

## PEMETAAN PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI PADA KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS SISIMENI SANAM DENGAN MEMANFAATKAN DATA CITRA SENTINEL-2A

Francisca Bianco <sup>1</sup>; Melkianus Pobas <sup>1\*</sup>; Ramses V Elim <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang

Email: [pobasmelkianus03@gmail.com](mailto:pobasmelkianus03@gmail.com)

### Abstrak

KHDTK Diklat Sisimeni Sanam di Kabupaten Kupang, dengan luas 3.109,89 hektar, Kawasan ini terbagi dalam zona konservasi, lindung, dan produksi, namun menghadapi berbagai macam masalah seperti kebakaran, perambahan, pencurian kayu, dan degradasi lahan. Untuk mengetahui perubahan vegetasi dalam 7 tahun terakhir (2017 hingga 2024), metode yang cukup signifikan dalam memantau perubahan kerapatan vegetasi yaitu dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dengan citra Sentinel-2A. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi data citra Sentinel-2A dan memetakan perubahan kerapatan vegetasi 7 tahun terakhir di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan tabel matriks konfusi didapatkan besarnya nilai akurasi hasil ground check yaitu 87,8% (OA) dan 81% (KA). Hal ini menunjukkan bahwa informasi spasial sebaran kerapatan menggunakan NDVI yang diperoleh memiliki ketelitian yang baik dan dapat dipercaya kebenarannya. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 7 tahun KHDTK telah mengalami perubahan kerapatan vegetasi yaitu 0,33 Ha/Tahun untuk kelas kerapatan jarang, 1.932,16 Ha/Tahun untuk kelas kerapatan sedang dan 731,85 Ha/Tahun untuk kelas kerapatan rapat. Perubahan yang terjadi ini diidentifikasi berdasarkan dinamika musim dan iklim yang berlangsung dalam kurun waktu 7 tahun.

**Kata Kunci:** Kerapatan vegetasi; NDVI; Sistem Informasi Geografis

### Abstract

*Sisimeni Sanam Training KHDTK in Kupang Regency, with an area of 3,109.89 hectares, this area is divided into conservation, protection, and production zones, but faces various problems such as fire, encroachment, timber theft, and land degradation. To determine changes in vegetation in the last 7 years (2017 to 2024), a significant method in monitoring changes in vegetation density is by utilizing remote sensing technology with Sentinel-2A imagery. This study aims to determine the accuracy of Sentinel-2A image data and map changes in vegetation density in the last 7 years in the Sisimeni Sanam Training KHDTK. Based on the results of calculations using the confusion matrix table, the accuracy value of the ground check results is 87.8% (OA) and 81% (KA). This shows that the spatial information of density distribution using NDVI obtained has good accuracy and can be trusted. The results also show that within 7 years the KHDTK has experienced changes in vegetation density, namely 0.33 Ha/year for the sparse density class, 1,932.16 Ha/year for the medium density class and 731.85 Ha/year for the medium density class. These changes were identified based on seasonal and climatic dynamics that took place over a period of 7 years.*

**Keywords:** Vegetation Density; NDVI; Geographic Information System



## PENDAHULUAN

Undang-undang Republik Indonesia No. 41/1999 tentang Kehutanan pasal 1 ayat 2, mendefinisikan hutan sebagai suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi oleh pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan. Ayat 3 juga menyebutkan, kawasan hutan adalah wilayah tertentu yang ditunjuk dan atau ditetapkan oleh pemerintah untuk dipertahankan keberadaannya sebagai hutan tetap.

Salah satu kawasan yang termasuk dalam kategori hutan adalah Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK), yang diatur dalam UU No. 41 Tahun 1999. KHDTK merupakan kawasan hutan yang ditetapkan untuk keperluan penelitian dan pengembangan, pendidikan dan pelatihan, serta kepentingan religi dan budaya setempat. Di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), tepatnya di Kabupaten Kupang, terdapat KHDTK Diklat Sisimeni Sanam yang telah disahkan sebagai kawasan hutan tetap berdasarkan SK.3911/Menhut-VII KUH/2014 pada tanggal 14 Mei 2014, dengan luas 3.109,89 hektar (BDLHK Kupang, 2020). Kawasan ini secara administratif meliputi wilayah Desa Ekateta, Desa Benu, Desa Camplong II di Kecamatan Fatuleu, dan Desa Oesusu di Kecamatan Takari. Pengelolaan pada KHDTK Diklat Sisimeni Sanam dibagi menjadi tiga zona utama: zona konservasi, zona lindung, dan zona produksi (Renja Balai Diklat LHK Kupang, 2021).

KHDTK Diklat Sisimeni Sanam, yang digunakan untuk pendidikan dan pelatihan, kini menghadapi masalah seperti kebakaran hutan, perambahan, pencurian kayu, penggembalaan liar, dan penambangan batu. Berdasarkan data spasial Balai Pengelolaan DAS Benanain Noelmina, 1.037 Ha (34,9%) kawasan ini mengalami kekritisian lahan. Kekritisian ini disebabkan oleh aktivitas manusia dan faktor alami, seperti iklim ekstrem, hujan tidak merata, dan serangan hama, yang menyebabkan penurunan kepadatan vegetasi tidak hanya berdampak pada hilangnya fungsi ekosistem, seperti penyerapan karbon dan perlindungan keanekaragaman hayati, tetapi juga meningkatkan kerentanan kawasan terhadap erosi tanah, kekeringan, dan hilangnya sumber daya air.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pemantauan yang berkelanjutan terhadap kepadatan vegetasi untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi dalam kurun waktu 7 tahun terakhir yaitu tahun 2017-2024 di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam. Untuk memetakan perubahan tersebut, metode yang representatif adalah penerapan teknologi penginderaan jauh menggunakan citra Sentinel-2A, yang merupakan cara efisien dan efektif untuk menganalisis kondisi ekosistem hutan. Hal ini selaras dengan pendapat Purboyo et al. (2024), yang menyatakan bahwa penginderaan jauh adalah ilmu yang mampu memperoleh informasi tentang objek atau peristiwa di permukaan bumi melalui satelit. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur kepadatan ekosistem adalah analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Indeks ini dapat menghitung atribut penting seperti biomassa, produktivitas daun, indeks luas daun (LAI), dan kepadatan vegetasi. Dengan algoritma ini, peneliti dapat menghasilkan informasi yang akurat dan efisien untuk pemantauan kepadatan vegetasi, yang sangat penting dalam pengelolaan dan konservasi hutan di kawasan tersebut.

## METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis menulis, laptop, GPS, Handphone/kamera, software arcgis 10.3, software word 2007 dan avenza maps

### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu :



1. Tahap pra pengelolaan citra
  - a. Koreksi geometrik dan radiometrik
  - b. Penajam citra
  - c. Pemotongan citra

2. Tahap pengolahan citra

Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Normalized Difference Vegetation Index*.

Tabel 1. Klasifikasi NDVI.

	Nilai NDVI	Tingkat Kerapatan
1	-1 s/d 0,32	Jarang
2	0,33 s/d 0,42	Sedang
3	0,42 s/d 1	Rapat

Sumber : (Irwan dan Malau, 2016)

3. *Ground Check*

Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 33 titik sampel yang diperoleh dari rumus Badan Informasi Geospasial (BIG, 2014) berdasarkan besarnya skala dan total sampel minimal pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Sampel Berdasarkan Skala Peta.

Skala	Total Sampel Minimal
1:25.000	50
1:50.000	30
1:250.000	20

Sumber: *Badan Informasi Geospasial (BIG, 2014)*

4. Uji Akurasi

Uji akurasi merupakan tahap yang menentukan apakah hasil klasifikasi yang dilakukan sesuai dengan kondisi lapangan dan dapat diterima kebenarannya (Kusuma dan Handayani, 2015). Cara umum yang digunakan adalah dengan *error matrix* atau sering dikenal dengan *confusion matrix*.

Tabel 3. Matriks Konfusi

		Data Lapangan					Komisi
		Klasifikasi NDVI	Jarang	Sedang	Rapat	Total	
Hasil interpretasi	Jarang		X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>+i</sub>	X <sub>11</sub> / X <sub>+i</sub>
	Sedang		X <sub>14</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>+i</sub>	X <sub>22</sub> / X <sub>+i</sub>
	Rapat		X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>+i</sub>	X <sub>33</sub> / X <sub>+i</sub>
	Total		X <sub>i+</sub>	X <sub>i+</sub>	X <sub>i+</sub>	N	
	Akurasi pengguna		X <sub>11</sub> /X <sub>i+</sub>	X <sub>22</sub> /X <sub>i+</sub>	X <sub>33</sub> /X <sub>i+</sub>	OA	
		Omissi	Kappa				

Sumber: (Arnando, 2014)

Keterangan:

- Baris horizontal : Kenampakan di lapangan  
 Kolom vertikal : Kenampakan di peta  
 X<sub>11</sub>, X<sub>22</sub>, X<sub>33</sub> : Jumlah piksel uji akurasi yang dikatakan benar  
 X<sub>12</sub>, X<sub>13</sub>, X<sub>14</sub>, X<sub>15</sub>...X<sub>17</sub> : Jumlah piksel dalam satu kelas hasil uji lapangan  
 N : Jumlah total piksel yang digunakan dalam pengamatan  
 X<sub>i+</sub> : Total jumlah piksel dalam kolom i  
 X<sub>+i</sub> : Total jumlah piksel dalam baris i

Melalui matrix kesalahan pada tabel diatas *user's accuracy*, *producer's accuracy*, *overall accuracy* dan *kappa accuracy* dapat diperoleh secara matematis dengan cara berikut:

1. Perhitungan akurasi pengguna (*user's accuracy*) sebagai berikut:

$$User\ accuracy = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\%$$

2. Perhitungan akurasi pembuat (*producer's accuracy*) sebagai berikut

$$producer's\ accuracy = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\%$$

3. Perhitungan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) didapat dari perbandingan sampel yang terhitung tanpa error dengan keseluruhan total sampel. Perhitungan secara matematis sebagai berikut:

$$Overall\ accuracy = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \times 100\%$$

4. Perhitungan *Kappa Accuracy* sebagai berikut

$$Kappa\ accuracy = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})} \times 100\%$$

$$Omisi = 100\% - PA$$

$$Komisi = 100\% - UA$$

Keterangan:

N : Jumlah total pixel yang digunakan dalam pengamatan

r : Jumlah kelas

x<sub>ii</sub> : Nilai diagonal matriks kolom i dan baris i

## Teknik Analisis Data

### 1. Analisis NDVI

Tingkat kerapatan yang dapat diperoleh dari klasifikasi citra Sentinel-2A pada KHDTK Diklat Sisimeni sanam dengan menggunakan perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Hasil klasifikasi citra dibagi menjadi 3 kelas yaitu kelas kerapatan jarang, sedang, rapat. Hasil pengklasifikasian tersebut selanjutnya dihitung luas area setiap kelasnya. Perhitungan luas area ini dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *software* ArcGIS. Hasil luas area yang telah diklasifikasikan memiliki satuan hektare (Ha). Adapun rumus perhitungan klasifikasi NDVI pada citra Sentinel-2A adalah sebagai berikut (Sinergase, 2017 dalam Awaliyan & Sulistioadi, 2018)

$$NDVI = \frac{NIR\ (Band\ 8) - RED\ (Band\ 4)}{NIR\ (Band\ 8) + RED\ (Band\ 4)}$$

Sumber : (Sinergase, 2017 dalam Awaliyan & Sulistioadi, 2018)

Keterangan:

NIR = Band 8

RED = Band 4

### 2. Analisis *Difference in Differences* (DID)

Analisis perubahan kerapatan kanopi di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam digunakan analisis *Difference in Differences* (DID). Menurut Gertler *et al.*, 2016, DID adalah menghitung perbandingan perubahan sebelum dan sesudah dari waktu ke waktu dalam periode tertentu dengan menggunakan rumus sebagai berikut (BSN, 2014). Analisis ini dilakukan dengan menghitung luasan pada tiap kelas penutupan lahan pada dua waktu pengamatan, menghitung luas perubahan (periode 3 tahun) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PTH = \frac{(A_1 - A_0)}{(T_1 - T_0)}$$

Keterangan:

PTH = Perubahan tutupan hutan/lahan pertahun pada periode tertentu (Ha/tahun)

A<sub>0</sub> = Luas area pada waktu pengamatan awal (Ha)

A<sub>1</sub> = Luas area pada waktu pengamatan akhir (Ha)

T<sub>0</sub> = Tahun pengamatan awal

T<sub>1</sub> = Tahun pengamatan akhir

Analisis spasial dilakukan pada waktu pengamatan awal (T<sub>0</sub>) dengan kelas penutupan lahan pada waktu berikutnya (T<sub>1</sub>), melakukan analisis objek yang tidak berubah (pada T<sub>0</sub> dan T<sub>1</sub>) dan yang berubah (objek pada T<sub>0</sub> dan T<sub>1</sub> tidak sama), menghitung luasan pada setiap objek yang mengalami perubahan dan yang tidak mengalami perubahan (BSN, 2014).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. Uji Akurasi

Penelitian menggunakan data dan metode tertentu sehingga perlu dilakukan uji kebenaran, karena hasil uji kebenaran sangat mempengaruhi besarnya kepercayaan pengguna terhadap jenis data maupun metode analisisnya. Semakin banyak jenis dan jumlah data penginderaan jauh, maka uji kebenaran perlu dilakukan, baik untuk keperluan pemetaan maupun untuk evaluasi sumber daya lahannya. Dalam hal ini uji kebenaran interpretasi citra yang dipakai peneliti adalah *ground check*. Pengecekan langsung dilapangan bertujuan untuk mencocokkan kenampakan hasil interpretasi hasil klasifikasi NDVI dengan kondisi nyata kerapatan vegetasi dilapangan.

Berdasarkan hasil *ground check* yang dilakukan terdapat 4 titik yang tidak sesuai antara kategori tingkat kerapatan vegetasi di peta dengan hasil *ground check* yang dilakukan dilapangan. Hal tersebut dikarenakan beberapa faktor antara lain pengolahan data citra yang kurang teliti dan juga adanya awan, dimana awan dan bayangan awan dapat menghalangi pandangan sensor satelit terhadap permukaan bumi, sehingga informasi penting seperti tutupan vegetasi tidak dapat terlihat atau dianalisis dengan baik menurut Richards, J. A (2009). Akan tetapi setelah dilakukan *ground check* dan dikalkulasi tingkat ketelitian data hasil klasifikasi NDVI adalah 87,8 % dari 33 titik sampel, sehingga data hasil klasifikasi NDVI dalam penelitian ini masih dapat diterima atau digunakan. Data hasil kalkulasi dapat dilihat pada Tabel 4 matriks konfusi.

Tabel 4. Matriks konfusi.

		Data Lapangan					
	Klasifikasi NDVI	Jarang	Sedang	Rapat	Total	Akurasi pembuat	Komisi
Hasil interpretasi	Jarang	9	2	0	11	81,8	18,9
	Sedang	0	11	0	11	100	0
	Rapat	0	2	9	11	81,8	18,9
	Total	9	15	9	33		
	Akurasi pengguna	100	73,3	100	<b>OA</b>	87,8%	
	Omisi	0	26,70	0	<b>Kappa</b>	81%	

Sumber: Analisis Data Primer 2024

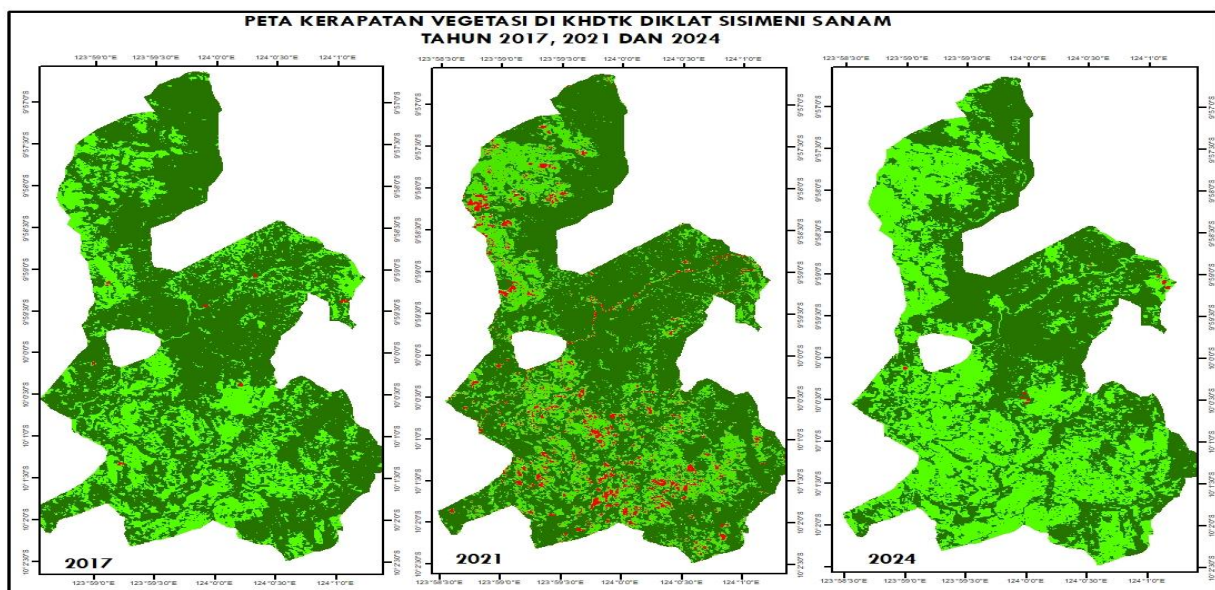
Tabel 4 menunjukkan hasil uji ketelitian dengan menggunakan matriks konfusi dengan obyek yang dianalisis dikelompokkan menjadi 3 kelas yaitu jarang, sedang dan rapat.

Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk nilai *overall accuracy* 87,8%, sehingga dikatakan dapat memenuhi ketentuan yang ditetapkan. Dimana menurut *United States Geological Survey* (USGS) menetapkan ketelitian klasifikasi (*overall accuracy*) minimum dengan menggunakan penginderaan jauh adalah 85% (Sampurno, & Thoriq 2016).

Sedangkan untuk analisis menggunakan nilai *kappa accuracy* dilakukan untuk menunjukkan perbedaan antara kecocokan sebenarnya dengan kecocokan yang kebetulan. Dalam penelitian ini diperoleh nilai *kappa accuracy* sebesar 81% (0,81). Berdasarkan koefisien kappa pada Tabel 12 (Umri, 2021), nilai tersebut masuk dalam kategori peluang akurasi hampir sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa informasi spasial sebaran kerapatan kerapatan menggunakan NDVI yang diperoleh memiliki ketelitian yang baik dan dapat dipercaya kebenarannya.

## 2. Hasil dan Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi Tahun 2017 Hingga 2024.

Penelitian ini mengklasifikasikan kelas kerapatan KHDTK Diklat Sisimeni Sanam menjadi 3 kelas kerapatan dalam luas kawasan 3.109,38 Ha. Penentuan kelas kerapatan didasarkan pada penafsiran citra Sentinel-2A terhadap keadaan lapangan atas batas-batas yang jelas dan disesuaikan dengan kondisi lapangan dilokasi penelitian. Kelas kerapatan yang dilakukan meliputi: jarang, sedang dan rapat. Peta kerapatan vegetasi tahun 2017, 2021 dan 2024 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Kerapatan Perubahan Vegetasi di KHDTK Sisimeni Sanam

Tabel 5. Perubahan Luas Kerapatan Vegetasi di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam pada tahun 2017, 2021 dan 2024.

Kelas NDVI	Tahun 2017		Tahun 2021		Tahun 2024		Perubahan Ha/Tahun
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
Jarang	4,69	0,15	112,67	3,62	2,36	0,08	0,33
Sedang	501,9	16,14	832,31	26,76	2.003,86	64,43	1.932,16
Rapat	2.603,39	83,71	2.165,00	69,61	1.103,76	35,49	731,85
Total	3.109,98	100	3.109.98	100	3.109,98	100	2.663,67

Sumber: Analisis Data Primer 2024

Gambar 1 menunjukkan bahwa dari hasil pengolahan data yang dilakukan, diketahui bahwa luas kerapatan vegetasi di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam mengalami fluktuasi seiring dengan perubahan waktu. Perubahan luasan yang terjadi pada tahun 2017 dan 2021 dapat diidentifikasi berdasarkan perubahan musim dan iklim, dimana berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada September 2017, terdapat 11 kabupaten di NTT yang mengalami kekeringan akibat musim panas yang berkepanjangan termasuk Kabupaten Kupang. Musim panas yang berkepanjangan menyebabkan kekeringan di Kabupaten Kupang karena daerah tersebut mengalami hari tanpa hujan yang sangat panjang dengan kondisi iklim cuaca kering, curah hujan tahunan rata-rata 1.250 mm/tahun dan data indeks kekeringan sebesar -3,36 berdasarkan perhitungan SPI (*Standardized precipitation index*) (Krisnayanti *et al.*, 2020). Kekeringan ini menyebabkan berkurangnya kerapatan vegetasi, sehingga area dengan kerapatan vegetasi jarang menjadi lebih luas dan juga dapat mengakibatkan kerentanan terhadap masalah kebakaran hutan.

Namun pada tahun 2021 terjadi perubahan luasan yang cukup signifikan pada kelas kerapatan jarang, yang diakibatkan oleh peristiwa seroja (angin siklon tropis seroja) yang terjadi pada bulan April. Peristiwa seroja ini melanda wilayah Indonesia, terutama Nusa Tenggara Timur (NTT). Siklon ini menyebabkan hujan lebat, angin kencang, banjir bandang, dan tanah longsor yang berdampak luas pada lingkungan, termasuk perubahan kerapatan vegetasi. Peristiwa seroja ini mempengaruhi kerapatan vegetasi khususnya kerapatan jarang dimana angin kencang dan hujan deras dari siklon tropis dapat merobohkan pohon, mencabut tanaman dari akarnya, serta menyebabkan defoliasi (kehilangan daun) sehingga kerapatan vegetasi tingkat jarang menjadi bertambah. Sementara itu, kondisi iklim yang berbeda di tahun 2024, misalnya curah hujan yang lebih tinggi sehingga dapat mendukung pertumbuhan kembali vegetasi dan mengurangi luas area dengan kerapatan vegetasi jarang.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa

1. Analisis kerapatan vegetasi di KHDTK Diklat Sisimeni Sanam menggunakan citra Sentinel-2A dan NDVI memiliki ketelitian tinggi dengan nilai *overall accuracy* 87,8%, dan *kappa accuracy* sebesar 81% (0,81). Hal ini menunjukkan bahwa informasi spasial sebaran kerapatan menggunakan NDVI yang diperoleh memiliki ketelitian yang baik dan dapat dipercaya kebenarannya.
2. Kerapatan vegetasi pada KHDTK Diklat Sisimeni Sanam dalam kurun waktu 7 tahun mengalami perubahan luas kerapatan vegetasi yaitu:
  - a. Kelas kerapatan jarang menurun dari 4,69 Ha menjadi 2,36 Ha (0,33 Ha/tahun).
  - b. Kelas kerapatan sedang meningkat dari 501,9 Ha menjadi 2.003,86 Ha (1.932,16 Ha/tahun).
  - c. Kelas kerapatan rapat menurun dari 2.603,39 Ha menjadi 1.103,76 Ha (731,85 Ha/tahun).

## DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, N. 2016. Application of NDVI in vegetation monitoring using GIS and remote sensing in northern Ethiopian highlands. *Abyssinia Journal of Science and Technology*, 1(1), 12-17.

- Badan Informasi Geospasial. 2014. Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove Nomor 3 Tahun 2014. Badan Informasi Geospasial. Cibinong. 53 hal
- Balai Diklat Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Kupang. 2018. Kabar Beta & Seputar Aktivitas Kehutanan (Kabesak) (Edisi 24/II/2016). Kupang: BDLHK Kupang
- Hidayati, I. N., Suharyadi, R., & Danoedoro, P. 2018. Kombinasi indeks citra untuk analisis lahan terbangun dan vegetasi perkotaan. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 24-32.
- Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. J. 2016.
- Lintang, N. C., Sanjoto, T. B., & Tjahjono, H. 2017. Kajian Kerapatan Vegetasi Hutan Lindung Gunung Ungaran Jawa Tengah Tahun 2016 menggunakan Metode Indeks Vegetasi. *Geo-Image*, 6(1), 1–7.
- Maridi, M., Saputra, A., & Agustina, P. 2015. Analisis Struktur Vegetasi di Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 8(1), 28-42.
- Nadira, S. 2018. *Analisis Tutupan Lahan Menggunakan Citra Sentinel 2 di Kawasan Pesisir Kabupaten Langkat* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Purboyo, A. A., Ramadan, A. H., Arifin, E. T., Noviandi, I. E., & Arizqi, M. (2024). Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Morfometri di DAS Ciliwung. *Aerospace Engineering*, 1(1), 12-12.
- Rusmayadi, G. 2013. Iklim Mikro, Teori, Pengukuran dan Analisa. Perpustakaan Nasional Indonesia: Penerbit P3AI UNLAM.
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. 1–14.
- Sunaryo, D. K., & Iqmi, M. Z. 2015. Pemanfaatan citra landsat 8 untuk pendeteksian dan mengetahui hubungan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan. *Spectra*, 13(25), 55-72.
- Supriatna, J. 2018. *Konservasi Biodiversitas: Teori dan Praktik di Indonesia*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Solahudin A, Malik. 2019. Analisis Terhadap Gangguan Hutan Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Hutan Pendidikan Dan Pelatihan Sisimeni Sanam Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kupang: BDLHK Kupang.
- Tohir, N. R., Prasetyo, L. B., & Kartono, A. P. 2014. Pemetaan perubahan kerapatan kanopi hutan di hutan rakyat, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. In *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014* (pp. 322-331). LAPAN.
- Umri, S. S. A. 2021. Analisis Dan Komparasi Algoritma Klasifikasi Dalam Indeks Pencemaran Udara Di Dki Jakarta. *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 4(2), 98-104.
- Wulandari, N. 2020. *Penggunaan Metode Ndvi (Normalized Difference Vegetation Index) Dan Savi (Soil Adjusted Vegetation Index) Untuk Mengetahui Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Oksigen (Studi Kasus: Kota Yogyakarta)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).