

**STUDI PERBANDINGAN METODE ARVI, EVI 2 DAN NDVI UNTUK
PENENTUAN KERAPATAN TAJUK DALAM IDENTIFIKASI LAHAN
KRITIS DI KABUPATEN BOYOLALI
(Studi Kasus: Kecamatan Ampel, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo dan
Kecamatan Musuk Kabupaten Boyolali)
Alfi Dian Ranu Wijaya^{*)}, Hani'ah, Nurhadi Bashit**

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : alfidrw@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan lahan yang tidak memperhatikan lingkungan disekitarnya dan peruntukan penggunaan lahan menjadikan lahan yang ada menjadi lahan kritis. Beberapa lahan kritis di Kabupaten Boyolali terletak di kawasan lereng Gunung Merapi dan Gunung Merbabu yang wilayahnya cukup luas dan memiliki topografi yang beragam. Lahan kritis ditentukan dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 tentang petunjuk teknis penyusunan data spasial lahan kritis. Pada peraturan tersebut terdapat 5 parameter yang menjadi acuan dalam penentuan lahan kritis dan penutupan lahan menjadi indikator terpenting dalam penentuan lahan kritis. Pemetaan penutupan lahan dapat menggunakan metode ARVI, EVI 2 dan NDVI. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan indeks vegetasi terbaik antara metode ARVI, EVI 2 dan NDVI. Indeks vegetasi terbaik diperoleh dari perbandingan hasil pengolahan citra Sentinel-2A dengan hasil validasi lapangan menggunakan 72 titik yang tersebar diseluruh wilayah penelitian. Indeks vegetasi terbaik digunakan lebih lanjut dalam penentuan lahan kritis dengan metode *scoring* dan pembobotan sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013. ARVI hanya menyajikan 4 kelas kerapatan tajuk yaitu tanpa kelas sangat rapat dengan didominasi kelas kerapatan buruk (77,27%). NDVI didominasi kelas kerapatan sangat rapat (59,92%). EVI 2 didominasi kelas kerapatan sedang (48,37%). NDVI menjadi metode terbaik dengan tingkat kesesuaian mencapai 59,92%, diikuti oleh EVI 2 sebesar 27,77% dan ARVI 13,8%. Hasil lahan kritis per fungsi kawasan didapatkan hasil bahwa kawasan hutan lindung didominasi oleh kelas potensial kritis dengan luas total 2447,19 ha. Lahan kritis di kawasan budidaya pertanian didominasi kelas agak kritis dengan 9.367,80 ha. Lahan kritis di kawasan lindung diluar kawasan hutan didominasi kelas agak kritis dengan luas 13,9 ha.

Kata Kunci : ARVI, EVI 2, indeks vegetasi, lahan kritis, NDVI, Sentinel-2A

ABSTRACT

The use of land that does not pay attention to the surrounding environment and the allocation of land use makes the existing land a critical land. Some of the critical lands in Boyolali Regency are located on the slopes of Mount Merapi and Mount Merbabu, which are quite extensive and have diverse topography. Critical land is determined using Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 concerning technical guidelines for preparing spatial data on critical land. In the regulation there are 5 parameters that become a reference in determining critical land and land cover to become the most important indicator in determining critical land. Mapping of land cover can use ARVI, EVI 2 and NDVI methods. This research was conducted to determine the best vegetation index between ARVI, EVI 2 and NDVI methods. The best vegetation index was obtained from the comparison of Sentinel-2A image processing results with the results of field validation using 72 points scattered throughout the study area. The best vegetation index is used further in determining critical land by scoring and weighting methods in accordance with the regulation. ARVI only presents 4 classes of canopy density which are very tightly classless with a predominantly poor density class (77.27%). NDVI is dominated by very tight density classes (59.92%). EVI 2 is dominated by medium density (48.37%). NDVI became the best method with a level of conformity reaching 59.72%, followed by EVI 2 at 27.77% and ARVI 13.8%. The results of critical land per area function showed that protected forest areas were dominated by critical potential classes with a total area of 2447.19 ha. Critical land in the area of agricultural cultivation is dominated by not critical classes with 9.367,80 ha. Critical land in protected areas outside forest areas is dominated by a slightly critical class with an area of 13.9 ha.

Keywords : ARVI, EVI 2, Vegetation Index, Critical Land, NDVI, Sentinel-2A

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan lahan merupakan salah satu aspek yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pemanfaatan lahan yang tidak memperhatikan lingkungan disekitarnya dan peruntukan penggunaan lahan sehingga menjadikan lahan yang ada menjadi lahan kritis. Berdasarkan UU No. 37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air, lahan kritis adalah lahan yang fungsinya kurang baik sebagai media produksi untuk menumbuhkan tanaman yang dibudidayakan atau yang tidak dibudidayakan. Lahan kritis juga didefinisikan sebagai lahan yang mengalami proses kerusakan fisik, kimia dan biologi karena tidak sesuai penggunaan dan kemampuannya, yang akhirnya membahayakan fungsi hidrologis, orologis, produksi pertanian, permukiman dan kehidupan sosial ekonomi dan lingkungan. Perubahan fungsi lahan ini akan menimbulkan dampak negatif bagi masyarakat dan lingkungan.

Kabupaten Boyolali merupakan salah satu kabupaten di Jawa Tengah yang masih terdapat lahan kritis. Lahan kritis di Kabupaten Boyolali terletak di kawasan lereng Gunung Merapi dan Gunung Merbabu yang wilayahnya cukup luas dan memiliki topografi yang beragam. Kondisi tersebut mengakibatkan sulitnya melakukan pemetaan lahan kritis, sehingga mengalami kendala jika dilakukan secara konvensional.

Pemerintah telah mengeluarkan pedoman untuk memetakan lahan kritis, yaitu dengan dikeluarkannya Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 tentang petunjuk teknis penyusunan data spasial lahan kritis. Peraturan tersebut memuat 5 parameter yang menjadi acuan dalam penentuan lahan kritis. Kelima parameter itu adalah penutupan lahan, kemiringan lereng, tingkat bahaya erosi, produktivitas, dan manajemen.

Berdasarkan kelima faktor tersebut, penutupan lahan menjadi indikator terpenting dalam penentuan lahan kritis. Penutupan lahan pada Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 merujuk pada kerapatan tajuk pada suatu wilayah. Wilayah yang luas dan topografi wilayah yang bervariasi dapat menimbulkan kendala pada saat pemetaan penutupan lahan jika dilakukan secara konvensional. Solusi yang bisa digunakan adalah menggunakan transformasi *spectral* dari citra satelit penginderaan jauh. Transformasi *spectral* dapat dilakukan pengolahan untuk memetakan penutupan lahan tanpa kontak langsung ke lapangan. Pemetaan penggunaan lahan dapat menggunakan metode ARVI, EVI 2 dan NDVI. Metode ARVI digunakan dengan mempertimbangkan pengaruh atmosfer dalam penentuan kerapatan tajuk. Metode EVI 2 digunakan karena metode ini meningkatkan tingkat kehijauan tanaman, sedangkan metode NDVI adalah metode yang paling banyak dipakai dalam penentuan kerapatan tajuk.

Penelitian ini terfokus pada penggunaan metode ARVI, EVI 2 dan NDVI untuk melakukan pemantauan kerapatan tajuk serta bagaimana perbedaan ketelitian antara ketiga metode tersebut kaitannya dengan penentuan lahan kritis. Penentuan lahan kritis dilakukan dengan menggunakan metode indeks vegetasi yang memiliki akurasi terbaik diantara ketiga metode tersebut.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana visualisasi kerapatan tajuk di Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Ampel dengan menggunakan ARVI, EVI 2 dan NDVI?
2. Bagaimana tingkat ketelitian metode ARVI, EVI 2 dan NDVI untuk pendeteksian kerapatan tajuk di Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali?
3. Bagaimana hasil pemetaan lahan kritis dengan menggunakan metode dengan ketelitian terbaik?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui perbedaan antara ARVI, EVI 2 dan NDVI dalam penentuan kerapatan tajuk yang dikaitkan dengan lahan kritis.
2. Melakukan pemetaan terhadap tutupan lahan di Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Ampel dengan menggunakan ARVI, EVI 2 dan NDVI.
3. Mengetahui tingkat ketelitian metode ARVI, EVI 2 dan NDVI dalam pendeteksian kerapatan tajuk di Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali.
4. Mengetahui hasil pemetaan lahan kritis dengan menggunakan metode dengan ketelitian terbaik.

I.4 Batasan Masalah

Mencegah pembahasan yang terlalu melebar, penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

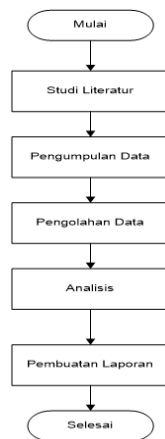
1. Wilayah yang menjadi studi kasus adalah daerah lereng Gunung Merapi dan Gunung Merbabu, khususnya Kecamatan Musuk, Kecamatan Cepogo, Kecamatan Selo, dan Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah.
2. Data yang dipakai meliputi Citra Sentinel-2A, data produktivitas Pertanian dan Hutan, DEM Nasional, Peta Batas Administrasi Boyolali, Peta Tingkat Erosi, Peta Fungsi Kawasan, Data Manajemen Hutan.
3. Daerah lahan kritis akan diklasifikasikan dengan tingkat kerawanan yang berbeda yaitu sangat kritis, kritis, agak kritis, potensial kritis, dan tidak kritis.
4. Pengklasifikasian tingkat lahan kritis dengan metode *scoring*, pembobotan, dan *overlay* sesuai Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013

tentang petunjuk teknis penyusunan data spasial lahan kritis.

5. Kerapatan vegetasi EVI 2 mengacu pada penelitian Shishir dan Tsuyuzaki (2018) dan ARVI mengacu pada penelitian Kumari dan Asok (2017).
6. Penentuan lahan kritis menggunakan peta kelas vegetasi yang dihasilkan oleh metode indeks vegetasi terbaik.

I.5 Metode Penelitian

Metodologi penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mendapatkan informasi tentang penentuan lahan kritis serta memberikan masukan atau referensi dalam melakukan penelitian dari pengumpulan data hingga analisis. Dilanjutkan dengan pengumpulan data penelitian dengan cara meminta data pada pihak-pihak yang terkait dengan penelitian. Selanjutnya data yang diperoleh diolah dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) untuk mendapatkan Peta Tutupan Lahan, kemudian pengolahan data citra dilakukan menggunakan metode ARVI, EVI 2 dan NDVI untuk mendapatkan Peta Kelas Vegetasi dimana citra yang digunakan adalah citra Sentinel-2A, dan ekstraksi DEM Nasional untuk mendapatkan peta kelerengan. Penentuan lahan kritis menggunakan metode *scoring*, pembobotan, dan *overlay* sesuai Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 tentang petunjuk teknis penyusunan data spasial lahan kritis.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Lahan Kritis

Berdasarkan UU No. 37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air, lahan kritis adalah lahan yang fungsinya kurang baik sebagai media produksi untuk menumbuhkan tanaman yang dibudidayakan atau yang tidak dibudidayakan. Sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 Tentang Petunjuk Teknis Penyusunan Data Spasial Lahan Kritis, maka klasifikasi lahan kritis dapat dibagi menjadi lahan tidak kritis, lahan potensial kritis, lahan agak kritis, lahan kritis dan lahan sangat kritis.

II.2 Parameter Lahan Kritis

Data spasial lahan kritis diperoleh dari hasil analisis terhadap beberapa data spasial yang merupakan parameter penentu kekritisan lahan. Parameter penentu lahan kritis berdasarkan Permenhut (2009), meliputi penutupan lahan, kemiringan lereng, tingkat bahaya erosi, produktivitas dan manajemen.

II.3 Kriteria Lahan Kritis

Penentuan lahan kritis dilakukan dengan memperhatikan fungsi kawasan suatu wilayah. Fungsi suatu kawasan akan berpengaruh terhadap *scoring* dan pembobotan parameter-parameter penentuan lahan kritis. Sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 maka kriteria lahan kritis sesuai kawasan dibagi menjadi 3 kawasan yang mencakup wilayah sebagai berikut:

1. Kawasan hutan lindung dapat disetarakan dengan kawasan hutan konservasi.
2. Kawasan budidaya pertanian dapat disetarakan dengan areal penggunaan lain (di luar kawasan hutan).
3. Kawasan lindung di luar kawasan hutan dapat disetarakan dengan kawasan hutan produksi (hutan produksi tetap, hutan produksi yang dapat dikonversi dan hutan produksi terbatas).

Tabel 1 Kriteria Lahan Kritis

Total Skor Pada:			Tingkat Lahan kritis
Kawasan Hutan Lindung	Kawasan Budidaya Pertanian	Kawasan Lindung di Luar Kawasan Hutan	
120 - 180	115 - 200	110 - 200	Sangat Kritis
181 - 270	201 - 275	201 - 275	Kritis
271 - 360	276 - 350	276 - 350	Agak Kritis
361 - 450	351 - 425	351 - 425	Potensial Kritis
451 - 500	426 - 500	426 - 500	Tidak Kritis

II.4 Pengindraan Jauh

Pengindraan Jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang obyek, daerah atau gejala dengan jalan menganalisis data yang didapat dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap obyek, daerah atau gejala yang dikaji (Lillesend & Kiefer, 1990).

II.5 Citra Sentinel-2A

Sentinel-2 telah dirancang untuk mendukung lahan *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES); darurat dan aplikasi keamanan; Geoland2; SAFER; dan G-MOSAIC. Citra Sentinel-2 dengan sistem Instrumen Multispektral yang beresolusi tinggi akan memastikan rangkaian kontinuitas observasi multispektral SPOT dan Landsat dengan melihat kunjungan kembali, area cakupan, band spektral, lebar petak, kualitas gambar radiometrik dan geometrik. Sentinel-2A tidak hanya menawarkan keberlangsungan namun juga memperluas misi dari satelit *French Spot* dan US Landsat. Satelit Sentinel-2A mencakup area

yang luas dan menghasilkan citra optik multispektral yang mempunyai 13 band, yang mana dibagi kebeberapa spektrum *visible, near infrared, shortwave infrared*.

II.6 ARVI

Fitur utama indeks ARVI adalah kapasitasnya untuk mengurangi pengaruh dari atmosfer dengan menggunakan band biru dalam melakukan koreksi atmosfer pada band merah. Formula ARVI dirumuskan seperti berikut (Tucker, 1979 dalam Hanif, 2015):

$$ARVI = \frac{NIR - [RED - \gamma(BLUE - RED)]}{NIR + [RED - \gamma(BLUE - RED)]}$$

Dimana:

- γ : menggunakan nilai 1 untuk gamma
- NIR* : Nilai reflektansi dari saluran inframerah dekat
- RED* : Nilai reflektansi dari saluran merah
- BLUE* : Nilai reflektansi dari saluran biru.

Nilai indeks ini berkisar dari -1 sampai 1, dengan nilai-nilai pixel yang lebih tinggi sesuai dengan sehat dan hijau vegetasi.

II.7 EVI-2

Saat ini telah dikembangkan rumus EVI 2 sebagai alternatif perhitungan indeks vegetasi *EVI*. Indeks vegetasi *EVI 2* ini dikembangkan dengan tanpa memanfaatkan *band* biru pada citra satelit. Persamaan indeks vegetasi yang digunakan dapat dilihat pada rumus II.5 (Jiang dkk, 2008).

$$EVI\ 2 = G \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 2.4 * RED + L)}$$

Dimana:

- L* : Faktor kalibrasi dari efek kanopi dan tanah (bernilai 1).
- G* : Gain faktor (bernilai 2.5).
- NIR* : Nilai reflektansi dari saluran inframerah dekat
- RED* : Nilai reflektansi dari saluran merah

Formula ini bisa digunakan untuk menggantikan *EVI* dalam penelitian apabila data citra yang digunakan tidak memiliki tutupan awan atau salju dan efek atmosfer tidak signifikan.

II.8 NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan kombinasi antara teknik penisbahan dengan teknik pengurangan citra (Danoedoro, 2012).

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red})$$

Keterangan:

- ρ_{nir} : Nilai reflektansi dari saluran inframerah dekat
- ρ_{red} : Nilai reflektansi dari saluran merah

II.9 Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek (berupa nilai spektral) oleh operator (Danoedoro, 2012). Klasifikasi terbimbing mengelompokkan nilai piksel

berdasarkan informasi penutupan lahan aktual di permukaan bumi. Pengambilan sampel perlu dilakukan dengan mempertimbangkan pola spektral pada setiap panjang gelombang tertentu, sehingga diperoleh daerah acuan yang baik untuk mewakili suatu objek tertentu. Pengambilan sampel pada citra bisa dibantu dengan tampilan citra lebih dari satu, memanfaatkan komposit warna yang berbeda-beda.

II.10 Sistem Informasi Geografis

Bern (1992) dalam Prahasta (2005) mengemukakan bahwa Sistem Informasi Geografis merupakan sistem komputer yang digunakan untuk memanipulasi data geografi. Sistem ini diimplementasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak komputer untuk akuisisi dan verifikasi data, kompilasi data, penyimpanan data, perubahan dan updating data, manajemen dan pertukaran data, manipulasi data, pemanggilan dan presentasi data, analisa data.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Bahan

III.1.1 Alat

Perangkat pengolahan data terdiri dari 2 (dua) perangkat, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*):

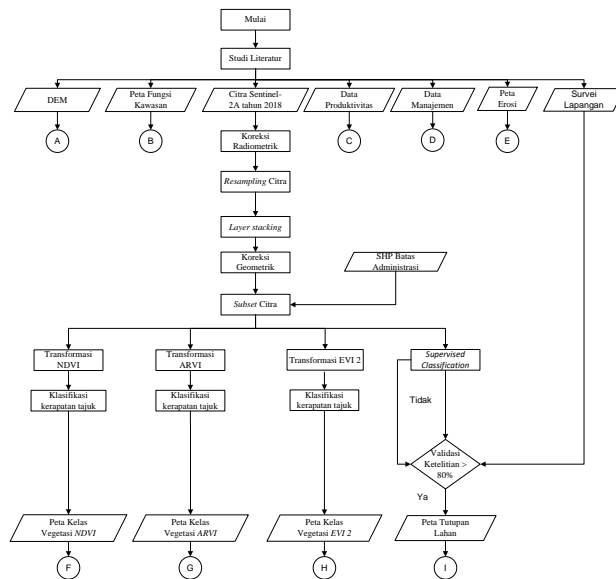
1. Perangkat Keras
 - a. Laptop
 - b. GPS *Handheld*
2. Perangkat Lunak
 - a. *Software* ArcGIS 10.3.1
 - b. *Software* Envi 5.1
 - c. *Software* SNAP 6
 - d. *Software* ImageJ
 - e. *Microsoft Office* 2016

III.1.2 Bahan

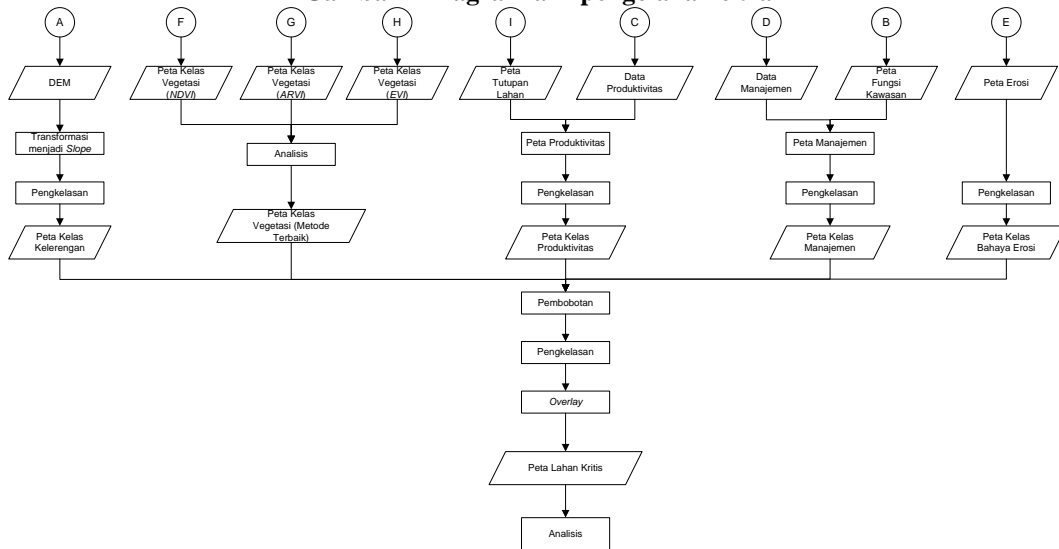
Adapun data penelitian yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data Primer
 - a. Citra Sentinel-2A tahun 2018 (<https://scihub.copernicus.eu/>)
 - b. DEM Nasional tahun 2018 (<http://tides.big.go.id/DEMNAS>)
 - c. Validasi lapangan kerapatan tajuk tahun 2018
 - d. Validasi lapangan penggunaan lahan tahun 2018
2. Data Sekunder
 - a. SHP Batas Administrasi Boyolali tahun 2012 (BAPPEDA Kabupaten Boyolali)
 - b. Data Produktivitas Pertanian dan Kehutanan tahun 2017 (BPS Kabupaten Boyolali)
 - c. Peta Tingkat Bahaya Erosi tahun 2018 (BPDAS)
 - d. Peta Fungsi Kawasan (BPDAS)
 - e. Peta Kelas Manajemen (BPDAS)

III.2 Diagram Alir



Gambar 2 Diagram alir pengolahan citra



Gambar 3 Diagram alir penentuan lahan kritis

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Koreksi Geometrik

Hasil dari koreksi geometrik dikatakan memenuhi syarat apabila nilai RMSe tidak lebih dari 1 piksel. Nilai RMSe total pada proses koreksi geometrik adalah 0,508. Citra Sentinel-2A memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter, dengan demikian maka pergeseran tidak boleh lebih dari 10 meter. Dalam penelitian ini pergeserannya adalah 0,508 piksel atau 5,08 meter. Pergeseran ini masih memenuhi toleransi sebesar 10 meter.

Resolusi spasial citra Sentinel-2A adalah 10 m, maka didapat hasil uji ketelitian horizontal sebagai berikut:

Tabel 2 Uji ketelitian Horizontal

Tahun	RMSE GCP (Meter)	CE90 (Meter)	Ketelitian Peta Skala 1 : 50.000		
			Kelas 1 (Meter)	Kelas 2 (Meter)	Kelas 3 (Meter)
2018	5,08	7,71	10	15	25

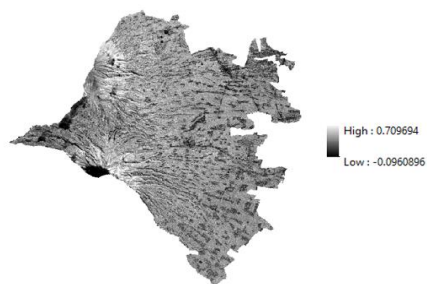
Tabel 3 RMSe koreksi geometrik

No.	ENVI Ground Control Points Table										RMS Error (piksel)
	Base		Warp		Predict		Error		x (piksel)	y (piksel)	
	x (piksel)	y (piksel)	x (piksel)	y (piksel)	x (piksel)	y (piksel)	x (piksel)	y (piksel)			
1.	13.224,25	4.111,75	5.157	2.459,07	5.157,04	2.459,26	0,04	0,19	0,19		
2.	12.077,75	7.475,5	4.981,8	2.975,07	4.981,93	2.975,77	0,13	0,7	0,71		
3.	12.761,9	13.486,9	5.087,87	3.898,07	5.087,98	3.898,2	0,11	0,13	0,17		
4.	9.658,1	11.675,7	4.611,6	3.620,93	4.611,51	3.620,95	-0,09	0,02	0,09		
5.	9.942	7.876,1	4.654,73	3.038	4.654,52	3.037,74	-0,21	-0,26	0,33		
6.	8.447,2	1.577,1	4.425	2.071,07	4.424,6	2.071,33	-0,4	0,26	0,48		
7.	7.843,6	9.269,9	4.333	3.252,47	4.332,92	3.252,14	-0,08	-0,33	0,34		
8.	7.843,6	9.269,9	4.333	3.252,47	4.332,92	3.252,14	-0,08	-0,33	0,34		
9.	8.753,2	4.332,9	4.471,07	2.494,93	4.471,81	2.494,21	0,74	-0,72	1,03		
10.	5.811,9	7.256,2	4.021,67	2.943,87	4.021,2	2.943,55	-0,47	-0,32	0,57		
11.	1.268,4	7.815,2	3.324,27	3.029,73	3.324,59	3.030,38	0,32	0,65	0,73		
12.	14.710,75	9.990	5.386	3.361,05	5.386,13	3.361,06	0,12	0,01	0,12		
	Total RMSe										0,508

Dengan demikian, peta dengan skala 1 : 50.000 memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal kelas 1. Peta skala 1 : 50.000 adalah peta dengan skala maksimal, artinya data citra Sentinel-2A juga bisa disajikan sebagai peta dasar dengan menggunakan skala yang lebih kecil.

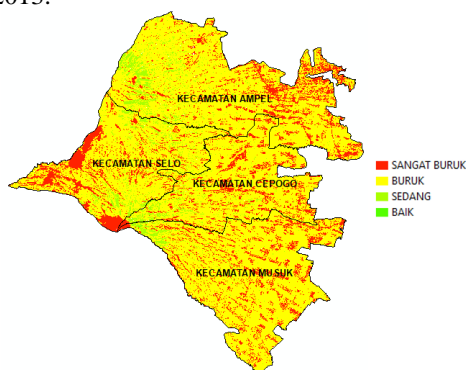
IV.2 Visualisasi Kerapatan Tajuk

IV.2.1 Visualisasi Kerapatan Tajuk Metode ARVI



Gambar 4 Rentang nilai ARVI

Hasil pengolahan kerapatan tajuk dengan menggunakan metode ARVI didapatkan rentang nilai antara -0,096 sampai dengan 0,710. Hasil pengolahan kemudian diklasifikasikan ulang kedalam 5 kelas sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013.



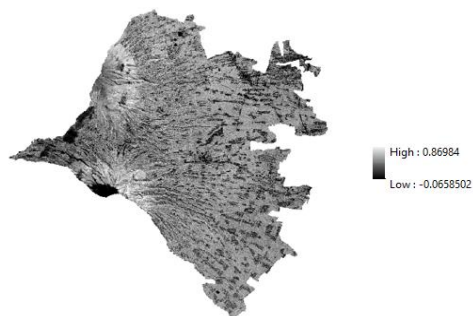
Gambar 5 Klasifikasi penutupan lahan ARVI

Hasil metode ARVI didapatkan persentase terbesar masuk kedalam kelas buruk dengan persentase 77,27% atau seluas 22312,64 HA dan persentase terkecil masuk kedalam kelas baik dengan persentase 0,01% atau seluas 1,94 HA. Dari 4 kelas yang dihasilkan dengan metode ARVI diketahui bahwa Kecamatan Ampel menjadi wilayah dengan kelas kerapatan sangat buruk, buruk dan sedang dengan persentase paling tinggi. Secara berturut-turut persentasenya 5,15%, 25,14% dan 2,15%. Sedangkan untuk kelas baik dengan persentase tertinggi sebesar 0,01% terdapat di Kecamatan Musuk. Kelas sangat baik secara merata tidak ditemukan dikeempat kecamatan.

Tabel 2 Persentase kerapatan tajuk ARVI

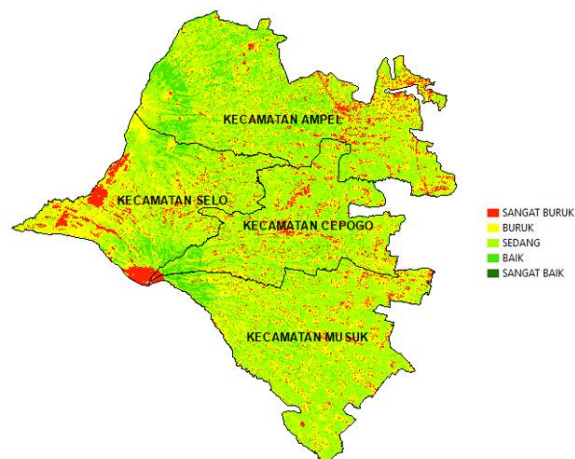
KERAPATAN TAJUK	Kecamatan		AMPEL	CEPOGO	MUSUK	SELO	TOTAL
			Sangat Buruk (0 - 0,2)	Luas (Ha)	1.485,98	940,37	1.307,63
	Persen	5,15%	3,26%	4,53%	4,47%	17,40%	
Buruk (0,21 - 0,4)	Luas (Ha)	7.258,04	4.286,46	6.435,66	4.332,48	2.2312,64	
	Persen	25,14%	14,84%	22,29%	15,00%	77,27%	
Sedang (0,41 - 0,6)	Luas (Ha)	620,78	262,89	226,69	427,11	1.537,47	
	Persen	2,15%	0,91%	0,79%	1,48%	5,32%	
Baik (0,61 - 0,8)	Luas (Ha)	0,23	0,12	1,50	0,10	1,95	
	Persen	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	
Sangat Baik (0,81 - 1)	Luas (Ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Persen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Total	Luas (Ha)	9.365,03	5.489,84	7.971,48	6.049,89	2.8876,23	
	Persen	32,43%	19,01%	27,61%	20,95%	100,00%	

IV.2.2 Visualisasi Kerapatan Tajuk Metode EVI 2



Gambar 6 Rentang nilai EVI 2

Hasil pengolahan kerapatan tajuk dengan menggunakan metode EVI-2 didapatkan rentang nilai antara -0,07 sampai dengan 0,87. Rentang nilai tersebut diklasifikasikan ulang sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 sehingga menghasilkan 5 kelas kerapatan tajuk yang sesuai.



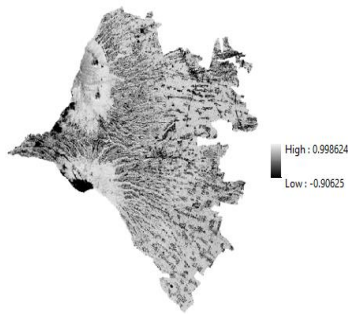
Gambar 7 Klasifikasi penutupan lahan EVI 2

Kelas sedang mendominasi sebagian besar wilayah dengan luas 17.303,17 HA (59,92%), dimana Kecamatan Ampel menyumbang 20,20%. Persentase terendah didapatkan oleh kelas sangat baik dengan 0% atau 0,63 HA dari total wilayah 28.877,05 HA, dimana Kecamatan Selo menyumbang 0,53 HA. Distribusi seluruh kelas kerapatan tajuk tersebar hampir merata diseluruh wilayah studi. Hanya Kecamatan Selo dengan kelas kerapatan tajuk sangat baik saja yang memiliki wilayah 0 HA.

Tabel 3 Persentase kerapatan tajuk EVI 2

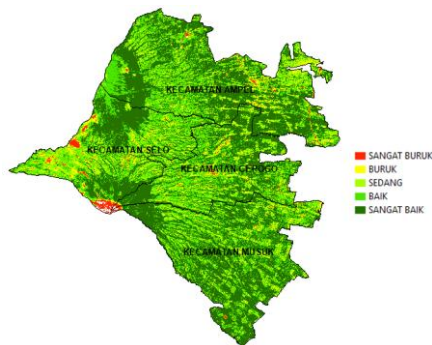
KERAPATAN TAJUK	Kecamatan		AMPEL	CEPOGO	MUSUK	SELO	TOTAL
			Sangat Buruk (0 - 0,2)	Luas (Ha)	683,15	446,28	416,60
	Persen	2,37%	1,55%	1,44%	2,39%	7,75%	
Buruk (0,21 - 0,4)	Luas (Ha)	2.503,25	1.493,64	2.266,15	2.242,39	8.505,43	
	Persen	8,67%	5,17%	7,85%	7,77%	29,45%	
Sedang (0,41 - 0,6)	Luas (Ha)	5.832,07	3.415,38	5.134,49	2.921,23	17.303,17	
	Persen	20,20%	11,83%	17,78%	10,12%	59,92%	
Baik (0,61 - 0,8)	Luas (Ha)	348,94	134,44	153,33	193,87	830,58	
	Persen	1,21%	0,47%	0,53%	0,67%	2,88%	
Sangat Baik (0,81 - 1)	Luas (Ha)	0,09	0,01	0,53	0,00	0,63	
	Persen	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Total	Luas (Ha)	9.367,49	5.489,76	7.971,09	6.048,71	28.877,05	
	Persen	32,44%	19,01%	27,60%	20,95%	100,00%	

IV.2.3 Visualisasi Kerapatan Tajuk Metode NDVI



Gambar 8 Rentang nilai NDVI

Hasil pengolahan kerapatan tajuk dengan menggunakan metode NDVI didapatkan rentang nilai antara -0,91 sampai dengan 0,99. Rentang nilai tersebut diklasifikasikan ulang sesuai dengan Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan Daerah Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor : P.4/V-SET/2013 sehingga menghasilkan 5 kelas kerapatan tajuk yang sesuai.



Gambar 9 Klasifikasi penutupan lahan NDVI

Pada wilayah studi, kelas kerapatan tajuk dengan persentase terbesar terdapat pada kelas kerapatan sangat baik dengan persentase 48,37% atau sekitar 13.944,68 HA dari total 28.828,46 HA. Sedangkan untuk kelas dengan persentase terendah terdapat pada kelas sangat buruk dengan persentase 1,53% atau 441,99 HA total 28.828,46 HA. Kelas sangat buruk mendominasi wilayah Kecamatan Selo dengan 0,77%. Sedangkan untuk kelas buruk, sedang, baik dan sangat baik mendominasi wilayah Kecamatan Ampel dengan persentase secara berturut-turut sebesar 1,95%, 4,10%, 9,60% dan 16,46%.

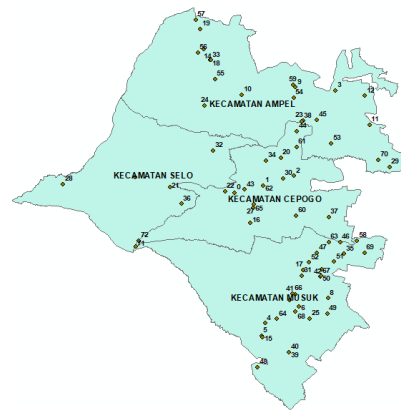
Tabel 4 Persentase kerapatan tajuk NDVI

KERAPATAN TAJUK	Kecamatan		AmpeL	CePogo	MuSuk	SeLo	TOTAL
			Luas (Ha)				
Sangat Buruk (0 – 0,2)	Luas (Ha)	104,12	69,10	47,64	221,14	441,99	
	Persen	0,36%	0,24%	0,17%	0,77%	1,53%	
Buruk (0,21 – 0,4)	Luas (Ha)	563,52	391,52	344,38	508,82	1.808,24	
	Persen	1,95%	1,36%	1,19%	1,77%	6,27%	
Sedang (0,41 – 0,6)	Luas (Ha)	1.182,04	746,43	856,24	1.071,48	3.856,20	
	Persen	4,10%	2,59%	2,97%	3,72%	13,38%	
Baik (0,61 – 0,8)	Luas (Ha)	2.768,65	1.736,77	2.230,80	2.041,12	8.777,35	
	Persen	9,60%	6,02%	7,74%	7,08%	30,45%	
Sangat Baik (0,81 – 1)	Luas (Ha)	4.743,74	2.542,00	4.487,11	2.171,82	13.944,68	
	Persen	16,46%	8,82%	15,56%	7,53%	48,37%	
Total	Luas (Ha)	9.362,06	5.485,82	7.966,18	6.014,40	28.828,46	
	Persen	32,48%	19,03%	27,63%	20,86%	100,00%	

IV.3 Ketelitian Kerapatan Tajuk

Hasil dari pengolahan indeks vegetasi divalidasi dengan menggunakan hasil pengolahan validasi di

lapangan dengan tujuan untuk mendapatkan indeks vegetasi paling sesuai dengan keadaan sebenarnya di wilayah studi penelitian. Validasi lapangan dilakukan untuk kelas kerapatan vegetasi sedang, tinggi dan sangat tinggi dengan menggunakan data hitungan persentase kanopi menggunakan software ImageJ. Kelas kerapatan vegetasi sangat buruk dan buruk divalidasi dengan menggunakan data validasi penutupan lahan.



Gambar 10 Persebaran titik validasi

Total pengambilan sampel berjumlah 72 titik yang tersebar diseluruh wilayah studi. Sampel yang telah diambil kerapatan vegetasi yang diambil dengan menggunakan foto secara vertikal.

Tabel 5 Kesesuaian validasi kerapatan

Proses	Kelas Kerapatan					Total	Persentase (%)
	Sangat Buruk	Buruk	Sedang	Baik	Sangat Baik		
Validasi	15	15	12	15	15	72	100
ARVI	9	1	0	0	0	10	13,8
EVI-2	7	6	7	0	0	20	27,77
NDVI	5	14	2	11	11	43	59,72

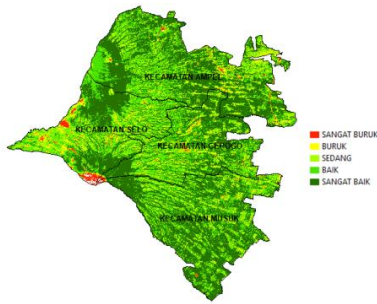
Perbedaan hasil indeks vegetasi yang cukup signifikan disebabkan oleh berbagai faktor di daerah studi. NDVI merupakan indeks yang sensitif terhadap klorofil, sehingga mampu membaurkan faktor kerapatan daun. NDVI akan menyerap secara baik gelombang merah dan memantulkan secara baik gelombang infra merah. EVI-2 menghasilkan tingkat kesesuaian yang rendah karena dipengaruhi oleh topografi wilayah yang bervariasi. Sedangkan untuk ARVI walaupun menggunakan saluran biru yang peka terhadap efek atmosfer, hal ini belum menjamin akurasi yang dihasilkan akan tinggi. Berkaitan dengan hal tersebut karena kepekaan saluran terhadap objek yang direkam dan kombinasi saluran yang digunakan juga berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan (Santoso dalam Setyowati dkk, 2017).

IV.4 Identifikasi Lahan Kritis

IV.4.1 Parameter Lahan Kritis

Dalam penentuan lahan kritis dipengaruhi oleh 5 parameter yaitu, kerapatan vegetasi, kelerengan, tingkat bahaya erosi, manajemen dan produktivitas.

1. Kerapatan Vegetasi



Gambar 11 Kelas kerapatan vegetasi

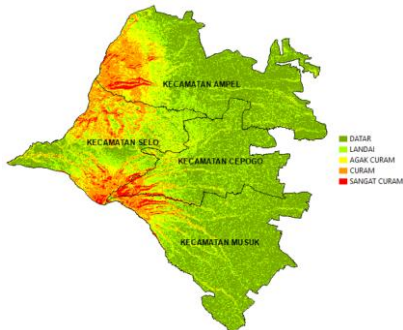
Kelas sangat baik mendominasi sebagian besar wilayah dengan 48,37%, kemudian disusul secara berturut-turut oleh kelas baik, sedang, buruk dan sangat buruk dengan persentase 30,45%, 13,38%, 6,27% dan 1,53%.

Tabel 6 Persentase kerapatan vegetasi

KELAS KERAPATAN	LUAS (Ha)	PERSENTASE
Sangat Buruk	441,9904945	1,53%
Buruk	1.808,244621	6,27%
Sedang	3.856,195894	13,38%
Baik	8.777,347754	30,45%
Sangat Baik	13.944,6784	48,37%
Total	28.828,45716	100,00%

2. Kelerengan

Kelas kelerengan agak curam, curam dan sangat curam sesuai dengan visualisasi lebih banyak terletak dibagian lereng dari Gunung Merapi dan Gunung Merbabu yang didominasi oleh kenampakan alam berupa jurang.



Gambar 12 Kelas kelerengan

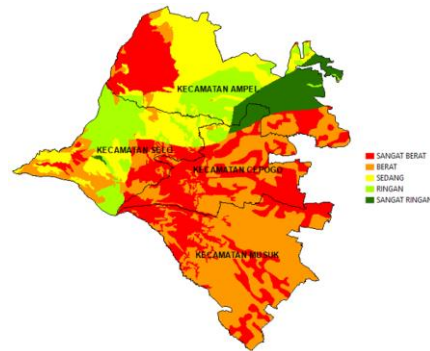
Berdasarkan pengolahan DEMNAS menjadi peta kelas kelerengan didapatkan hasil bahwa wilayah studi didominasi oleh kelas kelerengan datar (tingkat kemiringan 8% - 15%) dengan persentase sebesar 47,08%. Persentase terbesar kedua adalah kelas landai dengan 26,76%.

Tabel 7 Persentase kelas kelerengan

KELERENGAN	DESKRIPSI	LUAS (Ha)	PERSENTASE
Datar	< 8%	13.597,80	47,08
Landai	8% - 15%	7.727,60	26,76
Agak Curam	15% - 25%	3.754,68	13,00
Curam	25% - 40%	3.105,60	10,75
Sangat Curam	> 40%	694,76	2,41
Total		28.880,45	100,00

3. Tingkat Bahaya Erosi

Kelas tingkat bahaya erosi didapatkan dari data BPDASHL, dimana suatu wilayah akan dibagi kedalam 5 kelas yang meliputi kelas sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat.



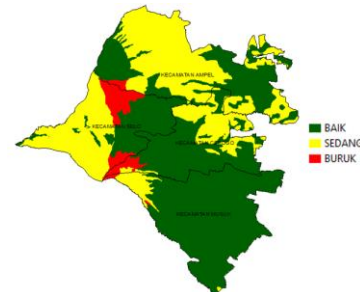
Gambar 13 Kelas tingkat bahaya erosi

Tingkat bahaya erosi pada wilayah studi lebih banyak terdapat pada kelas berat dan sangat berat dengan jumlah total keduanya mencapai 64,46%. Tingkat bahaya erosi dengan kelas berat paling dominan berada di Kecamatan Musuk. Sedangkan untuk kelas ringan dan sangat ringan dominan berada di wilayah sebelah utara wilayah studi atau lebih tepatnya di Kecamatan Ampel.

Tabel 8 Persentase tingkat bahaya erosi

KELAS	LUAS (Ha)	PERSENTASE
Sangat Ringan	1.846,2554	6,39%
Ringan	3.730,8017	12,92%
Sedang	4.685,4502	16,22%
Berat	9.921,3871	34,35%
Sangat Berat	8.696,5585	30,11%
Total	28.880,453	100,00%

4. Manajemen



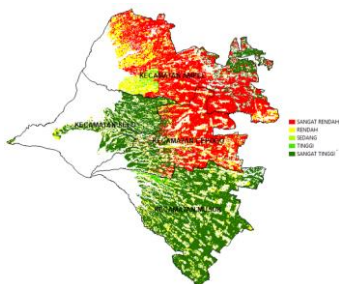
Gambar 14 Kelas manajemen

Kelas manajemen pada wilayah studi didominasi oleh kelas baik seperti yang ada pada gambar diatas yang didominasi warna hijau di bagian sebelah selatan. Kelas baik mendominasi dengan luas 16.810,7 hektar lahan (58,18%) dari total seluas 28880,46 hektar. Kelas manajemen buruk hanya sebesar 4,16% yang letaknya mayoritas berada pada daerah jurang atau memiliki kelerengan yang curam.

Tabel 9 Persentase kelas manajemen

MANAJEMEN	LUAS (Ha)	PERSENTASE (%)
Buruk	1.200,51	4,16
Sedang	10.878,69	37,67
Baik	16.810,7	58,18
Total	28.880,46	100,00

5. Produktivitas



Gambar 15 Kelas produktivitas

Kecamatan Musuk menjadi kecamatan dengan produktivitas pertanian yang sangat tinggi dengan 4615,67 Ha atau lebih dari 50% dari total keseluruhan luas lahan dengan kelas produktivitas sangat tinggi. Kecamatan Ampel menjadi penyumbang wilayah dengan produktivitas sangat rendah paling dominan dengan 4024,63 Ha yang diikuti oleh Kecamatan Cepogo dengan 2244,72 Ha. Kelas produktivitas sedang hanya dimiliki Kecamatan Ampel dengan 7,36 Ha.

Tabel 10 Persentase kelas produktivitas

KELAS PRODUKTIVITAS	KECAMATAN				TOTAL (Ha)
	AMPEL	CEPOGO	MUSUK	SELO	
Sangat Tinggi	697,61	896,32	4.615,67	1.433,56	7.643,16
Tinggi	89,41	16,24	95,14	0,00	200,80
Sedang	7,36	0,00	0,00	0,00	7,36
Rendah	1.411,42	677,56	976,36	297,65	3.362,99
Sangat Rendah	4.024,63	2.244,72	0,00	0,00	6.269,35
Total	6.230,43	3.834,84	5.687,17	1731,21	17.483,66

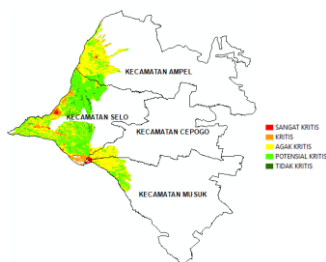
IV.4.2 Identifikasi Lahan Kritis

1. Lahan Kritis Kawasan Hutan Lindung

Tingkat lahan kritis pada kawasan hutan lindung dihitung dengan melakukan pembobotan terhadap parameter penutupan lahan (PL), kelerengan (K), erosi (E) dan manajemen (M). Besaran bobot untuk setiap parameter seperti dibawah.

$$HL = 50*PL + 20*K + 20*E + 10*M$$

Kawasan hutan lindung pada wilayah studi mencakup seluruh kecamatan dimana lebih dari 50% wilayahnya berada di Kecamatan Selo.



Gambar 16 Lahan kritis kawasan hutan lindung

Lahan kritis di wilayah studi didominasi oleh kelas potensial kritis dengan luas total 2.447,19 hektar dan Kecamatan Selo menjadi wilayah yang terluas dengan 1.887,96 hektar. Kelas terendah adalah kelas tidak kritis dengan luas 92,60 hektar. Kelas kritis sendiri memiliki luas total 408,78 hektar dan luasannya lebih luas dibandingkan luas wilayah dengan tingkat kelas tidak kritis yang hanya sebesar 99,71 hektar.

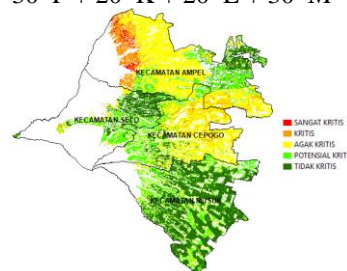
Tabel 11 Lahan kritis kawasan hutan lindung

KECAMATAN	LAHAN KRITIS KAWASAN HUTAN LINDUNG (HA)					TOTAL
	TIDAK KRITIS	POTENSIAL KRITIS	AGAK KRITIS	KRITIS	SANGAT KRITIS	
Ampel	2,91	328,23	848,73	55,10	3,48	1.238,46
Cepogo	0	26,98	212,41	12,91	14,39	266,68
Musuk	0	204,02	398,84	20,13	19,77	642,76
Selo	89,69	1.887,96	959,32	320,64	62,06	3.319,67
Total	92,60	2.447,19	2.419,30	408,78	99,71	5.467,57

2. Lahan Kritis Kawasan Budidaya Pertanian

Tingkat lahan kritis pada kawasan lindung diluar kawasan hutan dihitung dengan melakukan pembobotan terhadap parameter yang sama dengan lahan kritis kawasan hutan lindung yaitu produktivitas (P), kelerengan (K), erosi (E) dan manajemen (M). Besaran bobot untuk setiap parameter seperti dibawah.

$$HL = 30*P + 20*K + 20*E + 30*M$$



Gambar 17 Lahan Kritis Kawasan Budidaya Pertanian

Kecamatan Ampel memiliki 898,88 ha lahan kritis dan 156,83 ha lahan sangat kritis. Berbeda dengan Kecamatan Ampel yang cukup memperhatikan keadaan lahannya, Kecamatan Musuk menjadi Kecamatan dengan tingkat kekritisan lahan yang rendah. Mayoritas lahan dikeempat kecamatan masuk dalam keadaan agak kritis dengan 7.031,25 ha dari total 22.732,22 ha.

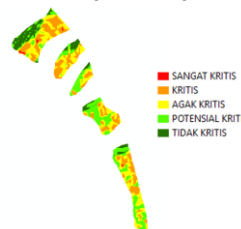
Tabel 12 Lahan Kritis Kawasan Budidaya Pertanian

KECAMATAN	LAHAN KRITIS KAWASAN BUDIDAYA (HA)					TOTAL
	TIDAK KRITIS	POTENSIAL KRITIS	AGAK KRITIS	KRITIS	SANGAT KRITIS	
Ampel	588,19	1.048,98	3.624,04	814,06	155,17	6.230,43
Cepogo	4.526,44	817,64	2.367,35	370,72	5,87	8.088,02
Musuk	3.520,45	2.318,30	792,69	51,05	0,06	6.682,56
Selo	732,72	704,14	247,17	43,95	3,23	1.731,21
Total	9.367,80	4.889,06	7.031,25	1.279,78	164,33	22.732,22

3. Lahan Kritis Kawasan Lindung Diluar Kawasan Hutan

Tingkat lahan kritis pada kawasan lindung diluar kawasan hutan dihitung dengan melakukan pembobotan terhadap parameter yang sama dengan lahan kritis kawasan hutan lindung yaitu penutupan lahan (PL), kelerengan (K), erosi (E) dan manajemen (M). Besaran bobot untuk setiap parameter seperti dibawah.

$$HP = 50*PL + 10*K + 10*E + 30*M$$



Gambar 18 Lahan kritis pada kawasan lindung diluar kawasan hutan

Kawasan lindung diluar kawasan hutan hanya berada di 3 Desa di Kecamatan Ampel, yaitu Desa Sampetan, Desa Jlarem dan Desa Ngadirojo dengan total luas wilayah hanya 41,78 hektar. Dari total keseluruhan, kelas agak kritis mendominasi dengan luas 13,9 hektar. Kawasan lindung diluar kawasan hutan cukup memprihatinkan, hal ini bisa dilihat dimana wilayah dengan kelas kritis dan sangat kritis memiliki total luas lebih dari 25% (12,01 hektar) dari total wilayah.

Tabel 13 Lahan kritis pada kawasan lindung diluar kawasan hutan

KECAMATAN	LAHAN KRITIS KAWASAN LINDUNG DILUAR KAWASAN HUTAN (HA)					TOTAL
	TIDAK KRITIS	POTENSIAL KRITIS	AGAK KRITIS	KRITIS	SANGAT KRITIS	
Ampel	4,94	10,92	13,90	11,76	0,25	41,78

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Hasil pembahasan dan analisis yang telah dikemukakan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Indeks vegetasi ARVI menghasilkan rentang nilai antara -0,096 sampai 0,710 dengan kelas kerapatan buruk mendominasi wilayah sebesar 22.312,64 Ha (77,27%) dari total 28.876,23 Ha. Indeks vegetasi EVI 2 menghasilkan rentang nilai antara -0,07 sampai 0,87 dengan kelas kerapatan sedang mendominasi wilayah sebesar 17.303,17 Ha (59,92%) dari total 28.877,05 Ha. Indeks vegetasi NDVI menghasilkan rentang nilai antara -0,91 sampai 0,99 dengan kelas kerapatan sangat baik mendominasi wilayah sebesar 13.944,68 Ha (48,37%) dari total 28.828,46 Ha.
2. Berdasarkan validasi lapangan dengan menggunakan 72 titik sampel kerapatan tajuk didapatkan hasil kesesuaian indeks vegetasi ARVI sebesar 13,8%, EVI 2 sebesar 27,77% dan NDVI sebesar 59,72%.
3. Lahan kritis dibangun dengan metode *scoring* dan pembobotan menggunakan parameter-parameter yang berdasarkan pada peraturan yang berlaku, dimana parameter kerapatan tajuk pada penelitian ini menggunakan hasil dari pengolahan NDVI dari citra Sentinel-2A. Hasil lahan kritis per fungsi kawasan didapatkan hasil bahwa kawasan hutan lindung didominasi oleh kelas potensial kritis dengan luas total 2.447,19 ha. Lahan kritis di kawasan budidaya pertanian didominasi kelas tidak kritis dengan 9.367,80 ha. Lahan kritis di kawasan lindung diluar kawasan hutan didominasi kelas agak kritis dengan luas 13,9 ha.

V.2 Saran

Hasil pembahasan dan analisis yang telah didapatkan dari penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Jarak waktu antara perekaman citra dengan validasi lapangan tidak terlalu jauh agar hasil validasi yang dilakukan dapat akurat.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh lokasi terhadap ketelitian indeks vegetasi.
3. Perhitungan kerapatan vegetasi sebaiknya menggunakan alat yang lebih canggih agar hasilnya lebih akurat.
4. Pembuatan kelas produktivitas lebih baik tidak menggunakan data hasil *supervised classification* akan tetapi mendigit dari interpretasi citra resolusi tinggi dan terbaru.
5. Penentuan lahan kritis sebaiknya masih dalam satu wilayah DAS untuk mempermudah pengumpulan data.

Daftar Pustaka

- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Hanif, M. (2015). *Panduan ke 2 Bahan Pelatihan Penginderaan Jauh Tingkat Lanjut*. UNP.
- Jiang, Zhangyan., Huete, Alfredo R., Didan, Kamel., Miura, Tomoaki. 2008. *Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band*. Remote Sensing of Environment, Elsevier.
- Lillesend, dan Kiefer. (1990). *Pengindraan Jauh dan Interpretasi Citra (Diterjemahkan oleh Dulbahri, Prpto Suharsono, Hartono, dan Suharyadi)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kumari, Rajani dan Asok, Smitha. 2017. *Remote Sensing Based Forest Health Analysis Using GIS along Fringe Forest of Kollam District, Kerala*. India. IJRASET
- Peraturan Menteri Kehutanan. (2009). Nomor. P.32/Menhut-II/2009. *Tata Cara Penyusunan Rencana Teknis Rehabilitasi dan Lahan Daerah Aliran Sungai*.
- Prahasta, E. (2005). *Konsep - Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: CV. Informatika.
- Undang-Undang Republik Indonesia. (2014). Nomor 37 Tahun 2014. *Tentang Konservasi Tanah Dan Air*.
- Setyowati, Hertania Aprilia., Murti, Sigit Heru., dan Siwi, Sukentyas Estuti. 2016. *Efektivitas Transformasi Indeks Vegetasi Penekan Pengaruh Atmosfer Berbasis Citra Spot-6 Untuk Estimasi Produksi Tanaman Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) Di Sebagian Kabupaten Indragiri Hulu, Riau*. Majalah Ilmiah Globe Volume 19 No.1 April 2017: 11 – 20
- Shishir, Sharmin dan Tsuyuzaki, Shiro. 2018. *Hierarchical classification of Land Use Type Using Multiple Vegetation Indices to Measure the Effect of Urbanization*. Springer