

METODE PEMANTAUAN EKSPLOITASI DAN REKLAMASI TAMBANG BATUBARA MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-2

(MONITORING METHODS OF COAL MINE EXPLOITATION AND RECLAMATION USING SENTINEL-2 DATA)

Samsul Arifin^{1,a}, Johannes Manalu^{1,a}, Tatik Kartika^{1,b}, Fajar Yulianto^{1,b}, Atriyon Julzarika^{1,b},
Mukhoriyah^{1,b}, Kusumaning Ayu Dyah Sukowati^{1,b}, Gatot Nugroho^{1,b}

¹Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN

^aKontributor Utama, ^bKontributor Anggota

Email: samsul_japan@yahoo.com

Diterima 30 Maret 2020; Direvisi 16 Juli 2020; Disetujui 18 Desember 2020

ABSTRACT

Mining is an activity of extracting non-renewable natural resources, including coal whose management cannot be separated from the company. In realizing mining activities must be managed optimally, so it is necessary to supervise and monitor their activities effectively and efficiently. Supervision and monitoring can use remote sensing technology which has a wide coverage and continuous availability of data. The research objective was to develop a method of monitoring the exploitation and reclamation of coal mines using Sentinel-2 data. The novelty of the method of this research is to use a hybrid classification of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Burn Ratio (NBR). Determination of exploited and reclaimed land by taking into account the requirements for the difference in the Δ NDVI and Δ NBR threshold values. The results of land research were exploited in 2017-2018 if the NDVI threshold value was Δ NDVI < -0.08857 dan Δ NBR > 0.02926 . Whereas the vegetation reclaimed land in 2017-2018 if the threshold value of Δ NDVI > -0.08857 dan Δ NBR < -0.08433 . NDVI and NBR extracted from remote sensing data can be used to monitor coal mining exploitation and reclamation activities. The classification accuracy rate for exploitation and reclamation identification reaches 78%.

Keywords: *mining, coal, exploitation, reclamation, Sentinel-2, geobiophysics*

ABSTRAK

Pertambangan merupakan aktivitas penggalan sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui, termasuk batu bara yang pengelolaannya tidak terlepas dari perusahaan. Dalam mewujudkan kegiatan pertambangan harus dikelola secara optimal, sehingga perlu pengawasan dan pemantauan aktivitasnya secara efektif dan efisien. Pengawasan dan pemantauan dapat menggunakan teknologi penginderaan jauh yang memiliki cakupan luas dan ketersediaan data secara berkesinambungan. Tujuan penelitian untuk membuat metode pemantauan eksploitasi dan reklamasi tambang batubara dengan data Sentinel-2. Kebaruan metode dari penelitian ini adalah menggunakan klasifikasi indeks gabungan atau hybrid Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Normalized Burn Ratio (NBR). Penentuan lahan tereksploitasi dan terekklamasi dengan memperhatikan persyaratan selisih nilai ambang batas (Δ) NDVI dan (Δ) NBR. Hasil penelitian lahan dieksploitasi pada tahun 2017-2018 jika nilai ambang Δ NDVI $< -0,08857$ dan Δ NBR $> 0,02926$. Sedangkan lahan direklamasi vegetasi pada tahun 2017-2018 jika nilai ambang batas Δ NDVI $> -0,08857$ dan Δ NBR $< -0,08433$. NDVI dan NBR yang diekstrak dari data penginderaan jauh dapat digunakan untuk memantau aktivitas eksploitasi dan reklamasi pertambangan batu bara. Tingkat akurasi klasifikasi untuk identifikasi eksploitasi dan reklamasi mencapai 78%.

Kata Kunci: *tambang, eksploitasi, reklamasi, Sentinel-2, geobiofisik*

1 PENDAHULUAN

Bahan tambang merupakan kekayaan alam yang tak terbarukan (*unrenewable*), sehingga pengelolaannya harus diselenggarakan dan dimanfaatkan secara optimal untuk masa sekarang dan masa mendatang. Agar hal tersebut dapat tercapai maka pengelolaan pertambangan harus lebih memperhatikan aspek sosial dan lingkungan hidup. Tetapi pertambangan tidak dapat dilepaskan dari aspek perusahaan, karena kegiatan pertambangan pada prinsipnya mengambil objek tambang dengan tujuan untuk dimanfaatkan masyarakat dalam memenuhi kebutuhannya. Walaupun pertambangan memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian, akan tetapi juga potensial menimbulkan kerusakan lingkungan.

Untuk membantu pemantauan dan pengawasan terhadap aktivitas pertambangan secara efektif dan efisien, dapat digunakan data yang memiliki cakupan luas dan ketersediaan data dari waktu ke waktu secara berkesinambungan. Penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan di atas, dengan kemampuan untuk mendeteksi permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan permukaan bumi. Tujuan penelitian ini untuk membuat model pemantauan eksploitasi tambang batubara dengan menggunakan data Sentinel-2.

Penginderaan jauh telah banyak diaplikasikan untuk berbagai identifikasi sumber daya alam dan fenomena yang terjadi di permukaan bumi baik di daratan maupun di lautan. Sehingga data penginderaan jauh dapat membantu langkah awal dari pertambangan mulai dari perencanaan, eksplorasi, eksploitasi dan rehabilitasi pertambangan. Dari berbagai teknik pengolahan dan formula yang dapat digunakan untuk identifikasi dan memantau fenomena perubahan permukaan bumi antara lain *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, dan *Normalized Burn Ratio (NBR)*. Selain untuk hal tersebut, Sentinel-2 juga dapat digunakan untuk identifikasi tubuh air (Kaplan & Avdan, 2017)

NDVI adalah indeks tanpa dimensi yang menggambarkan perbedaan antara pantulan cahaya tampak dan inframerah-dekat dari tutupan vegetasi dan dapat digunakan untuk memperkirakan kepadatan hijau pada area lahan (Weier, J dan Herring, D, 2000). Salah satu aplikasi data penginderaan jauh adalah untuk mengidentifikasi fenomena perubahan lahan pertambangan dan luas lahan nonpertambangan dengan menggunakan metode Indeks Vegetasi (NDVI) (Julzarika, 2018). Selain itu data penginderaan jauh multitemporal Landsat TM digunakan untuk membantu mengidentifikasi dan memantau kemajuan di bidang rehabilitasi dengan menggunakan analisis *Normalize*

Difference Vegetation Index (NDVI) dan *Tasseled Cap Transformation*, dimana metode ini dapat menunjukkan keberhasilan reklamasi (Erener, 2011).

Penggunaan data penginderaan jauh multi-temporal dapat memberikan penilaian dampak lingkungan dari operasi penambangan. Data penginderaan jauh memungkinkan identifikasi, penggambaran, dan pemantauan sumber polusi dan daerah yang terkena dampak, termasuk tanah telantar, dan perubahan penggunaan lahan permukaan dan badan air (Charou et al., 2010). Teknologi penginderaan jauh dalam pemantauan polusi lingkungan tambang, pemantauan bencana geologis, dan pemantauan kegiatan pertambangan untuk pemukiman manusia dan untuk perlindungan dan pengelolaan lingkungan tambang yang lebih baik (Li et al., 2015).

Pemantauan aktivitas pertambangan yang banyak dilakukan sebelumnya adalah dengan menggunakan teknik deteksi perubahan dari hasil analisis klasifikasi dua citra pada waktu yang berbeda. Wajs (2018) melakukan deteksi perubahan penutup lahan pada kawasan pertambangan dengan menggunakan hasil segmentasi citra satelit Sentinel-2B dua waktu yang berbeda.

Buczyńska (2020) telah melakukan *review* terhadap beberapa makalah di Polandia, dengan judul makalahnya "*Remote Sensing and GIS Technologies In Land Reclamation and Landscape Planning Processes on Post-Mining Areas in The Polish And World Literature*".

Dalam makalah tersebut terdapat beberapa literatur penelitian yang terkait dengan *monitoring* lingkungan *mining* dengan menggunakan penginderaan jauh. Padmanaban et al. (2017) melakukan pendekatan penginderaan jauh untuk pemantauan lingkungan di area tambang reklamasi. Xiao et al. (2020) Memetakan kerusakan dan reklamasi lahan tahunan di wilayah permukaan pertambangan batubara menggunakan *Google Earth Engine* dan Algoritma *LandTrendr* dengan judul "Studi Kasus Ladang Batubara Shengli di Mongolia Dalam, Cina". Karun & Sukha (2016) melakukan penilaian potensi penginderaan jauh dan teknik Geografi Informasi Sistem (GIS) untuk memantau keberhasilan reklamasi di lahan kritis tambang batubara. Sementara citra satelit dari sensor aktif Sentinel-1A dan sensor pasif Sentinel-2A/2B dapat diaplikasikan pada pemantauan area pertambangan yang difokuskan untuk mendeteksi perubahan lahan (Wajs, 2018).

Penelitian bertujuan untuk menentukan metode pemantauan perubahan eksploitasi dan reklamasi pertambangan batubara menggunakan *hybrid* NDVI dan NBR dengan data Sentinel-2.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Lokasi penelitian diambil dari pertambangan batu bara di Kalimantan Selatan yang ditampilkan dalam Gambar 2-1.

Tabel 2-1: KARAKTERISTIK SENTINEL-2

Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (m)
Band 1 - Coastal Aerosol	0,443	60
Band 2 - Blue	0,490	10
Band 3 - Green	0,560	10
Band 4 - Red	0,665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0,705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0,740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0,783	20
Band 8 - NIR	0,842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0,865	20
Band 9 - Water Vapour	0,945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1,375	60
Band 11 - SWIR	1,610	20
Band 12 - SWIR	2,190	20



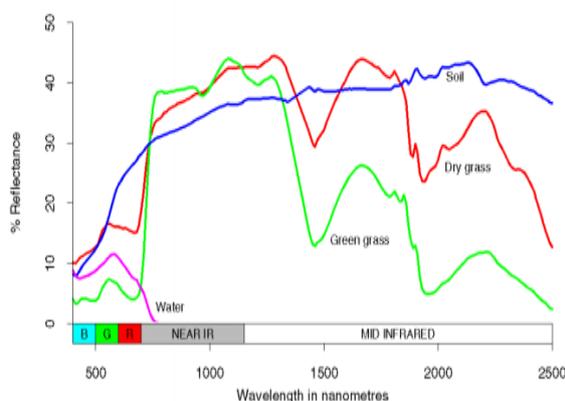
Gambar 2-1: Lokasi Penelitian Rangka Malinkung, Tapin Utara, Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan 71114, Indonesia

2.2 Standardisasi Data

Data yang digunakan Sentinel-2 mozaik tahunan 2017 dan 2018. Sementara NDVI dan NBR menggunakan *band* 4 (*red*), *band* 8 (NIR) dan *band* 11 (SWIR). Resolusi temporal satelit Sentinel-2 setiap 5 hari. Resolusi spasial 10 m, 20 m dan 60 m. Luas sapuan 290 km dan mempunyai kebijakan data terbuka untuk umum.

2.3 Metode Penelitian

Teori respons panjang gelombang spektrum terhadap objek secara umum permukaan bumi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2, digunakan sebagai dasar pengolahan atau referensi data Sentinel-2 untuk menentukan adanya perubahan fenomena di permukaan bumi. Khususnya fenomena di pertambangan dengan cara mendeteksi parameter geobifisik indeks vegetasi, tanah dan air.

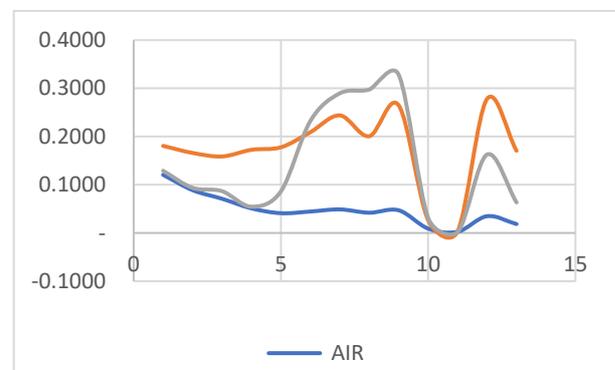


Gambar 2-2: Kurva *reflectance* pada panjang gelombang setiap *band* pada sensor

2.3.1 NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks "kehijauan" tanaman atau aktivitas fotosintesis, dan

merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling umum digunakan. Indeks vegetasi didasarkan pada pengamatan bahwa permukaan yang berbeda mencerminkan jenis cahaya yang berbeda pula. Vegetasi yang aktif berfotosintesis, menyerap sebagian besar cahaya merah dan memantulkan banyak cahaya inframerah dekat. Vegetasi yang mati atau kering memantulkan lebih banyak cahaya merah dan sedikit cahaya inframerah. Demikian juga, permukaan nonvegetasi memiliki *reflectance* yang jauh lebih merata di seluruh spektrum cahaya. Profil *reflectance* Sentinel-2 pada wilayah pertambangan ditunjukkan pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3: Pantulan objek wilayah pertambangan (Analisis Data Sentinel-2)

Dengan mengambil rasio NIR (*band* 8) dan *Red* (*band* 4) dari citra Sentinel-2, indeks vegetasi / tingkat kehijauan dapat ditentukan. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan formula ini mungkin yang paling umum dari indeks rasio untuk vegetasi. NDVI yang dihitung berdasarkan per *pixel* sebagai perbedaan yang dinormalisasi antara spektrum NIR dan *Red* dari sebuah citra:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2-1)$$

dimana NIR adalah nilai *band* inframerah dekat dan RED adalah nilai *band* merah. NDVI dapat dihitung untuk citra apa pun yang memiliki spektrum inframerah merah dan dekat. Interpretasi biofisik dari NDVI adalah sebagian kecil dari radiasi aktif foto sintesis yang diserap.

Output dari NDVI adalah *file* citra baru. Nilai NDVI dapat berkisar dari -1,0 hingga +1,0, tetapi nilai yang kurang dari nol biasanya tidak memiliki arti ekologis, sehingga rentang indeks terpotong

menjadi 0,0 hingga +1,0. Nilai indeks lebih tinggi menandakan perbedaan yang lebih besar antara radiasi inframerah merah dan dekat yang direkam oleh sensor pada suatu kondisi aktif berfotosintesis. Nilai NDVI yang rendah berarti ada sedikit perbedaan antara sinyal merah dan NIR. Ini terjadi ketika ada sedikit aktivitas fotosintesis, atau ketika hanya ada sangat sedikit pantulan cahaya NIR (yaitu, air memantulkan sangat sedikit cahaya NIR).

Sementara unuk mementukan adanya perubahan vegetasi dari tahun sebelum dan sesudah ditambang tahun setelahnya maka digunakan persamaan (2-2).

$$\Delta NDVI = NDVI_{t1} - NDVI_{t2} \quad (2-2)$$

2.3.2 NBR

Normalized Burn Ratio (NBR) pada penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi area yang telah dieksploitasi pertambangan dan untuk menentukan indeks tingkat keterbukaan lahan menggunakan citra Sentinel-2. Rumus untuk NBR menggunakan *Near Infrared* (NIR) dan *Short Wave Infrared* (SWIR) band 11 (Lopez, 1991; Key & Benson, 1995).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (2-3)$$

Untuk area tertentu, NBR dihitung dari citra sebelum penambangan dan NBR kedua dihitung untuk citra segera setelah penambangan. Tingkat lahan dan tingkat keterbukaan lahan dinilai dengan mengambil perbedaan antara indeks ini:

$$\Delta NBR = NBR_{t1} - NBR_{t2} \quad (2-4)$$

Tabel 2-2 dari program *United States Geological Survey* (USGS) *FireMon* dapat berguna untuk perkiraan pertama untuk menafsirkan perbedaan NBR yang diambil dari analogi keparahan kebakaran sebagai referensi untuk tingkat pelaksanaan penambangan.

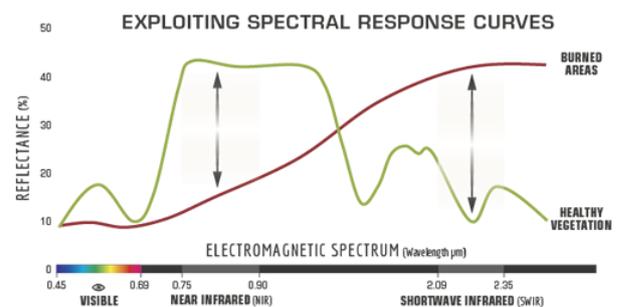
Tumbuhan sehat sangat kuat spektrum pada bagian NIR, sedangkan tumbuhan rusak akibat kebakaran spektrum bagian SWIR lebih kuat. Kombinasi ini kuat untuk mengidentifikasi lahan dengan batang vegetasi mati (kayu bekas luka atau kulit

kayu) dan tanah atau bumi. Implementasi persamaan NBR yang berdasarkan kurva respons spektrum area vegetasi sehat dan area terbakar atau lahan terbuka bersumber dari Dinas Kehutanan AS seperti ditunjukan Gambar 2-4 (<http://un-spider.org>).

Tabel 2-2: ΔNBR BURN SEVERITY CATEGORIES

ΔNBR	Tingkat Keparahan
<-0,25	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang tinggi
-0,25 hingga -0,1	Pertumbuhan kembali pasca kebakaran yang rendah
-0,1 hingga +0,1	Tidak terbakar
0,1 hingga 0,27	Lahan terbakar dengan keparahan rendah
0,27 hingga 0,44	Tingkat keparahan sedang-rendah
0,44 hingga 0,66	Tingkat keparahan sedang-tinggi
> 0,66	Lahan terbakar dengan keparahan tinggi

Spektrum NIR sangat kuat mencerminkan tumbuhan sedangkan spektrum SWIR sangat kuat mencerminkan batang terbakar atau lahan terbuka. Kombinasi NIR dan SWIR sangat optimal untuk mengidentifikasi daerah dengan batang mati (kayu bekas luka/kulit kayu) dan tanah/bumi. Sumber: Dinas Kehutanan AS.



Gambar 2-4: Kurva Perbedaan pantulan ada panjang gelombang untuk objek vegetasi dan lahan terbakar atau terbuka

Klasifikasi pada Tabel 2-3 dapat digunakan untuk mengklasifikasikan perbedaan kelompok (*cluster*) objek titik-titik lokasi tambang berdasarkan tingkat penambangan. Dari penelitian mungkin berbeda dari Tabel 2-3. Kelas yang dihasilkan disesuaikan nilai minimum dan maksimum.

Tabel 2-3: KLASIFIKASI TINGKAT PENAMBANGAN

Kelas Tingkat Penambangan	dNBR RANGE
Peningkatan pertumbuhan kembali	< - 0,1
Tidak Ditambang	- 0,1 hingga + 0,1
Penambangan Rendah	+ 0,1 hingga + 0,27
Tingkat Penambangan Sedang	+ 0,27 hingga + 0,66
Tingkat Penambangan Tinggi	> 0,66

2.3.4 Rancangan Model Eksploitasi dan Reklamasi

Untuk mendeteksi adanya eksploitasi dan reklamasi pada formula menggunakan persyaratan ambang batas (*threshold*) masing-masing indeks.

Eksploitasi = $If \Delta NDVI < n$ dan $If \Delta NBR > m$ (2-5)

Reklamasi = $If \Delta NDVI > n$ dan $If \Delta NBR < m$ (2-6)

dengan n adalah nilai ambang batas NDVI dan m adalah nilai ambang batas NBR.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Lahan Tambang Menggunakan Sentinel-2

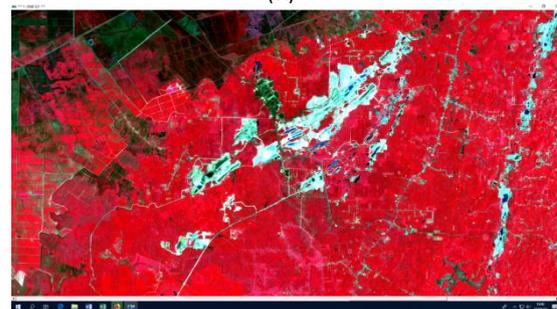
Identifikasi adalah kegiatan yang mencari, menemukan, mengumpulkan, meneliti, mendaftarkan, mencatat data dan informasi dari “kebutuhan” lapangan. Sehingga fungsi dan tujuan identifikasi kebutuhan program adalah mengetahui berbagai masalah atau kebutuhan yang diinginkan oleh pengguna. Pada sektor pertambangan, untuk menganalisis data citra penginderaan jauh adalah mengidentifikasi lahan-lahan tambang. Lahan tambang pada citra secara visual dengan kombinasi tertentu dalam hal ini *band infrared, green* dan *blue* (*band 8, band 4* dan *band 2*) pada citra satelit Sentinel-2 (optik) tampak terang atau berwarna putih. Objek identifikasi ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Kondisi permukaan bumi di wilayah pertambangan terdapat 3 objek dasar yaitu lahan terbuka, vegetasi dan tubuh air. Objek-objek ini dapat diidentifikasi dengan menggunakan penginderaan jauh pada spektrum panjang gelombang pada sensor satelit penginderaan jauh. Sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2-1 tentang karakteristik sensor satelit Sentinel-2, terdapat 12 spektrum

panjang gelombang yang masing-masing spektrum memiliki kepekaan terhadap suatu objek.



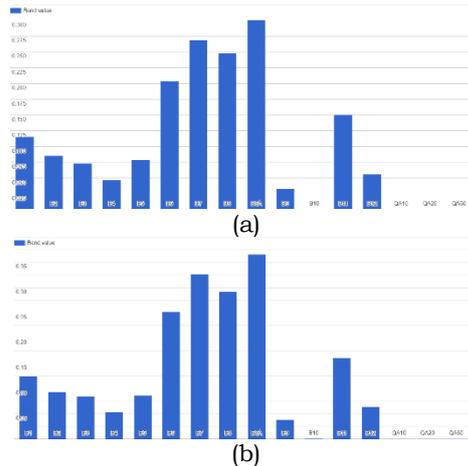
(a)



(b)

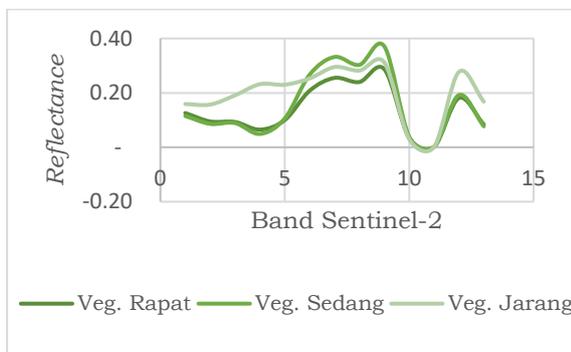
Gambar 3-1: Kombinasi *band* Sentinel-2 RGB (*Band 8, Band 4* dan *Band 2*) untuk identifikasi lahan tambang

Respons reflektasi spektrum panjang gelombang *band-band* pada Sentinel-2 terhadap objek vegetasi, terlihat memiliki pola yang sama. Perbedaan respons hanya terletak pada tingginya nilai reflektansi pada vegetasi rapat, sedang dan rendah. Respons spektrum sensor yang paling optimal terletak pada *Red Edge* dan NIR yaitu *band 6, band 7, band 8* serta *band 8A*. Untuk penentuan indeks vegetasi diperoleh dari perbandingan *reflectance band* tertinggi dengan pantulan *band* terendah yaitu *band red* dan NIR. Vegetasi pada Sentinel-2 *band 4* memiliki spektrum lebih rendah daripada *band 8*, dengan resolusi spasial sama 10m x10m, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-2.



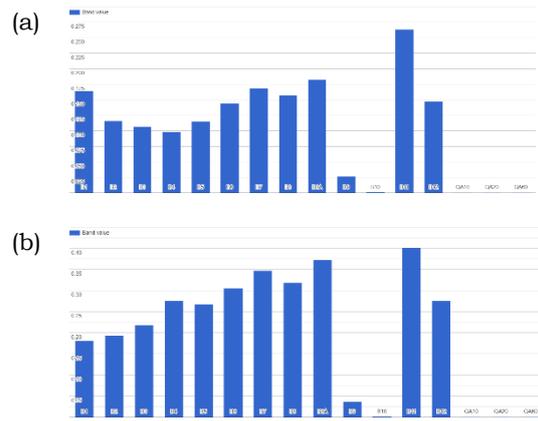
Gambar 3-2: Analisis spektrum untuk vegetasi di wilayah pertambangan dan sekitarnya: (a) Spektrum vegetasi area a; (b) Spektrum vegetasi area b

Gambar 3-3, menunjukkan bahwa vegetasi rapat ditunjukkan dengan nilai *reflectance band 8* tinggi dan *band 4* rendah, sedangkan vegetasi jarang nilai *reflectance band 8* rendah dibandingkan dengan *reflectance* vegetasi rapat dan *band 4* tinggi dari *band 4* vegetasi rapat. Perbandingan *band 8* dan *band 4* akan menghasilkan nilai indeks vegetasi dari rapat, sedang dan jarang.

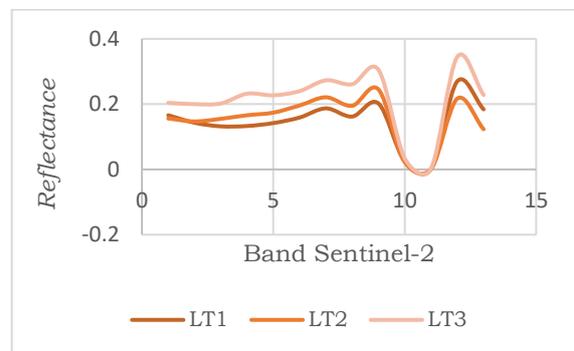


Gambar 3-3: Kurva *reflectance* Kerapatan Vegetasi

Gambar 3-4 menunjukkan bahwa *reflectance* semua *band* sangat respons terhadap lahan terbuka kecuali *band 1* dan *2*. *Band 11* memiliki nilai *reflectance* tertinggi untuk lahan terbuka. Perbandingan lahan terbuka di area pertambangan LT1 (terbuka basah), LT2 (terbuka kering) dan LT3 (terbuka bervegetasi) ditunjukkan Gambar 3-5.



Gambar 3-4: Analisis spektrum untuk lahan terbuka di wilayah pertambangan: (a) pertambangan 1; (b) pertambangan 2

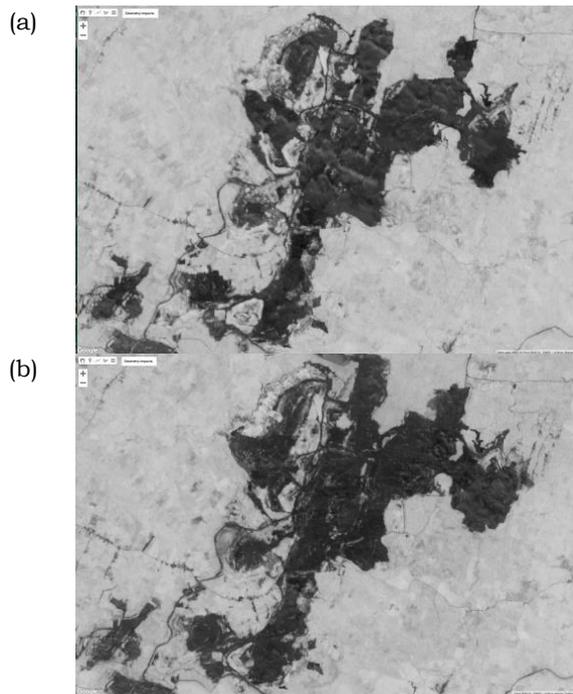


Gambar 3-5: Kurva *reflectance* lahan terbuka

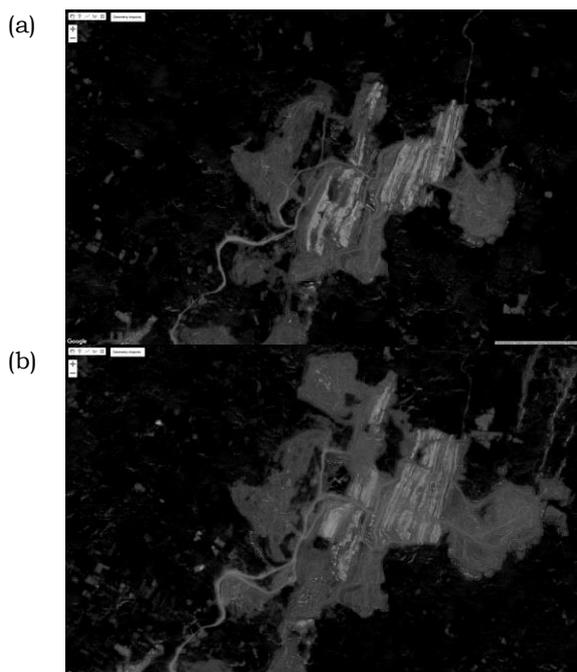
3.2 Pengolahan Indeks Vegetasi dan Indeks Tanah

Indeks objek yang diekstrak dari spektrum panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 3-5. Indeks-indeks ini diekstrak dari perbandingan rasio band pada satelit Sentinel-2. *Band-band* yang digunakan antara lain *band4* (red), *band 8* (NIR) dan *band 11* (SWIR). Pembuatan indeks NDVI objek dengan data Sentinel-2 tahun 2017 dan 2018 menggunakan formula perbandingan rasio *band 8* dan *band 4* yaitu persamaan (3-1) dengan hasil indeks Vegetasi tahun 2017 dan 2018 ditunjukkan pada Gambar 3-6(a) dan Gambar 3-6(b).

$$NDVI = \frac{(Band8 - band4)}{(Band8 + band4)} \tag{3-1}$$



Gambar 3-6: (a) Multi NDVI 2017; (b) Multi NDVI 2018



Gambar 3-7: (a) Multi NBR 2017; (b) Multi NBR 2018

Sedangkan formula untuk menentukan NBR menggunakan perbandingan rasio *band* 8 dan *band* 11 yaitu persamaan (3-2) dengan hasil indeks Lahan Terbuka tahun 2017 dan 2018 ditunjukkan pada Gambar 3-7(a) dan Gambar 3-7(b).

$$NBR = \frac{(Band8 - Band 11)}{(Band8 + Band 11)} \quad (3-2)$$

3.3 Eksploitasi dan Reklamasi

Untuk mendeteksi adanya eksploitasi dan reklamasi pada persamaan menggunakan persyaratan ambang batas (*threshold*) masing-masing indeks sebagai mana pada persamaan (3-3) dan (3-4).

$$\text{Eksploitasi} = \text{If NDVI} < n \text{ dan If NBR} > m \quad (3-3)$$

$$\text{Reklamasi} = \text{If NDVI} > n \text{ dan If NBR} < m \quad (3-4)$$

Dimana *n* adalah nilai ambang batas NDVI dan *m* adalah nilai ambang batas NBR.

Hasil pengolahan dari data Sentinel-2 dengan menggunakan persyaratan Tabel 3-1 dihasilkan informasi spasial aktivitas pertambangan eksploitasi dan reklamasi ditunjukkan pada Gambar 3-8. Dalam aktivitas pertambangan, lahan tambang diindikasikan mengalami eksploitasi pada tahun 2017-2018 jika $\Delta \text{NDVI} < -0,08857$ dan $\Delta \text{NBR} > 0,02926$. Sedangkan lahan tambang diindikasikan direklamasi vegetasi pada tahun 2017-2018 jika $\Delta \text{NDVI} > -0,08857$ dan $\Delta \text{NBR} < -0,08433$. Eksploitasi dan reklamasi sebelum tahun 2017 jika memiliki $\Delta \text{NDVI} = -0,08857$ sampai $0,03277$ dan $\Delta \text{NBR} = -0,08433$ sampai $0,02926$ dengan syarat tambahan untuk reklamasi NDVI tahun 2017 $\geq 0,5$ sedangkan untuk eksploitasi NDVI tahun 2017 $< 0,5$. Dari hasil analisis pemantauan aktivitas pertambangan dengan menerapkan *threshold* pada fungsi bersyarat terlihat adanya perkembangan kegiatan eksploitasi (warna *orange*). Di tahun 2018 terjadi ekspansi lokasi penambangan khususnya ke arah timur laut, utara, dan timur. Adanya perubahan tutupan dari vegetasi menjadi bukaan tambang menyebabkan *reflectance* yang diterima oleh sensor pada kanal 4 (*Red*), kanal 8 (NIR), dan kanal 11 (SWIR) juga berubah. Perubahan tersebut juga mengakibatkan indeks vegetasi mengalami penurunan nilai dan sebaliknya indeks tanah mengalami peningkatan nilai. Fenomena perubahan indeks ini membuat pemantauan kegiatan eksploitasi dapat dilakukan.

Tabel 3-1: AMBANG BATAS PENENTUAN EKSPLOITASI DAN REKLAMASI

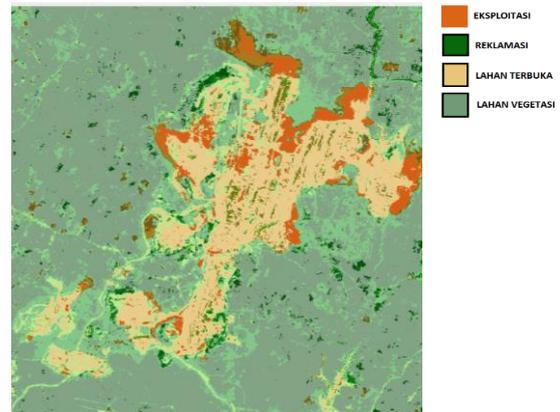
No	Aktivitas Tambang	n (NDVI)	m (NBR)	NDVI 2017
1	Eksploitasi tahun 2017 ke 2018	<-0,08857	> 0,02926	-
2	Reklamasi tahun 2017 ke 2018	> 0,03277	< -0,08433	-
3	Reklamasi sebelum tahun 2017	-0,08857 sd 0,03277	-0,08433 sd 0,02926	>= 0,5
4	Eksploitasi sebelum tahun 2017	-0,08857 sd 0,03277	-0,08433 sd 0,02926	< 0,5

Selain itu, reklamasi atau penanaman pohon pada lahan bekas penambangan juga dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode ini. Reklamasi (warna hijau) lahan terlihat pada bagian utara kawasan tambang. Perubahan tutupan lahan yang semula berupa lahan terbuka menjadi vegetasi menyebabkan peningkatan nilai *reflectance* pada kanal NIR. Sebaliknya kanal merah mengalami penurunan dibanding citra pada periode sebelumnya. Hal ini menyebabkan perubahan pada indeks vegetasi. Perubahan *reflectance* juga terjadi pada kanal SWIR yang disebabkan oleh adanya perubahan penutup lahan dari lahan terbuka menjadi vegetasi. Hal ini menyebabkan perubahan pada indeks tanah yang digunakan. Dengan menerapkan suatu *threshold* pada kedua indeks tersebut dapat diidentifikasi lokasi reklamasi yang dilakukan pada kawasan pertambangan.

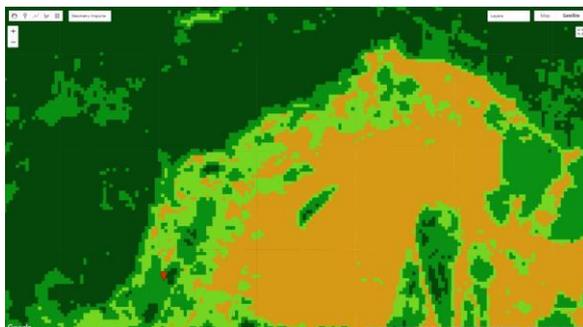
Meskipun metode ini mampu menunjukkan perkembangan kegiatan pertambangan, akan tetapi keberhasilan dari metode ini sangat bergantung pada kualitas data yang bersih dari awan karena *input* yang digunakan adalah citra optis. Keberadaan pengaruh awan atau kabut tipis dapat memberikan hasil

indeks yang tidak sesuai dengan yang seharusnya. Akibatnya proses deteksi perubahan indeks menjadi tidak tepat.

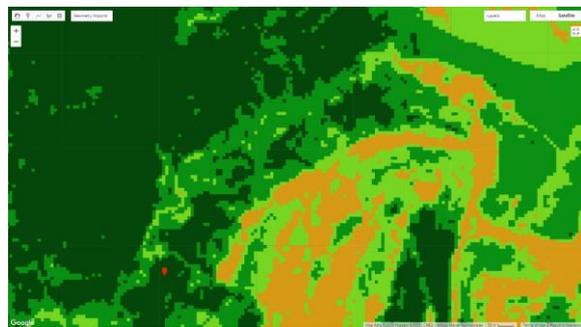
Gambar 3-9 menunjukkan pengambilan titik sampel uji akurasi, pada area pertambangan dengan tingkat akurasi terjadinya eksploitasi dan reklamasi cukup tinggi mencapai 78%, sedangkan untuk pertambangan dan sekitarnya luar pertambangan pada lokasi penelitian lebih rendah mencapai 71%, Hal ini banyak terjadi pada wilayah diluar tambang perubahan-perubahan penutup lahan vegetasi dan nonvegetasi.



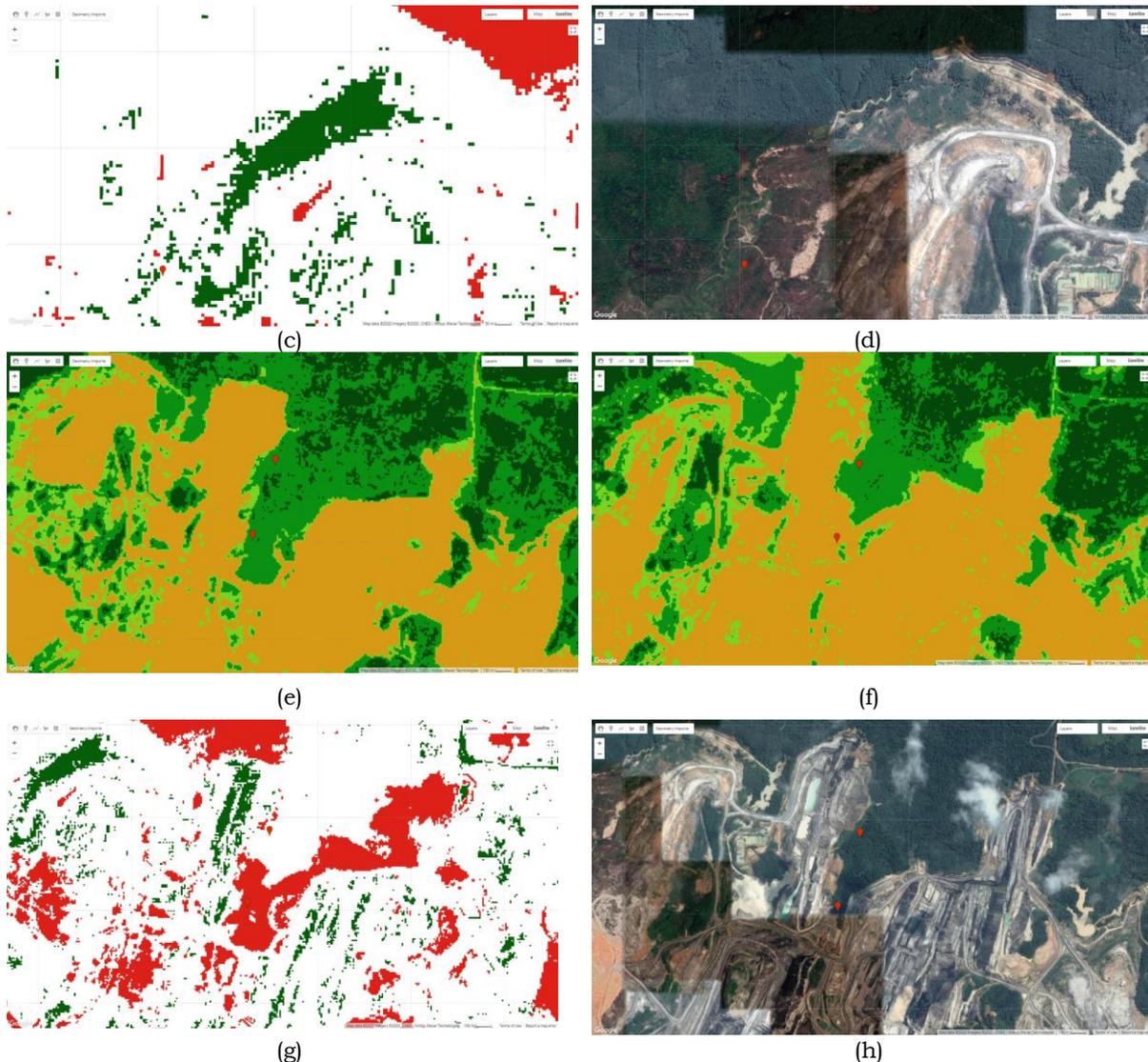
Gambar 3-8: Informasi spasial aktivitas eksploitasi dan reklamasi tahun 2017-2018



(a)



(b)



Gambar 3-9: Pengambilan titik sampel uji akurasi eksploitasi dan reklamasi tahun 2017-2018: (a) Citra informasi NDVI dan NBR 2017 (Titik 1); (b) Citra informasi NDVI dan NBR 2018 (Titik 1); (c) Citra informasi eksploitasi dan reklamasi tahun 2017-2018 (Titik 1); (d) Citra resolusi tinggi untuk uji akurasi tingkat ketelitian (Titik 1); (e) Citra informasi NDVI dan NBR 2017 (Titik 2); (f) Citra informasi NDVI dan NBR 2018 (Titik 2); (g) Citra informasi eksploitasi dan reklamasi tahun 2017-2018 (Titik 2); (h) Citra resolusi tinggi untuk uji akurasi tingkat ketelitian (Titik 2)

4 KESIMPULAN

Data Sentinel-2 dapat digunakan untuk memantau adanya aktivitas eksploitasi dan reklamasi vegetasi di pertambangan. Pemantauan eksploitasi dan reklamasi vegetasi menggunakan deteksi parameter tanah dan vegetasi yang diekstraksi dari data citra penginderaan jauh dengan menggunakan formula NBR dan NDVI.

Aktivitas eksploitasi pada tahun 2017-2018 menggunakan persyaratan ambang batas Δ NDVI $< -0,08857$ dan Δ NBR $> 0,02926$ serta NDVI. Aktivitas reklamasi vegetasi pada tahun 2017-

2018 menggunakan ambang batas Δ NDVI $> -0,08857$ dan Δ NBR $< -0,08433$, serta NDVI tahun 2017 $\geq 0,5$. Lahan yang mengalami indikasi eksploitasi dan reklamasi sebelum tahun 2017 Δ NDVI = $-0,08857$ sampai $0,03277$ dan Δ NBR = $-0,08433$ sampai $0,02926$ untuk reklamasi NDVI tahun 2017 $\geq 0,5$ sedangkan untuk eksploitasi NDVI tahun 2017 $< 0,5$. Tingkat akurasi klasifikasi untuk identifikasi eksploitasi dan reklamasi mencapai 78%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan pada Pusfatja LAPAN, ESDM Kalimantan Selatan, dan PT. BRE dan semua rekan peneliti yang membantu terselesaikannya penulisan penelitian dalam jurnal ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Buczyńska, A. 2020. *Remote Sensing and GIS Technologies In Land Reclamation and Landscape Planning Processes on Post-Mining Areas in The Polish And World Literature*. 2nd International Conference on Materials Engineering & Science (IConMEAS 2019), DOI: 10.1063/5.0000009.
- Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D., Vasiliou, E., dan Mavrantza O.D. 2010. *Using Remote Sensing to Assess Impact of Mining Activities on Land and Water Resources*. *Mine Water Environ*, 29:45–52, DOI: 10.1007/s10230-010-0098-0.
- Erener, A. 2011. *Remote sensing of vegetation health for reclaimed areas of Seyitömer open cast coal mine*. *International Journal of Coal Geology* vol.86, Issue 1, p:20-26.
- Julzarika, A. 2018. *Mining land identification in Wetar Island using remote sensing data*, *Journal of Degraded and Mining Lands Management*.
- Kaplan, G., dan Avdan, U. 2017. *Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery*, *European Journal of Remote Sensing*, 50:1, 137-143, DOI: 10.1080/22797254.2017.1297540.
- Karun, S.K., dan Sukha, R.S. 2016. *Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands*. *Journal of Environmental Management*, 182, 272 – 283.
- Key, C. and N. Benson, 2005. "Landscape Assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio; and ground measure of severity, the Composite Burn Index." In FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, RMRS-GTR, Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Li, Y., Zhao, H., dan Fan, J. 2015. *Application of Remote Sensing Technology in Mine Environment Monitoring*, *MATEC Web of Conferences* 22, DOI:10.1051/mateconf/20152204008.
- Lopez Garcia, M.J., and Caselles, V, 1991. "Mapping Burns and Natural Reforestation using Thematic Mapper Data. *Geocarto International* 6 : 31-37.
- Padmanaban, R., Bhowmik, Avit K., dan Cabral, P. 2017. *A Remote Sensing Approach to Environmental Monitoring in a Reclaimed Mine Area*. *Universidade Nova de Lisboa, Campus de Campolide*.
- Wajs, D. 2018. *First experience with Remote Sensing methods and selected sensors in the monitoring of mining areas – a case study of the Belchatow open cast mine*, *XVIIth Conference of PhD Students and Young Scientists*, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20182900023>.
- Weier, J dan Herring. D, 2000, *Measuring Vegetation (NDVI and EVI)*, EOS project Science Office at NASA Goddard Space Flight Center.
- Xiao, W., Deng, X., He, T.M., dan Chen, W. 2020. *Mapping Annual Land Disturbance and Reclamation in a Surface Coal Mining Region Using Google Earth Engine and the Land Trendr Algorithm: A Case Study of the Shengli Coalfield in Inner Mongolia, China*. *Remote Sens.* 2020, 12(10), 1612, <https://doi.org/10.3390/rs12101612>.
- <http://unspider.org/advisorysupport/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>