameter kualitas air dan koordinat titik pengambilan contoh airnya. Kedua pendekatan pemodelan spasial tersebut memerlukan peubah (*variable*) kunci yang bersifat sensitif, yaitu mudah diperoleh input datanya dan menghasilkan model dengan tingkat ketelitian output yang memadai. Secara spesifik, pemodelan spasial kerusakan lahan dan pencemaran perairan akibat penambangan emas tanpa izin berdasarkan peubah kunci belum pernah dikembangkan di Indonesia. Model spasial yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pemantauan dan mitigasi kerusakan lahan dan pencemaran perairan akibat aktivitas pertambangan emas dengan teknik penambangan terbuka.

Penelitian ini bertujuan: (1) melakukan pemetaan berbasis teknologi penginderaan jauh terhadap perubahan penggunaan lahan serta (2) membuat model spasial kerusakan lahan dan pencemaran perairan akibat aktivitas pertambangan emas tanpa izin dengan teknik penambangan terbuka di DAS Raya, Kalimantan Barat.

BAHAN DAN METODE

Dalam penelitian ini digunakan peralatan GPS Garmin 76 CSX, kamera digital serta perangkat lunak ArcGis 9.3, Global Mapper 13, Envi 5 dan Erdas 9.1. Bahan yang digunakan meliputi citra Landsat 5 tahun 1992, Landsat 7 tahun 2002 dan Landsat 8 tahun 2013 part 122 row 59 serta data sekunder terkait lokasi penelitian.

Pemetaan Kerusakan Lahan

Variabel yang digunakan dalam proses pembuatan model spasial kerusakan lahan meliputi perubahan penggunaan lahan, keberadaan vegetasi tercekam, jenis tailing dan umur tambang serta hasil analisis kualitas air terhadap kadar mercury (Hg) dan *total dissolved solids* (TDS). Vegetasi tercekam diidentifikasi berdasarkan nilai NDVI yang selanjutnya juga digunakan untuk memverifikasi peta kerusakan lahan. Nilai NDVI

merupakan hasil pembagian gelombang pantulan dengan gelombang yang diserap vegetasi, yaitu gelombang inframerah dekat dengan gelombang merah, serta penjumlahan dan pengurangan dari tiap-tiap pasangan data kedua gelombang tersebut yang merupakan proses normalisasi dari irradians (Lillesand dan Kiefer, 1997).

Peningkatan luas areal pertambangan emas dan dampaknya terhadap perubahan penggunaan lahan di DAS Raya sangat signifikan selama 21 tahun terakhir. Interpretasi dan deliniasi visual untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan dilakukan berdasarkan *composite band* 543 untuk Landsat 5 tahun 1992 dan Landsat 7 tahun 2002 (USGS, 2002) serta kombinasi band 654 untuk Landsat 8 tahun 2013 (USGS, 2013). Hasilnya diverifikasi melalui *ground check* dan disajikan dalam bentuk peta tutupan lahan.

Pemodelan spasial kerusakan lahan didasarkan kepada peubah kunci umur tambang dan jenis tailing. Umur tambang diperoleh dari perbandingan hasil interpretasi penggunaan lahan dari citra Landsat 5, 7 dan 8 tahun 1992, 2002 dan 2013. Jenis tailing dibedakan berdasarkan interpretasi citra Landsat 8. Interpretasi citra dilakukan secara visual berdasarkan bentuk, ukuran, pola, bayangan, rona, tekstur dan situs/lokasi dengan pendekatan kunci interpretasi. Kemudian dilakukan pemberian skor (*scoring*) kerusakan lahan berdasarkan umur tambang dan jenis *tailing* (Tabel 1) dengan kriteria:

- 1) Umur tambang dikelompokkan berdasarkan hasil diskusi dengan nara sumber dari instansi pertambangan dan masyarakat di lokasi tambang serta citra Landsat: (a) areal dengan umur tambang <11 tahun sampai saat ini masih ditambang secara intensif; (b) umur tambang 11-21 tahun masih berpotensi untuk ditambang; (c) umur tambang >21 tahun menggambarkan areal tambang yang sudah ditinggalkan dikarenakan cadangan emasnya sudah sangat rendah.
- 2) Jenis *tailing* dikelompokkan berdasarkan tekstur dan kondisi lanskap: (a) *tailing* bertekstur pasir dan lanskap berlubang sulit untuk direklamasi karena kadar bahan organik dan hara tanamannya sangat rendah; (b) *tailing* aluvial dan lansekap berlubang kadar haranya rendah namun masih dapat diupayakan reklamasinya; (c) *tailing* pasir/aluvial bersemak lebih tinggi peluang keberhasilan reklamasinya.
- 3) Umur tambang dan jenis *tailing* (a), (b) dan (c) berturut-turut dan masing-masing diberikan skor 3, 2 dan 1. Semakin tinggi nilai skor, semakin tinggi tingkat kerusakan lahan dan semakin rendah tingkat keberhasilan reklamasinya.

Tabel 1. *Scoring* tingkat kerusakan lahan berdasarkan umur tambang dan jenis *tailing*

Umur Tambang	Jenis <i>Tailing</i>	<i>Scoring</i> Kerusakan Lahan
0-11 Tahun	Pasir, lubang galian	3
11-21 Tahun	Aluvial, lubang galian	2
> 21 Tahun	Pasir/aluvial bersemak	1

Pemetaan Pencemaran Perairan

Tingkat pencemaran di perairan Danau Serantangan dikategorikan berdasarkan 12 data kadar Hg dan 15 data kadar TDS yang diperoleh dari pengukuran in situ dan data

sekunder. Data diinterpolasi dengan *tool inverse distance weighted* (IDW) dan diberikan skor berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Air dengan kadar TDS <50 mg l⁻¹ dan Hg <0.002 mg l⁻¹ termasuk dalam baku mutu kelas air yang bisa digunakan untuk air minum dan diberikan skor 1; TDS >1000 mg l⁻¹ dan Hg >0.005 mg l⁻¹ termasuk dalam kelas air yang tidak bisa digunakan untuk air minum, MCK, pertanian maupun perikanan dan diberikan skor 3; kondisi di antara keduanya diberikan skor 2. Secara keseluruhan pemberian skor pencemaran perairan ditentukan berdasarkan tingkat pencemaran. Semakin besar tingkat pencemaran maka skor yang diberikan akan semakin besar (Tabel 2).

Tabel 2. Scoring tingkat pencemaran perairan berdasarkan kadar TDS dan Hg

TDS	Hg	Scoring
	(mg l ⁻¹)	Pencemaran Perairan
< 50	< 0.002	1
50-1000	0.002-0.005	2
> 1000	> 0.005	3

Model Kerusakan Lahan Tambang dan Pencemaran Perairan

Skor jenis *tailing* dan umur tambang selanjutnya dikalikan untuk memperoleh skor komposit tingkat kerusakan lahan. Untuk memperoleh skor komposit tingkat pencemaran perairan dilakukan perkalian antara skor TDS dengan skor Hg. Selanjutnya dipilih skor komposit tingkat kerusakan lahan dan tingkat pencemaran air yang menghasilkan validasi model terbaik. Skor komposit hasil simulasi dari model dengan tingkat validasi terbaik disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skor komposit kerusakan lahan dan pencemaran perairan

Skor Komposit	Tingkat Kerusakan Lahan	Tingkat Pencemaran Perairan
1-2	Agak rusak	Agak tercemar
3-4	Rusak	Tercemar
6-9	Sangat rusak	Sangat tercemar

HASIL DAN PEMBAHASAN

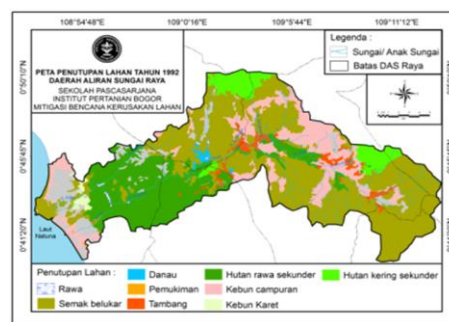
Penutupan Lahan

Pada kurun waktu tahun 1992-2013, perubahan penutupan lahan paling signifikan (11.84%) terdeteksi di wilayah hilir DAS Raya akibat terkonversinya hutan rawa sekunder menjadi perkebunan kelapa sawit (Tabel 4). Pada tahun 1992, aktivitas pertambangan emas tanpa izin terdeteksi dilakukan di sekitar sungai dan danau, sedangkan pada tahun 2002 dan 2013 meluas ke wilayah daratan (Gambar 1).

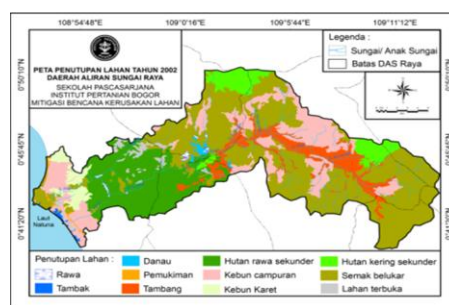
Tabel 4. Perubahan penutupan lahan DAS Raya tahun 1992, 2002 dan 2013

Penutupan Lahan	Luas Lahan (ha)			Periode Perubahan Lahan (ha)	
	1992	2002	2013	Selisih 2002-1992	Selisih 2013-2002
Pemukiman	25	108	108	83	0
Rawa	74	133	89	59	-44
Danau	182	175	130	-7	-45
Kebun karet	253	937	1,057	684	120
Tambang	995	3,179	4,551	2,184	1,372
Hutan kering sekunder	2,106	2,106	2,018	0	-88
Lahan terbuka	2,523	619	889	-1,904	270
Kebun campuran	5,225	6,275	7,023	1,050	748
Hutan rawa sekunder	7,697	6,504	1,244	-1,193	-5,260
Semak belukar	16,680	15,634	14,292	-1,046	-1,342
Perkebunan kelapa sawit	-	-	4,235	-	4,235
Tambak		90	125	90	35

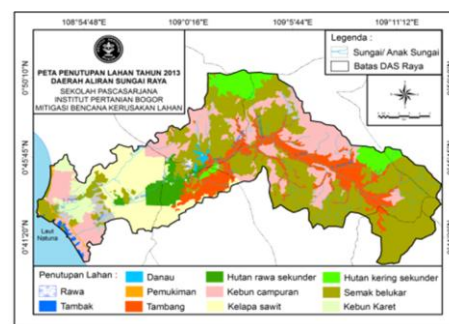
Sumber: Hasil analisis citra Landsat tahun 1992, 2002 dan 2013



(a)



(b)



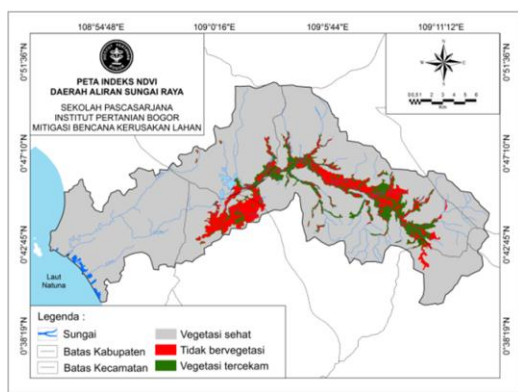
Gambar 1. Penutupan lahan DAS Raya tahun 1992 (a), 2002 (b), dan 2013 (c)

Berbeda dengan aktivitas penambangan di darat, penambangan di perairan berdampak pada semakin berkurangnya luas Danau Serantangan dan Danau Kacamata di DAS Raya. Total luas Danau Serantangan tahun 1992 adalah 182 ha, terjadi penurunan luas pada Danau Serantangan satu, tahun 2002 menjadi 143 ha, tahun 2002 dan 2013 masing-masing menjadi 130 ha dan 105 ha. Danau Serantangan 2 (dua) tidak mengalami penurunan luas, karena tidak ada aktivitas penambangan. Kondisi lain terjadi pada Danau Kacamata yang saat ini menyisakan pasir kuarsa seluas 3 ha dan akan digenangi air pada saat musim penghujan.

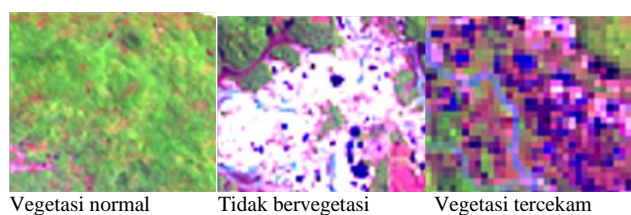
Pengembangan Model Kerusakan Lahan

Vegetasi Tercekam (*Vegetation Stress*)

Proses pencucian pada aktivitas pertambangan terbuka menyisakan pasir kuarsa, sehingga vegetasi sulit untuk beradaptasi. Hal tersebut menyebabkan tanaman tercekam akibat mengalami defisiensi dan/atau toksisitas hara (Borana *et al.*, 2014). Menurut Fitter (1992), vegetasi di lahan tambang dapat mengalami cekaman akibat kekurangan air dan hara serta keracunan pirit yang menimbulkan gejala perubahan fisiologis berupa daun yang terlihat menguning sampai kekokelatan (Gambar 2).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Peta nilai NDVI (a), visualisasi citra Landsat (b) dan kondisi lapang (c)

Rentang nilai NDVI untuk areal tambang tidak bervegetasi (-0.6–0.1) yang teridentifikasi sebagai *tailing* berupa pasir dan aluvial lebih rendah dari pada yang tertutup vegetasi tercekam (0.1–0.6) (Tabel 5). Hal ini

disebabkan oleh hubungan terbalik antara intensitas radiasi diserap dan yang dipantulkan vegetasi. Perhitungan NDVI didasarkan pada prinsip bahwa hijau daun vegetasi normal menyerap radiasi spektral sinar tampak (merah) dan memantulkan radiasi spektral sinar tak-tampak (inframerah dekat) (Swain dan Davis, 1978). Terdapat perbedaan total luasan hasil klasifikasi NDVI (Tabel 5) dan status kerusakan lahan (Tabel 10) sebesar 2.5% disebabkan proses pengolahan data raster dan vektor.

Tabel 5. Indeks NDVI pada lahan tambang

Tipe Lahan	NDVI	Luas	
		ha	%
Tidak bervegetasi	-0.6-0.1	2,650	56.82
Vegetasi tercekam	0.1-0.6	2,014	43.18
Total		4,664	100

Umur Tambang

Umur tambang berhubungan dengan jangka waktu proses penambangan. Semakin besar deposit atau cadangan bahan tambang, maka semakin lama proses penambangan berlangsung dan semakin luas lahan yang terkonversi. Luas areal tambang berumur 0-11 tahun yang masih ditambang sampai saat ini adalah 29.77% (Tabel 6), sedangkan tambang berumur 11-21 tahun dijumpai di beberapa tempat dengan kondisi masih terjadi proses penambangan. Lahan tambang berumur >21 tahun sebagian besar berubah menjadi lahan terlantar.

Tabel 6. Luas lahan berdasarkan umur tambang

Umur Tambang	Luas	
	ha	%
0-11 tahun	1,355	29.77
11-21 tahun	2,201	48.36
> 21 tahun	995	21.87
Total	4,551	100

Jenis Tailing

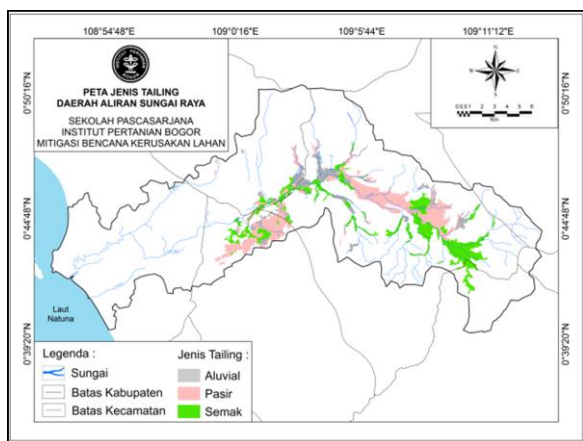
Mengacu pada PP nomor 19 tahun 1994, *tailing* termasuk dalam kategori limbah yang merupakan bahan sisa suatu kegiatan dan atau proses produksi yang melampaui nilai ambang batas dan dapat membahayakan lingkungan sekitarnya. *Tailing* merupakan limbah hasil proses penggerusan batuan tambang yang mengandung bijih mineral, dengan komposisi 50% batuan dan 50% air sehingga sifatnya seperti lumpur. Jika kolam penampungan limbah tidak tersedia, maka *tailing* langsung dibuang pada lokasi tambang. Hal ini menyebabkan terjadinya potensi pencemaran lingkungan. *Tailing* hasil ekstraksi logam emas umumnya masih mengandung beberapa logam yang terbentuk bersamaan dengan proses pembentukan mineral emas. Mineral yang mengandung emas biasanya berasosiasi dengan perak, besi, seng dan tembaga, sehingga pertambangan emas tanpa izin yang tidak memiliki kolam penampungan limbah umumnya akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan, seperti sedimentasi yang berakibat pendangkalan badan perairan (Ramadan *et al.*, 2011).

Akibat aktivitas pertambangan di lokasi penelitian teridentifikasi dua jenis *tailing*, yaitu tanah aluvial dan pasir (Gambar 3). Hasil pengamatan di lapangan

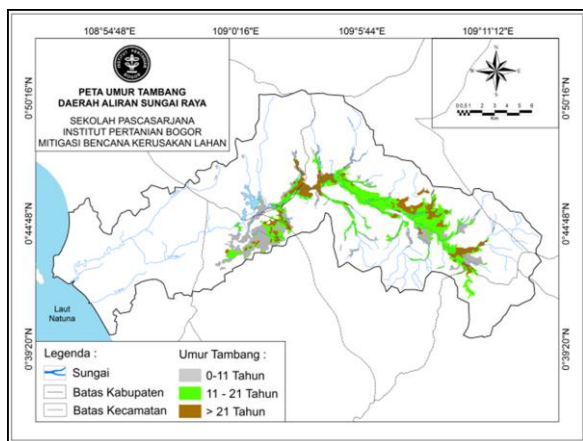
menunjukkan bahwa, pada *tailing* aluvial yang sudah tidak ditambang >5 tahun berkembang rumput teki, ini menunjukkan bahwa lahan bekas tambang masih memiliki vegetasi. Hal tersebut diperkuat dengan teridentifikasinya vegetasi tercekam dengan metode NDVI (Gambar 2). Luas lahan berdasarkan jenis *tailing* tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Luas lahan berdasarkan jenis *tailing*

Jenis <i>Tailing</i>	Luas	
	ha	%
Pasir, lubang galian	2,155	47.35
Aluvial, lubang galian	628	13.80
Pasir/aluvial bersemak	1,768	38.85
Total	4,551	100.00



(a)



(b)

Gambar 3. Peta jenis *tailing* (a) dan umur tambang (b)

Pengembangan Model Pencemaran Perairan

Kandungan dan Sebaran Spasial Kadar Mercury (Hg)

Logam berat adalah logam dengan massa jenis 5 g cm⁻³ atau lebih, dengan nomor atom 22 sampai dengan 92 (Palar, 2008). Dengan massa jenis 13.6 mg l⁻¹, Hg termasuk dalam logam berat (Bondy dan Prasad, 1988). Pencemaran Hg di lokasi tambang emas tanpa izin berawal dari proses pencampuran Hg dengan konsentrat emas. Pemisahan Hg dengan konsentrat emas dilakukan dengan cara pembakaran yang memungkinkan terjadinya

penguapan Hg ke udara untuk selanjutnya terdeposisi di badan perairan bersama air hujan dan air limpasan. Peta sebaran kadar mercury (Gambar 5) menunjukkan bahwa daerah selatan Danau Serantangan sudah tercemar oleh mercury (Tabel 8), sedangkan di utara masih belum terjadi pencemaran. Luasnya areal tercemar Hg disebabkan oleh tingginya intensitas penambangan di badan perairan. Proses pemisahan konsentrat emas dengan bahan lainnya dilakukan di pinggir danau sehingga meningkatkan pencemaran Hg di perairan Danau Serantangan.

Tabel 8. Luas areal Danau Serantangan berdasarkan kadar Hg

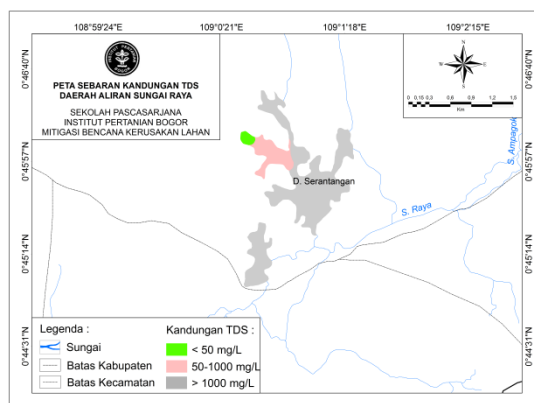
Kadar Hg (mg l ⁻¹)	Luas	
	ha	%
< 0.002	43	34.31
0.002-0.005	0	0.00
> 0.005	83	65.69
Total	126	100.00

Kandungan dan Sebaran Spasial Kadar TDS

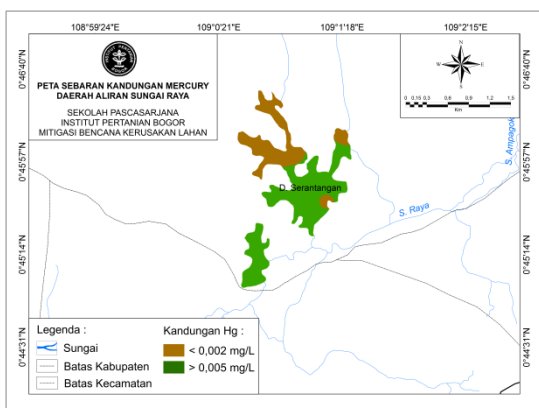
TDS (*total dissolve solid*) adalah jumlah zat padat yang terlarut dalam air (baik organik maupun anorganik). Semakin besar nilai zat terlarut maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran. Pencemaran ada areal tambang terjadi karena masuknya *tailing* berupa lumpur dan mineral lain ke badan perairan. Konsentrasi aktivitas pertambangan di Selatan Danau menyebabkan tingginya kandungan TDS, sedangkan pada daerah Utara tidak mengalami pencemaran yang berarti (Gambar 4). Luas areal Danau Serantangan berdasarkan Kadar TDS tersaji pada Tabel 9.

Tabel 9. Luas areal Danau Serantangan berdasarkan kadar TDS

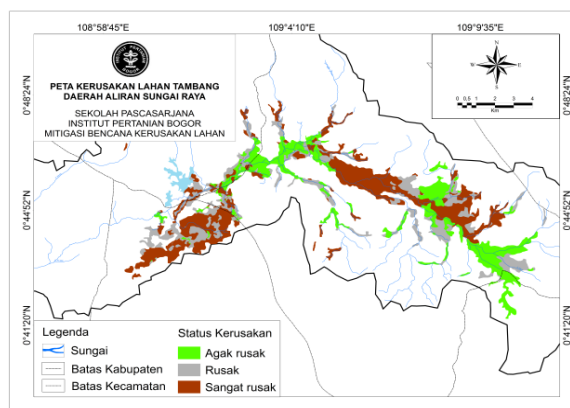
Kadar TDS (mg l ⁻¹)	Luas	
	ha	%
< 50	3	2.38
50-1000	17	13.49
> 1000	106	84.13
Total	126	100.00



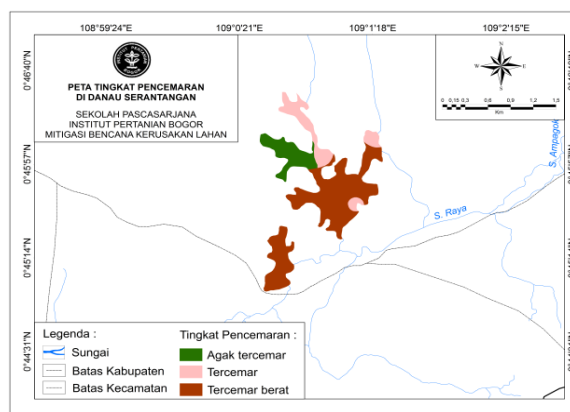
Gambar 4. Peta sebaran kadar TDS di Danau Serantangan



Gambar 5. Peta sebaran kadar Hg di Danau Serantangan



(a)



(b)

Gambar 6. Peta tingkat kerusakan lahan DAS Raya (a) dan peta tingkat pencemaran perairan Danau Serantangan (b)

Model Kerusakan Lahan dan Pencemaran Perairan Model Kerusakan Lahan Tambang

Pada Tabel 10 disajikan status dan luasan kerusakan lahan tambang emas di lokasi penelitian. Lahan yang termasuk sangat rusak mencapai 41.97% dari luasan total (4,551 ha) lokasi penelitian dan tersebar baik pada areal bervegetasi maupun yang tidak bervegetasi, dengan tingkat ketelitian model yang dikembangkan mencapai 88.30%. Hasil overlay peta nilai NDVI dengan peta tingkat kerusakan lahan menunjukkan bahwa areal dengan vegetasi tercekam dan tidak bervegetasi dijumpai baik pada lahan dengan status sangat rusak, rusak maupun agak rusak (Tabel 11).

Tabel 10. Status kerusakan lahan tambang

Status	Luas	
	ha	%
Agak rusak	1,335	29.33
Rusak	1,306	28.70
Sangat rusak	1,910	41.97
Total	4,551	100.00

Tabel 11. Hasil overlay peta nilai NDVI dengan peta tingkat kerusakan lahan

Kondisi Tutupan Vegetasi Berdasarkan Klasifikasi NDVI	Luas pada Tingkat Kerusakan Lahan					
	Agak Rusak		Rusak		Sangat Rusak	
	ha	%	ha	%	ha	%
Vegetasi tercekam	886	19.47	615	13.51	483	10.61
Tidak bervegetasi	449	9.87	691	15.18	1,427	31.34

Model Pencemaran Perairan

Tingginya aktivitas pertambangan di daerah hilir Danau Serantangan menyebabkan 65.87% perairannya termasuk sangat tercemar, sedangkan daerah hulunya termasuk agak tercemar dan tercemar (Tabel 12, Gambar 6). Tingkat ketelitian model pencemaran perairan yang dikembangkan mencapai 82.57%.

Tabel 12. Tingkat pencemaran perairan di Danau Serantangan

Status	Luas	
	ha	%
Agak tercemar	20	15.87
Tercemar	23	18.25
Sangat tercemar	83	65.87
Total	126	100.00

Ulasan Singkat Tentang Model

Model kerusakan lahan dibuat berdasarkan variabel jenis *tailing* dan umur tambang yang diturunkan berdasarkan interpretasi citra Landsat. Citra satelit yang digunakan terbukti baik karena hasil pemodelan memiliki akurasi tinggi, tetapi proses penentuan variabel tersebut membutuhkan pengetahuan yang memadai tentang kenampakan objek di lapangan, karena kenampakan tidak selalu menggambarkan jenis *tailing* maupun umur tambang. Namun demikian, ketersediaan data Landsat gratis menunjukkan keuntungan yang sangat tinggi dalam membuat model.

Berbeda dengan pengembangan model pencemaran perairan dibuat berdasarkan hasil pengukuran lapang kadar TDS dan mercury di Danau Serantangan yang kemudian diinterpolasi dan diberi skor berdasarkan tingkat pencemaran. Pemanfaatan citra Landsat belum dikembangkan untuk identifikasi TDS dan mercury. Secara teori kenampakan kekeruhan di air bisa diidentifikasi dengan adanya perbedaan spektral. Pengembangan model pencemaran perairan dengan citra satelit sangat mungkin dikembangkan, dengan adanya ketersediaan citra satelit gratis.

SIMPULAN

1. Analisis perubahan lahan menggunakan citra Landsat multitemporal menunjukkan bahwa, lahan pertambangan

- emas tanpa izin di DAS Raya pada tahun 1992 seluas 995 ha meningkat 2,184 pada tahun 2002 menjadi 3,179 ha dan menjadi 1,372 ha pada tahun 2013 menjadi 4,551 ha.
2. Citra Landsat multitemporal dan data kualitas air untuk peubah kunci kadar TDS serta Hg dapat digunakan untuk membangun model spasial tingkat kerusakan lahan dan pencemaran perairan akibat aktivitas pertambangan emas tanpa izin di DAS Raya, Kalimantan Barat.
 3. Model kerusakan lahan tambang dibuat dengan perkalian skor jenis *tailing* dan umur tambang menunjukkan lahan sangat rusak seluas 1,910 ha (41.97%), rusak seluas 1,306 ha (28.70%) dan agak rusak seluas 1,335 ha (29.33%) dengan tingkat akurasi 88.30%.
 4. Model pencemaran perairan di Danau Serantangan dibuat berdasarkan perkalian skor kadar TDS dan mercury menunjukkan bahwa, perairan sangat tercemar seluas 83 ha (65.87%), tercemar seluas 23 ha (18.25%) dan agak tercemar seluas 20 ha (15.87%) dengan tingkat akurasi 82.57%.
- ### DAFTAR PUSTAKA
- Bondy, S.C., and K.N. Prasad. 1988. *Metal Neurotoxicity*. CRC Press, Boca Raton. 347pp.
- Borana, S.L., S.K. Yadav, S.K. Parihar, and V.S. Palria. 2014. Impact analysis of sandstone mines on environment and lu/lc features using remote sensing and GIS technique: A case study of the Jodhpur City, Rajasthan, India. *J. Environ. Res. Dev. Qual.*, 02:797-804.
- Fitter, A.H. 1992. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Gajahmada University Press, Yogyakarta.
- Gunawan, A., I.N. Suratijaya, dan M.B. Saleh. 2010. Teknik cepat identifikasi lahan terbuka melalui citra multi temporal dan multi spasial. *J. Manajemen Hutan Tropika*, 16: 63-72.
- Heidhues, M.S. 2008. *Penambang Emas, Petani, dan Pedagang di Distrik Tiongkok Kalimantan Barat*. (Penerjemah) Yayasan Nabil, Jakarta.
- Lillesand, T., dan R.W. Kiefer. 1997. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Dulbahri (Penerjemah). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Noor, D. 2006. *Geologi Lingkungan*. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Ramadan, T.M., M.G. Abdelsalam, and R.J. Stern. 2011. Mapping gold-bearing massive sulfide deposits in the neoproterozoic allaqi suture southeast egypt with Landsat TM and SIR-C/X SAR Image. *J. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67: 491-497.
- Setiabudi, B.T., M. Sukandar dan A. Ahdiat. 2006. Pemantauan dan Pendataan Bahan Galian pada Bekas Tambang dan Wilayah Peti di Kabupaten Banjar. http://www.dim.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=229&Itemid=266 (diakses 12 Juni 2014).
- Swain, P.H., and S.M. Davis. 1978. *Remote Sensing: the Quantitative Approach*. Mcgraw- Hill, New York 395pp.
- Toren, T., and E. Unal. 2001. Assessment of open pit coal mining impacts using remote sensing: A case study from Turkey. 17th Intern. *Mining Congress and Exhibition of Turkey*. ISBN 975-395-417-4.
- Turban, E., and J. Anderson. 1998. *Decision Support System and Expert Systems*. 5th ed. Prentice Hall.
- USGS. 2002. Landsat 7 Science Data Users Hand Book. <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook.html> (diakses 12 November 2013).
- USGS. 2013. Using the USGS Landsat 8 Product. http://Landsat7.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php (diakses 12 November 2013).