

## Model *Forest Canopy Density* pada Citra SPOT-6 untuk Estimasi Potensi Tegakan Pohon di Kawasan Pengelolaan Hutan Lindung Batu Serampok Lampung Selatan

Aulia Try Atmojo<sup>1</sup>, Retno Triyani<sup>1</sup>, Adam Irwansyah Fauzi<sup>1,2\*</sup>, Muhammad Ulin Nuha<sup>1</sup>,  
Meraty Ramadhini<sup>1</sup>, Arif Rohman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

<sup>2</sup> The University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Austria

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 22 Juli 2024

Direvisi: 20 Agustus 2024

Diterima: 19 Oktober 2024

#### Kata kunci:

*Forest Canopy Density* (FCD)

*Index* (NDVI)

Indeks Vegetasi

*Normalized Different Vegetation*

SPOT-6

Tegakan Pohon

#### Keywords:

*Forest Canopy Density* (FCD)

*Index* (NDVI)

*Vegetation Index*

*Normalized Different Vegetation*

SPOT-6

*Tree Stand*

#### Penulis Korespondensi:

Adam Irwansyah Fauzi

Email: adam.fauzi@gt.itera.ac.id

### ABSTRAK

Inventarisasi hutan secara tradisional untuk memperoleh informasi jumlah tegakan pohon di Kawasan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) Batu Serampok memakan banyak waktu dan biaya. Oleh sebab itu digunakanlah teknologi penginderaan jauh dalam mengestimasi potensi tegakan pohon. Penelitian ini menggunakan model *Forest Canopy Density* (FCD) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari citra satelit SPOT-6 untuk menentukan kerapatan hutan. Survei lapangan dilakukan untuk memvalidasi hasil pengolahan citra. Analisis statistik yang digunakan mencakup uji korelasi dan regresi linier. Kelas kerapatan hutan dikonversi menjadi jumlah tegakan pohon per satuan luas menggunakan persamaan regresi. Uji akurasi membandingkan data lapangan dengan estimasi tegakan pohon berdasarkan indeks vegetasi. Skor korelasi FCD adalah 0,85, lebih tinggi dari NDVI yang sebesar 0,78, dengan hasil regresi linier masing-masing 0,73 untuk FCD dan 0,62 untuk NDVI. FCD menunjukkan akurasi maksimum yang lebih tinggi (90,52%) dibandingkan NDVI (84,08%), sehingga FCD dipilih sebagai metode utama untuk menghitung potensi jumlah tegakan pohon. Secara keseluruhan, rekonstruksi FCD terbukti lebih akurat daripada NDVI, dengan KPHL Batu Serampok didominasi oleh kelas kerapatan menengah.

*Traditional forest inventory methods for obtaining tree stand data in the Batu Serampok Protected Forest Management Unit (KPHL) require significant time and resources. Therefore, remote sensing technology was employed to estimate the potential tree stand density. This study utilized the Forest Canopy Density (FCD) model and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from SPOT-6 satellite imagery to assess forest density. Field surveys were conducted to validate the image processing results. Statistical analysis, including correlation and linear regression tests, was performed. Forest density classes were converted into the number of trees per unit area using regression equations. Accuracy tests compared field data with estimated tree stand counts based on vegetation indices. The FCD correlation score was 0.85, higher than NDVI's 0.78, with linear regression results of 0.73 for FCD and 0.62 for NDVI. FCD demonstrated higher maximum accuracy (90.52%) compared to NDVI (84.08%), making it the preferred method for estimating tree stand potential. Overall, FCD reconstruction proved more accurate than NDVI, with the Batu Serampok KPHL predominantly characterized by moderate-density stands.*

Copyright © 2024 Author(s).

## I. PENDAHULUAN

Hutan memegang peranan penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan global serta menyediakan berbagai manfaat ekosistem, seperti penyimpanan karbon, habitat bagi keanekaragaman hayati, dan perlindungan air (Mitchard, 2018). Namun, tekanan yang terus meningkat dari deforestasi, perubahan iklim, dan aktivitas manusia lainnya mengancam kelestarian hutan. Oleh karena itu, pemantauan dan pengelolaan yang efektif terhadap hutan menjadi sangat penting. Data potensi hutan dapat diperoleh dari kegiatan inventarisasi hutan. Masalah yang dihadapi dalam pengambilan data yaitu menyangkut tenaga, waktu, dan biaya yang dibutuhkan. Kemajuan teknologi penginderaan jauh memberikan sarana untuk melakukan pemetaan hutan yang komprehensif, yang memainkan peran kritis dalam upaya pemantauan dan konservasi (Ullah et al., 2020). Metode pengolahan data citra penginderaan jauh yang dilakukan dalam mengestimasi jumlah tegakan pohon adalah model *Forest Canopy Density* (FCD) dan indeks vegetasi *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI). Tegakan pohon yang dimaksud adalah jumlah pohon per satuan luas (Lillesand et al., 2015). FCD merupakan suatu model kerapatan kanopi hutan yang dikembangkan oleh Atsushi Rikimaru di bawah proyek penelitian dari *International Tropical Timber Organization* (ITTO) untuk keperluan analisis dan pemantauan perkembangan hutan secara kuantitatif (Fauzi et al., 2019). Sedangkan NDVI secara luas telah digunakan untuk mendeteksi perubahan penutupan hutan, baik yang disebabkan oleh manusia maupun secara alami seperti konversi tutupan lahan, penebangan hutan, revegetasi, ataupun penghijauan termasuk perluasan hutan alami dan restorasi lanskap yang disebabkan oleh manusia (Lyon et al., 1998; Sader et al., 2003; Wilson & Sader, 2002). Metode NDVI digunakan untuk menilai perluasan alami hutan di wilayah Basilicata (Italia bagian selatan) selama periode 1984 hingga 2010 (Mancino et al., 2014). Penelitian lain yang dilakukan oleh (Nurzihan et al., 2023) penggunaan lahan dan degradasi lahan di suatu wilayah diketahui dengan kerapatan vegetasi menggunakan NDVI.

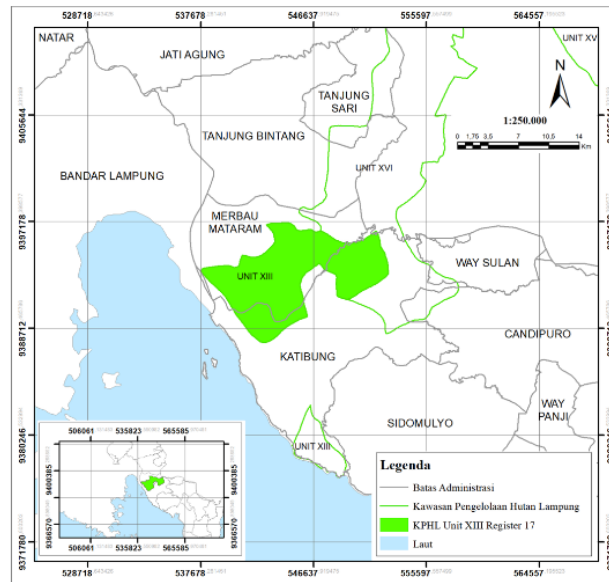
Selain NDVI, model FCD telah banyak digunakan untuk melakukan monitoring hutan dan perubahan penutup lahan melalui empat indikator yang dibawa seperti; *Advanced Vegetation Index* (AVI), *Bare Soil Index* (BI), *Shadow Index* (SI), dan *Thermal Index* (TI) (Rikimaru, 1999; Rikimaru et al., 2002). Model FCD umumnya dirancang untuk digunakan pada kawasan hutan di daerah pedalaman. Namun, untuk wilayah selain hutan pedalaman, modifikasi FCD diperlukan agar lebih akurat dalam merefleksikan kondisi nyata di lapangan dan dapat diterapkan secara khusus pada kawasan hutan tertentu. Modifikasi model FCD ini dilakukan secara temporal untuk menilai peningkatan akurasi di Kecamatan Sukasada, Bali, dari tahun 2014 hingga 2019 (Sediyo et al., 2020). Hasil modifikasi dari penelitian sebelumnya memungkinkan penerapan FCD secara khusus untuk kawasan penelitian seperti hutan lindung. Model FCD yang telah dimodifikasi dapat diterapkan pada Kawasan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) Unit XIII Lampung. Berdasarkan informasi dari Dinas Kehutanan Provinsi Lampung, area ini bukanlah hutan pedalaman, melainkan tipe hutan yang tidak homogen dengan tutupan lahan yang beragam, termasuk pertanian lahan kering (556,62 Ha), pertanian lahan kering campur semak (7.397,32 Ha), pemukiman (63,50 Ha), dan pertambangan (13,72%).

Penelitian yang dilakukan oleh (Danoedoro et al., 2023) membandingkan metode FCD dan *Random Decision Forest* (RDF) untuk pemetaan struktur vegetasi di wilayah Salatiga, Ambarawa, dan sekitarnya. Citra Landsat-8 OLI digunakan dalam penelitian ini, mencakup 6 kanal (biru hingga termal) dengan resolusi spasial 30 meter. Metode FCD menghasilkan 11 kelas, sedangkan RDF juga mengklasifikasikan 11 kelas berdasarkan area pelatihan dan proses acak dengan berbagai jumlah pemisahan dan jumlah pohon. FCD menunjukkan akurasi sebesar 69,32%. Penelitian sebelumnya oleh (Fauzi et al., 2019) menggunakan model FCD untuk menganalisis degradasi hutan di Kota Bandar Lampung menggunakan citra Landsat 5 TM (2009) dan Landsat 8 OLI/TIRS (2015). Hasil menunjukkan degradasi hutan sebesar 1002,75 ha antara 2009-2015. Selain itu, penelitian oleh (Loi et al., 2017) di Provinsi Thai Nguyen, Vietnam, menggunakan Landsat 8 OLI (2016) dan menghasilkan akurasi 85,3% dalam evaluasi model FCD terhadap peta tutupan lahan. Penelitian (Rafsenja et al., 2020) menggunakan Algoritma NDVI untuk identifikasi mangrove dengan Citra Landsat 8 (30 meter) dan Sentinel 2-A (10-20 meter), menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk Sentinel 2-A (87,75%) dibandingkan dengan Landsat 8 (75,51%). Hal ini disebabkan oleh perbedaan resolusi spasial. Citra satelit SPOT-6 dipilih dalam penelitian ini karena memiliki resolusi spasial yang tinggi yaitu 6 meter (multispektral) dan 1,5 meter (pankromatik), menjadikannya lebih tepat untuk pemetaan kerapatan hutan pada skala menengah hingga tinggi. Resolusi ini lebih baik untuk menganalisis komposisi struktural vegetasi dibandingkan dengan citra resolusi lebih rendah seperti Landsat.

## II. METODE

### 2.1 Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian dilakukan di Kawasan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) Unit XIII Batu Serampok Lampung Selatan dengan luas  $\pm 7.050,89$  Ha. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1** Peta Lokasi Penelitian KPHL Unit XIII Register 17 Lampung Selatan

Berdasarkan PERDA Provinsi Lampung No. 23 Tahun 2014, KPHL Batu Serampok merupakan Unit Pelaksana Teknis Dinas Daerah Kesatuan Pengelolaan Hutan (UPTD KPH) yang dibentuk paling akhir bersama dengan UPTD KPH Way Waya. UPTD KPH di Provinsi Lampung berjumlah 17 dan menjadi bagian dari Dinas Kehutanan Provinsi Lampung.

### 2.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini klasifikasi tutupan lahan dan estimasi jumlah tegakan hutan dilakukan menggunakan citra satelit SPOT-6 tahun 2017 yang didapat dari Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dapat diakses melalui website <https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot-6>. Citra tersebut memiliki resolusi spasial yang tinggi (6 meter). Peta RBI Kabupaten Lampung Selatan Skala 1:25.000 digunakan untuk koreksi geometrik, dapat diakses melalui Situs Badan Informasi Geospasial <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>. Batas area pada penelitian ini menggunakan *Shapefile* Kawasan Pengelolaan Hutan (KPH) yang didapat melalui KPH Provinsi Lampung. Sedangkan Batas Administrasi Peta Penelitian (Kecamatan Lampung Selatan) didapat dari Bappeda Kabupaten Lampung. Data kanopi hasil akuisisi lapangan digunakan sebagai uji akurasi estimasi jumlah tegakan pohon.

### 2.3 Pengolahan Data

Terdapat beberapa tahapan pengolahan yang dilakukan di dalam penelitian. Tahapan tersebut diuraikan di bagian selanjutnya.

#### 2.3.1 Pengolahan citra satelit

##### 1. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik merupakan perbaikan dasar citra akibat kesalahan pantulan permukaan atau faktor lain berupa pergeseran nilai *Digital Number* (DN) piksel pada citra. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh:

- Kesalahan optik
- Kesalahan karena gangguan energi radiasi elektromagnetik pada atmosfer
- Kesalahan karena pengaruh sudut elevasi matahari

Koreksi radiometrik meliputi kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosferik (Jaelani, 2013). Metode *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH) digunakan untuk mereduksi efek atmosfer pada penelitian ini.

## 2. Koreksi Geometrik

Berdasarkan karakteristiknya, kesalahan geometrik terbagi menjadi kesalahan sistematis dan non-sistematis. Kesalahan non-sistematis sering kali masih ditemukan pada citra satelit, sehingga diperlukan proses koreksi geometrik untuk memperbaikinya. Metode rektifikasi geometrik peta ke citra digunakan pada penelitian ini sebagai koreksi geometrik (Jensen & Lulla, 1987).

## 3. Penghilangan Derau

Faktor faktor derau pada citra seperti awan, bayangan awan, dan badan air sangat merugikan, karena mempengaruhi nilai statistik dalam proses analisis citra (Rikimaru, 1999). Oleh karena itu, digitasi secara manual dilakukan pada penelitian ini yaitu memotong objek-objek awan dan bayangan awan untuk menghilangkan derau.

## 4. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan yang dipakai adalah klasifikasi terbimbing, yaitu metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*). Klasifikasi citra penutup lahan yang dilakukan mengacu pada SNI Klasifikasi Penutup Lahan tahun 2010 dengan skala 1:25.000 dengan kelas yang digunakan adalah hutan dan non-hutan.

## 5. Normalisasi

Dalam normalisasi distribusi data, metode sederhana yang dapat dilakukan adalah dengan mengatur kembali histogram citra menggunakan transformasi linier.

## 6. Pengolahan Indeks Vegetasi dan Penentuan Kerapatan Hutan

- Indeks *Forest Canopy Density* (FCD)
- Model FCD biasanya digunakan untuk memantau kondisi hutan dan perubahan tutupan lahan melalui beberapa indikator, seperti *Advanced Vegetation Index* (AVI), *Bare Soil Index* (BI), *Shadow Index* (SI), dan *Thermal Index* (TI). Pada penelitian ini, modifikasi model FCD diterapkan dengan beberapa parameter, antara lain AVI yang sensitif terhadap vegetasi hijau (Rikimaru et al., 2002), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) yang mempertimbangkan indeks tanah terbuka (Huete, 1988), *Shady Vegetation Index* (SVI) yang peka terhadap bayangan dari variasi kanopi (Rikimaru et al., 2002), serta *Scaled Vegetation Density* (SVD).
- NDVI merupakan indeks yang memanfaatkan fenomena fisik pantulan gelombang cahaya yang berasal dari dedaunan. Nilai kehijauan vegetasi suatu wilayah yang diamati berupa skala antara -1 sampai 1.

### 2.3.2 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk memverifikasi hasil pengolahan citra dengan kondisi nyata di lapangan. Data yang dikumpulkan meliputi koordinat lokasi pengambilan foto aktual, foto hemisferis kanopi hutan, serta perhitungan jumlah tegakan pohon di area seluas (6x6) meter, disesuaikan dengan resolusi spasial dari citra satelit SPOT-6.

### 2.3.3 Analisis Statistik Indeks Vegetasi terhadap Tegakan Pohon di Lapangan

#### a. Uji Statistik FCD dan NDVI

Tahap uji statistik berupa korelasi dan regresi linier. Korelasi dilakukan untuk melihat hubungan antara FCD dan NDVI dengan jumlah pohon di lapangan. Regresi menggunakan data nilai jumlah pohon hasil survei di lapangan sebagai variabel terikat dan nilai kerapatan (FCD) serta nilai indeks (NDVI) pada citra sebagai variabel bebas.

#### b. Rekonstruksi dan Uji Akurasi Nilai Indeks Vegetasi

Proses rekonstruksi citra bertujuan untuk mengubah nilai indeks vegetasi pada citra menjadi estimasi jumlah tegakan pohon per piksel di lapangan. Rekonstruksi ini dilakukan menggunakan persamaan yang diperoleh dari hasil regresi linier dalam analisis statistik. Untuk memastikan akurasi hasil, dilakukan uji akurasi terhadap indeks vegetasi guna menghitung standar estimasi kesalahan (*Standard Estimation Error*), serta mengidentifikasi kesalahan minimum (*Minimum Error*), kesalahan maksimum (*Maximum Error*), dan akurasi minimum (*Minimum Accuracy*) dari hasil regresi. Uji akurasi

tersebut membandingkan jumlah tegakan pohon yang diukur di lapangan dengan jumlah yang dihasilkan dari rekonstruksi indeks vegetasi.

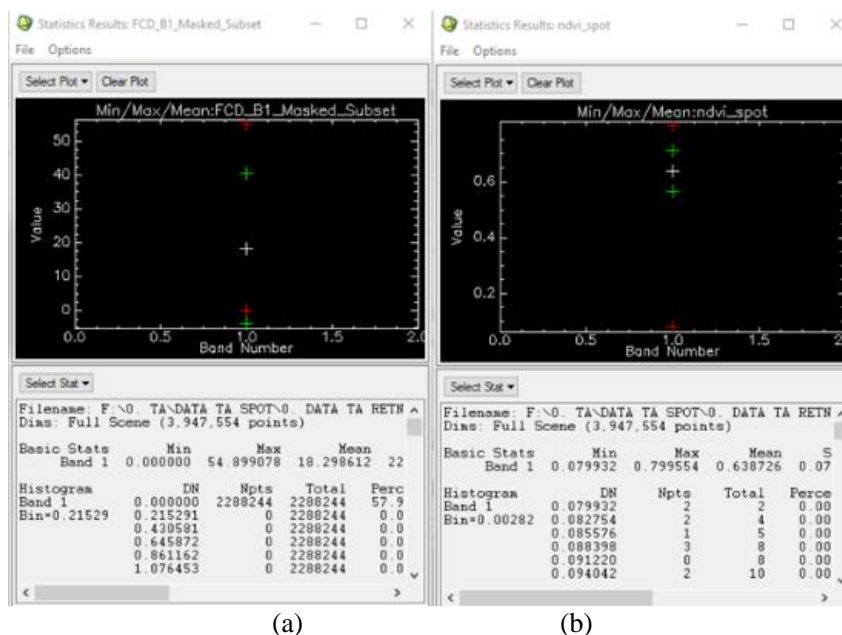
### c. Pemetaan Sebaran Jumlah Tegakan Pohon

Peta persebaran jumlah tegakan pohon diperoleh dari hasil pengolahan kelas jumlah tegakan pohon hasil indeks vegetasi yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak sistem informasi geografis.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Indeks Kerapatan Hutan model FCD dan NDVI

Klasifikasi nilai indeks model dibagi menjadi kelas rendah, menengah dan tinggi. Dari hasil histogram FCD yang terdapat pada Gambar 2a, diperoleh hasil model modifikasi FCD nilai indeks vegetasi FCD terendah adalah 0 dan tertinggi 54,89, dengan dominasi kelas kerapatan hutan berada pada nilai 34,29 – 51,43 (kelas kerapatan hutan menengah).



Gambar 2 Histogram FCD (a) dan NDVI (b)

Lalu untuk indeks vegetasi NDVI yang terdapat pada Gambar 2b, nilai terendah adalah 0,07 dan nilai tertinggi 0,79 dengan dominasi kelas kerapatan hutan berada pada nilai 0,47 – 0,79 yaitu pada kelas kerapatan hutan tinggi.

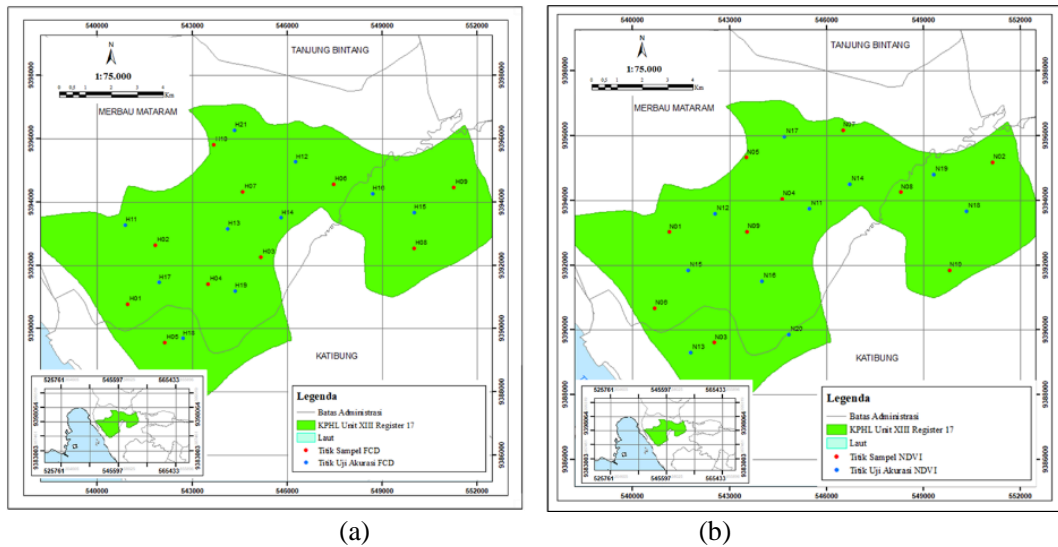
### 3.2 Persebaran Titik Sampel Survei Lapangan

Persebaran titik survei lapangan yang terdapat pada Gambar 3, ditentukan untuk pengujian korelasi dan pengujian akurasi *Standard Error* (SE) pada hasil FCD dan NDVI. Untuk masing-masing model terdapat 20 titik yang tersebar merata di seluruh wilayah, ditandai dengan simbol titik dengan warna dan penamaan. Setiap titik survei ditandai dengan simbol titik biru dan merah dengan penamaan H1-H20 untuk FCD dan N1-N20 untuk NDVI. Simbol titik biru digunakan untuk pengujian akurasi FCD dan NDVI, sedangkan simbol titik merah digunakan untuk pengujian korelasi masing-masing model. Sampel hasil survei lapangan berupa koordinat aktual lokasi pengambilan foto di lapangan, foto *hemispherical* kanopi hutan dan hitungan jumlah kerapatan dan tegakan pohon di lapangan yang terdapat pada Tabel 1.

### 3.3 Analisis Statistik Model FCD dan NDVI

Uji korelasi dilakukan menggunakan data indeks vegetasi dan perhitungan jumlah tegakan pohon di lapangan yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Jumlah tegakan di lapangan sebagai variabel terikat sedangkan indeks vegetasi citra satelit SPOT-6 sebagai variabel bebas karena kondisi nilai *digital number* (DN) pada citra tidak terlepas dari kondisi sebenarnya di lapangan. Hasil uji korelasi jumlah tegakan indeks FCD bernilai 0,85 dan masuk pada kategori tinggi karena berada diantara nilai

$0,8 \leq |r| \leq 1$ . Sedangkan uji korelasi indeks NDVI bernilai 0,78 masuk pada kategori cukup karena berada diantara rentang  $0,5 \leq |r| \leq 0,8$ .



Gambar 3 Persebaran Titik Survei FCD (a) dan NDVI (b)

Tabel 1 Sampel Survei KPHL Batu Serampok

No.	ID	Koordinat (UTM)		Kelas Kerapatan		Dokumentasi
		X (M Timur)	Y (M Utara)	Hutan	(pohon/m <sup>2</sup> )	
1	H01	540962,091	9390771,686	Rendah	4	
2	H02	542450,092	9392513,546	Menengah	5	
3	H03	542788,022	9392540,159	Menengah	6	
4	H04	542865,212	9391813,611	Menengah	5	
5	H05	542989,242	9392431,245	Menengah	5	
6	H06	542895,572	9392631,823	Menengah	6	
7	H07	542481,359	9393528,83	Menengah	5	
8	H08	542702,107	9394224,061	Menengah	5	
9	H09	543163,747	9394779,96	Menengah	6	
10	H10	543670,19	9395810,304	Menengah	5	

**Tabel 2** Uji Korelasi Model FCD dengan Jumlah Tegakan Pohon

No.	ID	Koordinat (UTM)		FCD	Jumlah Tegakan Pohon	Tujuan
		X (M Timur)	Y (M Utara)			
1	H01	540962,091	9390771,686	45,688751	4	
2	H02	542450,092	9392513,546	50,217945	5	
3	H03	542788,022	9392540,159	51,237846	6	
4	H04	542865,212	9391813,611	48,562817	5	
5	H05	542989,242	9392431,245	48,562817	5	Titik Sampel
6	H06	542895,572	9392631,823	50,573845	6	
7	H07	542481,359	9393528,83	48,326878	5	
8	H08	542702,107	9394224,061	49,751286	5	
9	H09	543163,747	9394779,96	50,817303	6	
10	H10	543670,19	9395810,304	50,392017	5	
11	H11	544360,051	9395159,424	49,809406	6	
12	H12	544782,758	9394507,852	50,532043	6	
13	H13	544857,295	9394159,907	49,495358	5	
14	H14	545804,41	9393500,63	49,240196	5	
15	H15	545088,45	9392570,79	48,602356	5	Titik Uji Akurasi
16	H16	544829,938	9392411,556	47,828506	4	
17	H17	544256,558	9392355,275	51,655384	7	
18	H18	543963,429	9391886,832	50,62421	6	
19	H19	544184,988	9391754,688	49,534191	6	
20	H21	544020,786	9395263,887	50,897404	7	
Korelasi Titik Sampel					0,858601087	

**Tabel 3** Uji Korelasi Model NDVI dengan Jumlah Tegakan Pohon

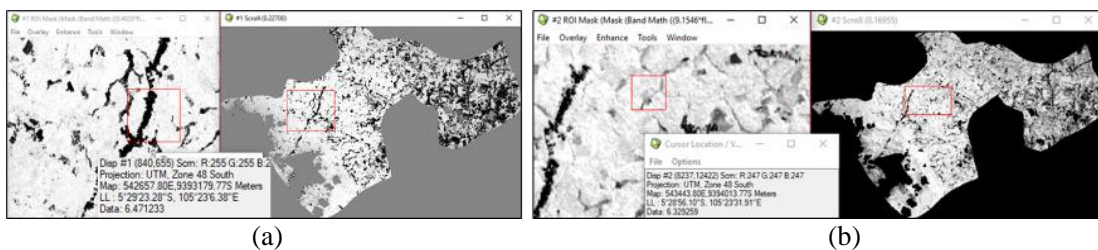
No.	ID	Koordinat (UTM)		FCD	Jumlah Tegakan Pohon	Tujuan
		X (M Timur)	Y (M Utara)			
1	N01	542116,24	9392595,615	0,690035	5	
2	N02	545249,8	9390755,77	0,646284	6	
3	N03	544823,8	9391595,77	0,709216	7	
4	N04	544631,8	9394043,77	0,608582	5	
5	N05	543521,8	9395321,77	0,539417	5	Titik Sampel
6	N06	543179,8	9391397,77	0,572305	6	
7	N07	544019,802	9395267,765	0,689645	6	
8	N08	543473,8	9392999,77	0,499591	4	
9	N09	543425,8	9393011,77	0,660652	6	
10	N10	543485,8	9392993,77	0,477836	4	
11	N11	545458,361	9393738,584	0,696278	6	
12	N12	548009,8	9395519,77	0,481253	4	
13	N13	547763,8	9393539,77	0,700555	5	
14	N14	546713,8	9394505,77	0,523126	4	
15	N15	548003,8	9394517,77	0,676011	5	Titik Uji Akurasi
16	N16	550637,8	9393833,77	0,566895	4	
17	N17	546575,8	9394667,77	0,652643	6	
18	N18	549956,667	9393946,491	0,570326	4	
19	N19	548501,8	9394817,77	0,594535	5	
20	N20	544261,938	9389452,729	0,617185	5	
Korelasi Titik Sampel					0,789868698	



Persamaan linier untuk rekonstruksi citra diperoleh dari analisis regresi antara indeks vegetasi citra satelit dan jumlah tegakan pohon di lapangan. Proses rekonstruksi citra dilakukan untuk mengubah nilai indeks vegetasi pada citra menjadi estimasi jumlah tegakan pohon, karena hasil dari indeks vegetasi (model FCD dan NDVI) masih berupa nilai kerapatan. Nilai regresi linier ( $R^2$ ) yang dihasilkan untuk model FCD adalah 0,74, sedangkan model NDVI memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0,62. Semakin tinggi nilai  $R^2$  (mendekati 1), semakin kuat korelasi antara jumlah tegakan pohon di lapangan dengan indeks vegetasi dari citra satelit. Berdasarkan hasil ini, indeks FCD menunjukkan hubungan yang lebih kuat terhadap jumlah tegakan pohon dibandingkan model NDVI. Persamaan regresi untuk model FCD adalah  $y = 0,3299x - 11,115$ , sedangkan untuk NDVI adalah  $y = 9,1546x - 0,1784$ . Persamaan ini digunakan untuk mengonversi nilai DN FCD pada citra menjadi estimasi jumlah tegakan pohon per piksel.

### 3.4 Rekonstruksi Nilai Indeks Kerapatan (Model FCD dan NDVI) menjadi Tegakan Pohon dan Uji Akurasi Indeks Vegetasi

Untuk mendapatkan estimasi jumlah tegakan pohon, rekonstruksi citra dilakukan pada model FCD dan NDVI dengan mengonversi nilai DN kerapatan menjadi jumlah tegakan pohon menggunakan persamaan linier hasil regresi. Hasil rekonstruksi citra FCD ditampilkan pada Gambar 5. Meskipun hasil rekonstruksi untuk model FCD dan NDVI telah diperoleh, masih terdapat margin kesalahan. Oleh karena itu, diperlukan uji akurasi untuk memastikan validitas data. Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan jumlah tegakan pohon di lapangan dengan hasil rekonstruksi dari indeks citra model FCD dan NDVI yang masing-masing terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5. Berdasarkan uji akurasi yang ditunjukkan pada Tabel 6, diperoleh nilai akurasi minimum dan maksimum yang menggambarkan hubungan antara jumlah tegakan pohon di lapangan dengan hasil rekonstruksi dari persamaan regresi linier ( $R^2$ ).



Gambar 5 Hasil Konversi DN FCD (a) dan DN NDVI (b) menjadi Jumlah Tegakan Pohon

Tabel 4 Uji Akurasi Model FCD

ID	Koordinat (UTM)		Jumlah Tegakan Pohon	Forest Canopy Density		
	X (M Timur)	Y (M Utara)		Jumlah Tegakan Pohon Citra Rekonstruksi	$y-y'$	$(y-y')^2$
H11	544360,051	9395159,424	6	6,124893	-0,125	0,016
H12	544782,758	9394507,852	6	5,3258	0,674	0,455
H13	544857,295	9394159,907	5	4,959541	0,04	0,002
H14	545804,41	9393500,63	5	5,31464	-0,315	0,099
H15	545088,45	9392570,79	5	4,963102	0,037	0,001
H16	544829,938	9392411,556	4	4,581671	-0,582	0,338
H17	544256,558	9392355,275	7	6,467939	0,532	0,283
H18	543963,429	9391886,832	6	4,8634	1,137	1,292
H19	544184,988	9391754,688	6	6,203732	-0,204	0,042
H21	544020,786	9395263,887	7	6,441563	0,558	0,312
Total			57	55,246281	1,752	2,84



**Tabel 5** Uji Akurasi Model NDVI

ID	Koordinat (UTM)		<i>Normalized Different Vegetation Index</i>			
	X (M Timur)	Y (M Utara)	Jumlah Tegakan Pohon	Jumlah Tegakan Pohon Citra Rekonstruksi	y-y'	(y-y') <sup>2</sup>
N11	545458,361	9393738,584	6	6,195748	-0,196	0,038
N12	548009,8	9395519,77	4	4,622723	0,623	0,388
N13	547763,8	9393539,77	5	6,234904	1,235	1,525
N14	546713,8	9394505,77	4	4,517114	0,517	0,267
N15	548003,8	9394517,77	5	6,010209	-1,01	1,021
N16	550637,8	9393833,77	4	5,011293	1,011	1,023
N17	546575,8	9394667,77	6	5,827234	0,173	0,03
N18	549956,667	9393946,491	4	5,042703	1,043	1,087
N19	548501,8	9394817,77	5	5,264335	0,264	0,07
N20	544261,938	9389452,729	5	5,471685	0,472	0,222
Total			48	54,197948	6,198	5,671

**Tabel 6** Hasil Uji Akurasi FCD (a) dan NDVI (b) KPHL Batu Serampok

Standar d Error	Min Error	Max Error	Min Accura cy	Max Accura cy	Standar d Error	Min Error	Max Error	Min Accura cy	Max Accura cy
0,5956 91705	9,4734 84862	11,652 78649	88,347 21315	90,526 51514	0,8419 59702	15,919 36993	19,530 0476	80,469 95244	84,080 63007

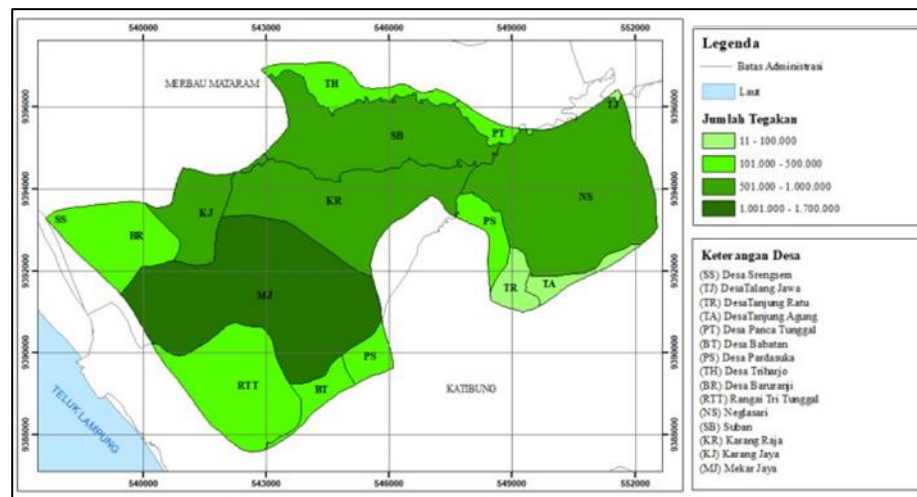
Uji akurasi pada model FCD menunjukkan akurasi minimum sebesar 88,35% dan maksimum 90,53%, sementara pada model NDVI, akurasi minimum sebesar 80,47% dan maksimum 84,08%. Dari hasil uji akurasi dapat dilihat bahwa hasil rekonstruksi tegakan pohon menggunakan model FCD (Tabel 6a) memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan model NDVI (Tabel 6b). Berdasarkan hasil sebelumnya, akurasi minimum sebesar 88,35% dan akurasi maksimum sebesar 90,53% dalam model FCD adalah model FCD yang dievaluasi mampu mengklasifikasikan data dengan benar dalam 88,53% dan 90,53% kasus dalam performa terbaiknya. Oleh sebab itu, model FCD dipilih sebagai indeks vegetasi yang digunakan dalam perhitungan jumlah tegakan pohon di lapangan pada setiap pikselnya.

### 3.5 Tegakan Pohon KPHL Batu Serampok

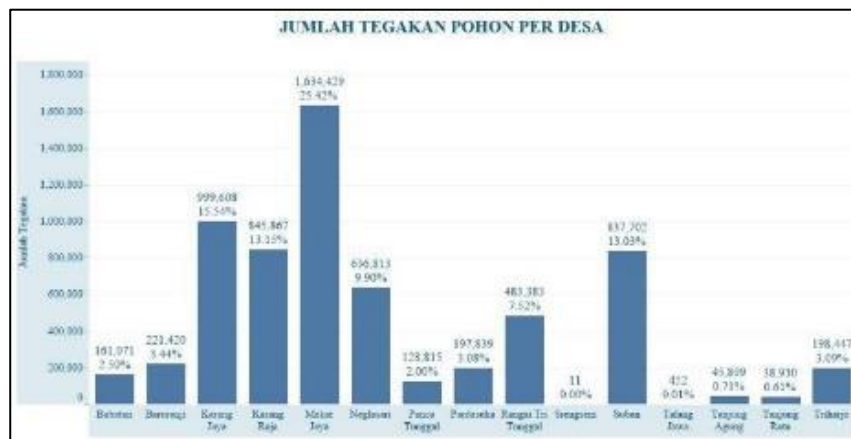
Jumlah tegakan pohon diperoleh dari hasil rekonstruksi model FCD karena model FCD memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan model NDVI. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tentang kerapatan kanopi menggunakan model FCD memiliki akurasi yang baik. Penelitian oleh (Ashaari et al., 2018) di Suaka Margasatwa Bukit Baru menghasilkan akurasi maksimum mencapai 81,27%. Penelitian (Himayah et al., 2017) di Hutan Lindung Gunung Kelud, menghasilkan nilai akurasi masing-masing sebesar 83,73% (tahun 2013) dan 81,14% (tahun 2015). Sementara itu, penelitian oleh (Godinho et al., 2016) di Alto Alentejano, Portugal akurasi yang didapatkan adalah 81,3%. Demikian pula studi oleh (Mondal et al., 2021) di Cagar Biosfer Sundarbans, India mendapatkan tingkat akurasi sebesar 84,13%. Penelitian oleh (Rosikin et al., 2023) di Kutai Kartanegara, Kalimantan timur, akurasi yang didapatkan cukup baik sebesar 76,67%. Secara keseluruhan, model FCD menunjukkan kinerja yang baik, baik secara statistik maupun visual di lapangan. Hal tersebut termasuk dalam hasil pada

penelitian ini, akurasi yang didapatkan adalah 88,53 % (akurasi minimum) dan 90,53% (akurasi maksimum). Dari hasil-hasil tersebut selaras dengan pernyataan (Simarmata et al., 2019) bahwa salah satu pendekatan terbaik di tingkat regional ketika data kerapatan atau tegakan hutan di lapangan sulit diperoleh adalah dengan teknologi penginderaan jauh, karena jika menggunakan pengukuran secara terestris dianggap kurang efektif sebab memerlukan waktu dan biaya relatif besar. Berdasarkan pernyataan sebelumnya, maka model FCD yang berbasis teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk estimasi tegakan pohon karena memiliki akurasi yang baik.

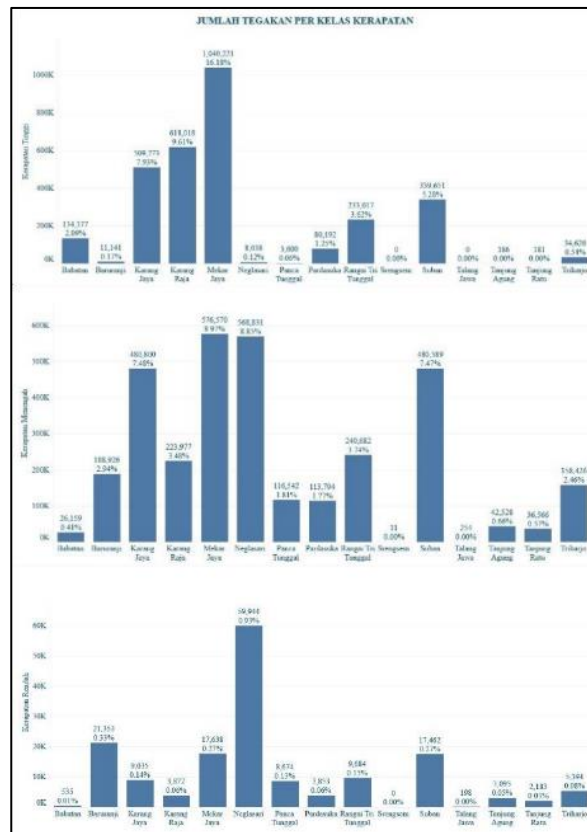
Peta persebaran jumlah tegakan pohon terdiri dari 15 desa yang tercakup di wilayah KPHL Batu Serampok yang diperoleh dari pengolahan kelas jumlah tegakan pohon hasil rekonstruksi FCD berdasarkan persamaan regresi linier. Gambar 6 merupakan hasil rekonstruksi jumlah tegakan pohon, hasil dibagi menjadi 4 kelas jumlah tegakan yaitu kelas 1 (11 - 100.000), kelas 2 (101.000 - 500.000), kelas 3 (501.000 - 1.000.000), kelas 4 (1.001.000 - 1.700.000) dan ditandai dengan degradasi warna hijau muda ke warna hijau lebih tua pada setiap kelas seiring dengan peningkatan jumlah tegakan. Wilayah KPHL Batu Serampok didominasi pada kelas jumlah tegakan pohon dengan rentang 101.000 - 500.000 (kelas 2) yang terdapat pada Desa Panca Tunggal, Desa Babatan, Desa Pardasuka, Desa Triharjo, Desa Baruranji, dan Desa Rangai Tri Tunggal. Hasil jumlah tegakan pohon menggunakan model FCD disajikan juga dalam persentase jumlah tegakan pohon untuk masing-masing desa (gambar 7). Persentase tegakan pohon tertinggi terdapat pada desa Mekarjaya Kecamatan Merbau Mataram (gambar yaitu 25,42% dengan jumlah tegakan sebesar 1.634.429 pohon dan persentase tegakan pohon terendah terdapat pada desa Srengsem. Persentase total tegakan (gambar 8) dengan kelas tinggi tertinggi berada berada pada Desa Mekar Jaya Kecamatan Merbau Mataram sebesar 16,18% dengan jumlah tegakan 1.040.221 pohon.



Gambar 6 Persebaran Jumlah Tegakan Pohon KPHL Batu Serampok



Gambar 7 Diagram Hasil Persebaran Tegakan Pohon per Desa di Wilayah KPHL Batu Serampok



Gambar 8 Diagram Jumlah Tegakan Pohon per Kelas Kerapatan di Wilayah KPHL Batu Serampok

#### IV. KESIMPULAN

Tingkat kerapatan hutan didapatkan dari model modifikasi FCD dan NDVI menggunakan citra satelit SPOT-6. Pada model modifikasi FCD dominasi kelas kerapatan hutan berada pada nilai 34,29 – 51,43 (kelas kerapatan hutan menengah) sedangkan indeks vegetasi NDVI (dominasi kelas kerapatan hutan berada pada nilai 0,47 – 0,79 yaitu pada kelas kerapatan hutan tinggi. Pada pengujian korelasi dan pengujian akurasi *Standard Error* (SE), terdapat 20 titik sampel untuk masing-masing model yang tersebar merata di seluruh wilayah KPHL Batu Serampok.

Analisis korelasi antara jumlah tegakan pohon dengan indeks FCD menunjukkan kategori korelasi tinggi dengan nilai 0,85, sedangkan korelasi indeks NDVI berada pada kategori sedang dengan nilai 0,78. Pemilihan indeks vegetasi terbaik untuk memperkirakan jumlah tegakan pohon yang paling mendekati data aktual dilakukan dengan membandingkan hasil rekonstruksi indeks FCD dan NDVI. Karena hasil pengolahan indeks vegetasi, baik FCD maupun NDVI, hanya berupa nilai kerapatan, rekonstruksi citra digunakan untuk mengubah nilai indeks vegetasi tersebut menjadi estimasi jumlah tegakan pohon. Nilai regresi linier ( $R^2$ ) dari FCD rekonstruksi adalah 0,74, sementara NDVI rekonstruksi memiliki nilai regresi 0,62.

Uji akurasi menunjukkan bahwa FCD rekonstruksi memiliki akurasi maksimum yang lebih baik (90,52%) dibandingkan dengan NDVI rekonstruksi yang hanya mencapai 84,08%. Oleh karena itu, model FCD berbasis penginderaan jauh dipilih untuk estimasi tegakan pohon. Persamaan regresi yang dihasilkan dari model FCD adalah  $y = 0,3299x - 11,115$ , yang digunakan untuk mengonversi nilai DN FCD pada citra menjadi estimasi jumlah tegakan pohon per piksel. Hasil rekonstruksi dibagi ke dalam empat kelas jumlah tegakan, dengan kelas 2 (101.000 - 500.000 tegakan) sebagai yang dominan di KPHL Batu Serampok, mencapai 50,61% dari total jumlah tegakan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KPHL Batu Serampok yang telah membantu dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan dana hibah penelitian (039/E5/PG.02.00.PL/2024) melalui “Hibah BIMA Kemendikbudristek 2024”.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashaari, F., Kamal, M., & Dirgahayu, D. (2018). Comparison of Model Accuracy in Tree Canopy Density Estimation Using Single Band, Vegetation Indices and Forest Canopy Density (Fcd) Based on Landsat-8 Imagery (Case Study: Peat Swamp Forest in Riau Province). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 15(1), 81. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2018.v15.a2845>
- Danoedoro, P., Widayani, P., Hidayati, I. N., Arjasakusuma, S., Gupita, D. D., & Salsabila, H. N. (2023). Vegetation structural composition mapping of a complex landscape using forest cover density transformation and random decision forest classifier: a comparison. *Geocarto International*, 38(1). <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2220289>
- Fauzi, A. I., Harto, A. B., Hakim, D. M., & Perdana, R. S. (2019). Analisis Degradasi Penutup Hutan Di Perkotaan Menggunakan Model Forest Canopy Density Studi Kasus : Kota Bandar Lampung. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 3(2), 107. <https://doi.org/10.31315/jmel.v3i2.3057>
- Godinho, S., Gil, A., Guiomar, N., Neves, N., & Pinto-Correia, T. (2016). A remote sensing-based approach to estimating montado canopy density using the FCD model: a contribution to identifying HNV farmlands in southern Portugal. *Agroforestry Systems*, 90(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9769-3>
- Himayah, S., Hartono, & Danoedoro, P. (2017). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Multitemporal dan Model Forest Canopy Density (FCD). *Jurnal Geologi, Universitas Gajah Mada*, 31(1), 65–72.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3).
- Jaelani, L. M. (2013). Kalibrasi Radiometrik: Mengubah Digital Number (DN) ke Radiance dan/atau Reflectance. *Geomatika*.
- Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Geocarto International*, 2(1).
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Loi, D. T., Chou, T.-Y., & Fang, Y.-M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8(8), 539–542. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.8.1012>
- Lyon, J. G., Yuan, D., Lunetta, R. S., & Elvidge, C. D. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64(2), 143–150.
- Mancino, G., Nolè, A., Ripullone, F., & Ferrara, A. (2014). Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: Assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *IForest*, 7(2), 75–84. <https://doi.org/10.3832/ifor0909-007>
- Mega Nurzihan, Y., Rinzani, A., Kamaluddin, M. R., Ridwana, R., & Somantri, L. (2023). Analisis Indeks Kerapatan Vegetasi di Desa Cihanjuang Rahayu Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A dengan Metode MSARVI. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 11(3), 223–233. <https://doi.org/10.23887/jjpg.v11i3.66790>
- Mitchard, E. T. (2018). The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559(7715).
- Mondal, I., Thakur, S., Juliev, M., & Kumar De, T. (2021). Comparative analysis of forest canopy mapping methods for the Sundarban biosphere reserve, West Bengal, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10), 15157–15182. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01291-6>
- Rafsenja, U., Muh, L., Jaya, G., & Rahim, S. (2020). Analisis Perbandingan Citra Landsat 8 dan Citra Sentinel 2-A untuk Mengidentifikasi Sebaran Mangrove. *Jurnal Geografi Aplikasi Dan Teknologi*, 4(1).
- Rikimaru, A. (1999). The Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. FCD Mapper User's Guide. *International Tropical Timber Organization and Japan Overseas Forestry Consultants Association*.
- Rikimaru, A., Roy, P. S., & Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43(1), 39–47.

- Rosikin, R., Prasetyo, L. B., & Hermawan, R. (2023). Assessment of the success of canopy cover revegetation of former coal mine lands with Forest Canopy Density (FCD) Model in Kutai Kartanegara, East Kalimantan. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 13(4).
- Sader, S. A., Bertrand, M., & Wilson, E. H. (2003). Satellite change detection of forest harvest patterns on an industrial forest landscape. *Forest Science*, 49(3), 341–353. <https://doi.org/10.1093/forests/49.3.341>
- Sediyo, A., Nugraha, A., Putu, I., & Citra, A. (2020). Modifikasi Model Forest Canopy Density (Fcd) Pada Citra Landsat 8 Multitemporal Untuk Monitoring (Modification of Forest Canopy Density Model on Multitemporal Landsat 8 Imagery for Monitoring of Vegetation Cover Changes in Sukasada-Bali). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2). <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2020.v17.a3380>
- Simarmata, N., Elyza, F., & Vatiady, R. (2019). Kajian Citra Satelit Spot-7 Untuk Estimasi Standing Carbon Stock Hutan Mangrove Dalam Upaya Mitigasi Perubahan Iklim (Climate Changes) Di Lampung Selatan (the Study of Spot-7 Satellite for Standing Carbon Stock Estimation of Mangrove for Climate Change Mi. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(1), 1–8. <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2019.v16.a3050>
- Ullah, I., Saleem, A., Ansari, L., Ali, N., Ahmad, N., Dar, N. M., & Din, N. U. (2020). Growth and survival of multipurpose species; assessing billion tree afforestation project (BTAP), the bonn challenge initiative. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(2), 2057–2072. [https://doi.org/10.15666/aer/1802\\_20572072](https://doi.org/10.15666/aer/1802_20572072)
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385–396. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2)