



Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA)

Homepage: sinta.eng.unila.ac.id



Monitoring Spasio-temporal Penutup Hutan di Kota Bandar Lampung menggunakan model *Forest Canopy Density (FCD)*

Armijon, Anggun Tridawati, Tika Christy N, Erlan Sumanjaya, Muhammad Aghnaka Wafi

^a Teknik Geodesi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima 11/11/2024
Direvisi 13/01/2025
Dipublish 22/05/2025

Kata kunci:
Forest canopy density
AVI
BI

ABSTRAK

Hutan sangat berkontribusi terhadap pembangunan wilayah yang ada di Asia Tenggara, salah satunya adalah Indonesia. Permasalahan saat ini adalah sejak tahun 1990, diperkirakan ada sekitar 420 juta hektar hutan telah hilang melalui konversi ke penggunaan lahan lain. Sehingga informasi terkait penutup hutan sangatlah diperlukan. Penelitian ini bertujuan monitoring spasio-temporal penutup hutan di Bandar Lampung menggunakan model forest canopy density (FCD) dan citra Landsat tahun 2013 dan 2023. Metodologi dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: pengumpulan data, pra-pengolahan, Transformasi indeks vegetasi: AVI, BI, SI, dan SWA/TI, dan Perhitungan FCD. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya penurunan luas penutup hutan seluas 15,45 Ha di Bandar Lampung. Hal ini disebabkan oleh adanya deforestasi.

1. Pendahuluan

Hutan adalah daerah dengan tutupan pohon yang luas di mana vegetasi pohon menjadi mayoritas, menyediakan habitat bagi berbagai spesies hewan dan tumbuhan, serta memainkan peran penting dalam siklus air dan penyimpanan karbon (Chazdon, 2008; Seymour et al., 2004). Hutan mempunyai arti penting dalam ekologi global, khususnya dalam hal konservasi keanekaragaman hayati dan keseimbangan karbon (Estoque et al., 2022; Grassi et al., 2017; Harris et al., 2021; Oldekop et al., 2020; Sudmeier-Rieux et al., 2021), mengatur pertukaran energi, karbon, uap air antara ekosistem darat dan atmosfer (Seidel et al., 2011). Di sisi lain, hutan juga memiliki beberapa manfaat diantaranya menyediakan berbagai jasa ekosistem yang

penting bagi perekonomian dan kesejahteraan manusia, seperti produk kayu dan non-kayu, penyerapan karbon, perlindungan daerah aliran sungai, keanekaragaman habitat dan hiburan (Alamgir et al., 2015; Brockerhoff et al., 2008).

Menurut Beatriz Gobbi (2020), hutan menyelimuti sekitar 25% daratan yang ada di dunia dengan persebaran yang tidak merata di seluruh Negara (Gobbi et al., 2022). Total luas hutan dunia adalah 4,06 miliar Hektar dimana lebih dari separuh hutan dunia hanya ditemukan di lima negara yaitu Brasil, Kanada, Cina, Rusia dan Amerika Serikat. Asia Tenggara memiliki sekitar 15% hutan tropis dunia (Sodhi et al., 2010) dan empat *hotspot* keanekaragaman hayati (Stibig et al., 2014). Hutan tersebut sangat berkontribusi dalam

¹ Penulis korespondensi.

E-mail: anggun.tridawati@eng.unila.ac.id

pembangunan wilayah yang ada di Asia Tenggara (Keenan et al., 2015; Stibig et al., 2014). Permasalahan saat ini adalah sejak tahun 1990, diperkirakan ada sekitar 420 juta hektar hutan telah hilang melalui konversi ke penggunaan lahan lain, meskipun laju deforestasi telah menurun selama tiga dekade terakhir. Hilangnya hutan secara cepat berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Beberapa penyebab luas hutan semakin terancam diantaranya adalah penebangan liar, kebakaran, dan fragmentasi (Bonan, 2008; Tariq et al., 2023; Wang et al., 2022). Hilangnya hutan di wilayah tropis lembab dan kering diyakini meningkatkan kejadian kekeringan dan banjir (Nicholson et al., 1998) dan juga berkontribusi terhadap perubahan iklim (de Sherbinin et al., 2002).

Negara yang ditumbuhi hutan sudah selayaknya menahan laju kepunahan hutan, salah satunya adalah Indonesia. Luasan hutan di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 915.277 kilometer persegi pada tahun 2021 (Pro et al., 2023). Hutan Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Keanekaragaman hayati yang tinggi tersebut dapat memberikan manfaat serbaguna dan mempunyai manfaat yang vital dan strategis, sebagai modal dasar pembangunan nasional serta merupakan paru-paru dunia yang mutlak dibutuhkan baik pada masa kini maupun masa yang akan datang (Triyono, 2013). Dalam dua dekade terakhir, Indonesia telah kehilangan hampir 10 juta hektar hutan primer, 115.459 hektar tutupan hutan, total penurunan sebesar 75% dibandingkan tahun 2019, dan merupakan angka terendah sejak pencatatan dimulai pada tahun 1990 (Pro et al., 2023). Berkurangnya hutan di wilayah tropis diyakini meningkatkan kekeringan, banjir (Nicholson et al., 1998) dan juga berkontribusi terhadap perubahan iklim (de Sherbinin et al., 2002). Oleh karena itu, semakin besarnya perubahan terhadap hutan membuat, pemahaman peneliti tentang peran hutan terhadap iklim menjadi semakin mendesak (Sanderson et al., 2017).

Pengelolaan hutan dapat dilakukan melalui pemantauan penginderaan jauh (Grainger, 1993). Teknologi penginderaan jauh sangat berkontribusi pada pemetaan hutan tropis skala besar, menghasilkan berbagai produk tutupan lahan, termasuk hutan, dalam beberapa tahun terakhir (Gong et al., 2019; Karra et al., 2021; Zanaga et al., 2022). Untuk mempelajari kondisi hutan yang luas dengan perkembangan yang dinamis diperlukan metode pemantauan hutan yang efisien dan efektif. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi produk pemetaan hutan, dengan fokus pada dua aspek utama: (1) analisis konsistensi produk tutupan

lahan, termasuk hutan sebagai salah satu kategori tutupan lahan (Ding et al., 2022; Gao et al., 2020; Kang et al., 2019; Kang et al., 2020); dan (2) analisis konsistensi yang secara khusus menargetkan hutan, dengan menggunakan data tutupan lahan untuk mengekstrak dan menganalisis area hutan (Arjasakusuma et al., 2018; Xing et al., 2021).

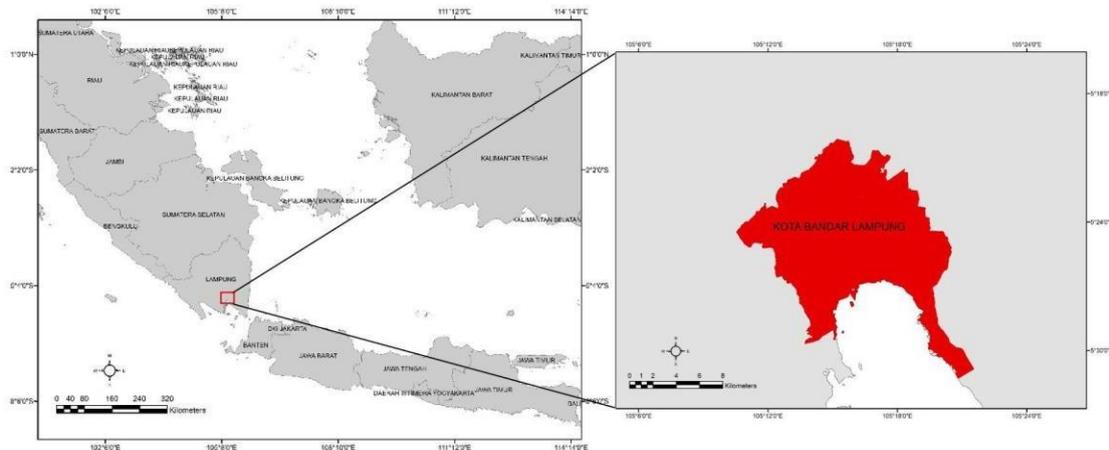
Beberapa penelitian terdahulu juga umumnya menggunakan algoritma Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) dan Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI) yang dilakukan oleh (Purevdorj et al., 1998), (Shimada et al., 2002), (Boehm et al., 2002). Permasalahannya adalah penggunaan indeks vegetasi tersebut untuk monitoring kerapatan hutan belum memberikan hasil yang maksimal (Rikimaru, 1996).

Salah satu metode dalam penginderaan jauh untuk melakukan monitoring dan manajemen keberlanjutan ialah Forest Canopy Density (FCD) (Abdollahnejad et al., 2017; Akike & Samanta, 2016; Sukarna, 2008). 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; Rikimaru & Miyatake, 2009). Pada kawasan hutan yang memiliki pohon-pohon yang tinggi dan rapat, akan menyebabkan nilai AVI dan SI yang tinggi, sebaliknya akan terjadi nilai yang rendah untuk BI dan TI. Demikian juga pada kawasan hutan yang sudah terbuka dimana kondisi pohon-pohonnya yang relatif jarang akan menyebabkan meningkatnya nilai BI dan TI serta menurunnya nilai AVI dan SI (Rikimaru dan Miyatake, 1996), (Roy et al., 1997). Sehingga penelitian ini bertujuan untuk monitoring hutan dengan memanfaatkan algoritma FCD.

2. Metode

2.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian ini adalah Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung, Indonesia terletak di antara 5°20'-5°30' Lintang Selatan dan 105°28'-105°37' Bujur Timur dapat dilihat pada Gambar 1. Kota Bandar Lampung memiliki luas wilayah 197,22 km² yang terdiri dari 20 kecamatan dan 126 kelurahan (17 kelurahan daerah pantai dan 109 kelurahan bukan daerah pantai) dan juga memiliki kepadatan penduduk sekitar 5.913 jiwa/km².



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Metode

Secara umum, metodologi dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: 1) pengumpulan data 2) pra-pengolahan, 2) Transformasi indeks vegetasi: AVI, BI, SI, dan SWA/TI, 3) Perhitungan FCD. Adapun diagram alir dapat dilihat pada Gambar 2.

2.2.1 Prapengolahan

Prapengolahan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi koreksi geometrik dan radiometrik. Koreksi radiometrik yang dilakukan pada penelitian ini melalui tahapan yakni mengubah nilai DN menjadi radian (*at sensor radiance*) kemudian mengubah nilai radian menjadi reflektan (*at sensor reflectance*) dengan menggunakan metode MODTRAN4 yang sudah tersedia pada perangkat lunak ENVI dengan nama FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*). Selanjutnya, Citra Landsat 8 OLI yang di dapat dari USGS memiliki format data level LIT (*Level on terrain corrected*), di mana dalam level ini hanya perlu dilakukannya penentuan sistem proyeksi koordinat pada citra Landsat 8 OLI dan juga perlu dilakukan kalibrasi radiometrik citra. Akan tetapi pada penelitian ini harus dilakukan validasi ketelitian dengan menggunakan titik *Independent Control Point* (ICP) yang dilakukan secara merata di seluruh area studi. Pada penelitian ini proses ICP dilakukan dengan *Image to Image Rectification* pada perangkat lunak ENVI, di mana citra satelit Bing dijadikan sebagai citra acuan (referensi). Pada penelitian ini, RMSe yang diperoleh adalah $0.504875 < 1$. Artinya citra sudah terkoreksi secara geometris dan dapat digunakan pada tahap selanjutnya.

2.1.1 Transformasi Indeks Vegetasi

Perhitungan forest canopy density dapat dihitung dari perhitungan indeks vegetasi yang menyusunnya diantaranya Advanced Vegetation Index (AVI), Bare

Soil Index (BI), Shadow Index (SI), dan Thermal Index (TI) (Rikimaru, 1999; Rikimaru et al., 2002; Rikimaru & Miyatake, 2009). Selanjutnya, indeks vegetasi AVI dan BSI digunakan untuk menghitung vegetation density, sedangkan SI dan TI digunakan untuk menghitung Scaled Shadow Index (SSI). Adapun persamaan indeks vegetasi dapat dilihat pada persamaan berikut:

1. Advanced Vegetation Index (AVI)

$$AVI = ((B5 + 1) \times (65536 - B4) \times (B54))^{1/3}$$

dimana: B5 = Band NIR, B4 = Band Red

2. Bare Soil Index (BI)

$$BI = \frac{(B6 + B4) - (B5 + B2)}{(B6 + B4) + (B5 + B2)} \times 100 + 100$$

dimana: B6 = Band SWIR 1, B5 = Band NIR, B4 = Band Red, B2 = Band Blue ($0 < BI < 200$)

3. Shadow Index (SI)

$$SI = ((65536 - B2) \times (65536 - B3) \times (65536 - B4))^{1/3}$$

dimana: B5 = Band NIR, B4 = Band Red

4. Termal Index (TI)

$$TI = \frac{K2}{\ln \ln \left(\frac{K1}{L\lambda} + 1 \right)}$$

dimana: B5 = Band NIR, B4 = Band Red

5. Vegetation Density (VD) dan

$$VD = \frac{(B1 - min) \times (max' - min')}{- min}$$

dimana: B5 = Band NIR, B4 = Band Red

6. Scaled Shadow Index (SSI)

$$SSI = \frac{(B1 - min) \times (max' - min')}{- min}$$

dimana: B5 = Band NIR, B4 = Band Red

Pengolahan ini menerapkan Principal Component Analysis (PCA) antara AVI dan BI. Berdasarkan analisis PCA ini kemudian ditentukan titik 0% dan titik

100% untuk menghasilkan citra baru yang disebut dengan VD. Citra hasil PCA ini kemudian dinormalisasikan untuk menghasilkan citra Vegetation Density

2.1.2 Perhitungan *Forest Canopy Density*

Forest canopy density merupakan salah satu metode dalam menghitung kerapatan vegetasi dengan menunjukkan kerapatan kanopi pohon yang terdiri dari berbagai macam unsur yang telah di cari menggunakan rumus sebelumnya yaitu menggunakan hasil pengolahan VD dan SSI, yang dimana rumus FCD dapat dilihat pada rumus

$$FCD = (SVD \times SSI + 1)^{\frac{1}{2}} - 1$$

Dengan ketentuan berupa VD merupakan perpaduan antara AVI dan BI dengan cara principal component analysis sedangkan SSI diperoleh berdasarkan SI yang diproses terlebih dahulu menjadi Advance Shadow Index dan di intregasikan dengan TI

3.3. Hasil dan Pembahasan

FCD merupakan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung kerapatan tutupan vegetasi dengan cara menggunakan dan mengintegrasikan 4 indeks yang berkaitan dengan indeks tutupan vegetasi hutan. Data FCD menunjukkan tingkat intensitas dari perawatan dan/atau rehabilitasi yang mungkin diperlukan bagi kawasan hutan [4]. Pada penelitian ini, FCD dihasilkan dari pemanfaatan citra Landsat 8 OLI yang mencakup area di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

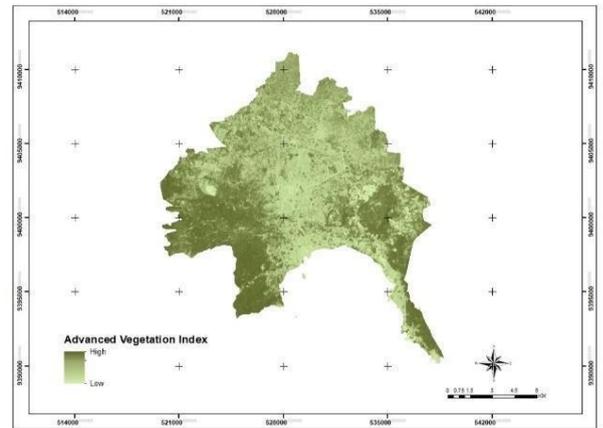
Hasil FCD mempunyai hubungan erat antara kondisi hutan dan indeks yang berhubungan dengan tutupan vegetasi hutan yaitu indeks vegetasi atau Advanced Vegetation Index (AVI), indeks vegetasi yang peka terhadap tanah atau Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), indeks kepekaan bayangan terhadap suhu vegetasi atau Shady Vegetation Index (SVI) [2]. Konsep hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 3 dan tabel 2.6 berikut [4].

3. Hasil dan Pembahasan

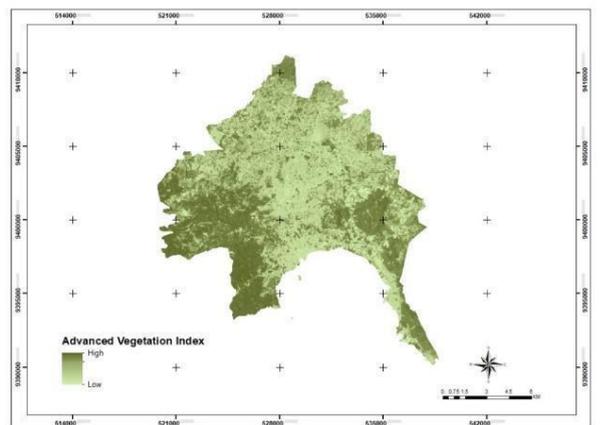
3.1 Hasil Transformasi Citra

a. *Advanced Vegetation Index (AVI)*

Berdasarkan hasil persamaan rumus AVI, diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 2. Hasil AVI tahun 2013

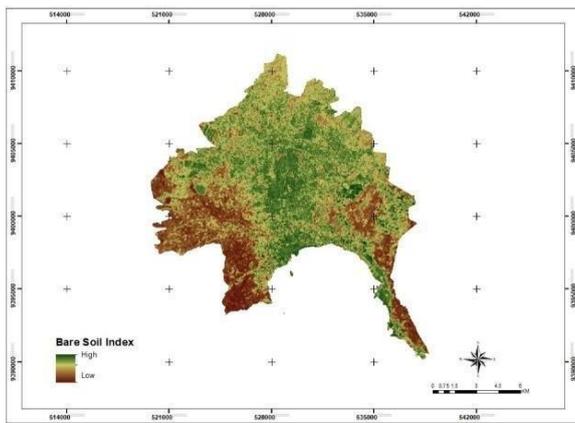


Gambar 3. Hasil AVI tahun 2023

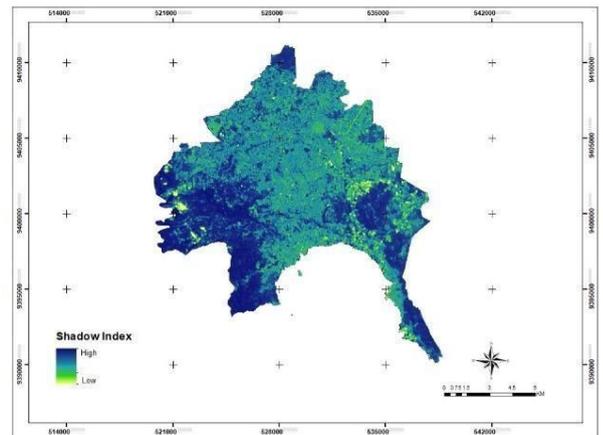
Nilai AVI berbanding terbalik dengan nilai BI. Semakin tinggi nilai AVI maka menandakan daerah tersebut merupakan objek vegetasi lebat. Berdasarkan rumus (1) diperoleh hasil AVI seperti pada Gambar 4. Nilai AVI yang besar (>70%) membuktikan bahwa kawasan tersebut merupakan obyek tumbuh-tumbuhan. Semakin rendah AVI Nilai tersebut menunjukkan bahwa kawasan tersebut bukan merupakan kawasan vegetasi/lahan terbuka. Pada daerah yang tertutup awan, nilai AVI disebut dengan 0 atau NaN

b. *Bare Soil Index (BI)*

Berdasarkan rumus (2) diperoleh hasil BI seperti terlihat pada Gambar 5. Nilai BI yang tinggi pada wilayah penelitian membuktikan bahwa daerah penelitian didominasi oleh lahan terbuka/tidak ada vegetasi yang diberi tanda warna merah.

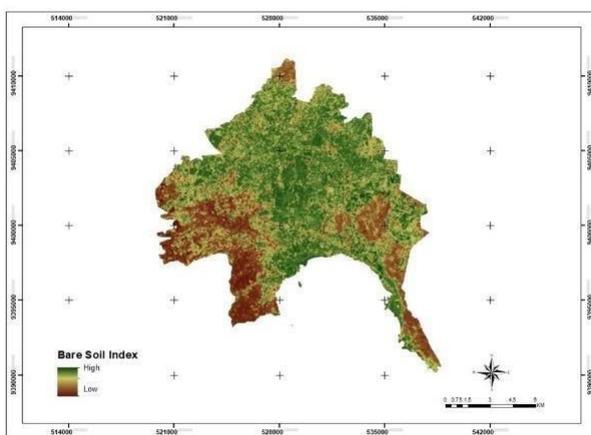


Gambar 4. Hasil BI tahun 2013



Gambar 7. Hasil SI tahun 2023

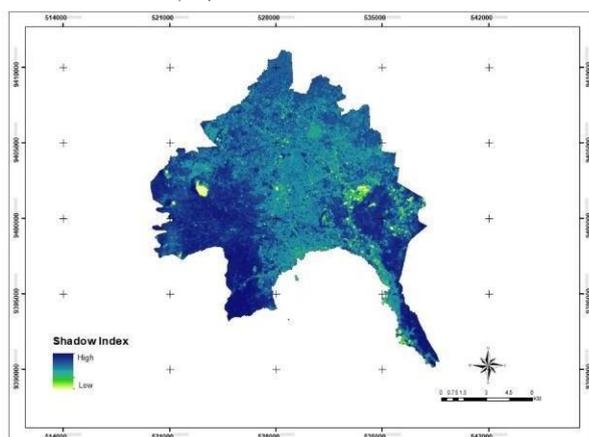
Berdasarkan rumus (3) diperoleh hasil SI seperti pada Gambar 6. Nilai SI yang tinggi pada penelitian kawasan tersebut membuktikan bahwa kawasan tersebut memperlihatkan objek vegetasi dan bercirikan corak warna gelap. Semakin rendah Nilai bayangan akan menunjukkan bahwa objek tersebut berupa padang rumput atau tanah terbuka. Nilai SI yang rendah ditandai dengan rona yang agak cerah. Pada daerah yang berawan, SI akan bernilai 0.



Gambar 5. Hasil BI tahun 2023

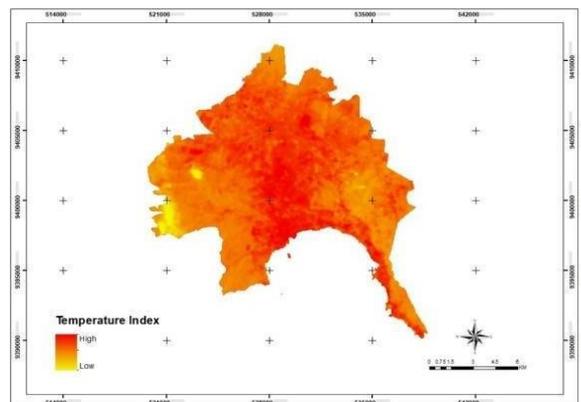
Nilai BI yang rendah menunjukkan bahwa kawasan tersebut merupakan objek tutupan vegetasi yang ditandai dengan warna hijau. Nilai BI yang rendah menunjukkan bahwa nilai FCD tinggi. Untuk memvalidasi hasil kami membandingkannya dengan satelit google earth pencitraan pada tahun yang sama.

c. *Shadow Index (SI)*

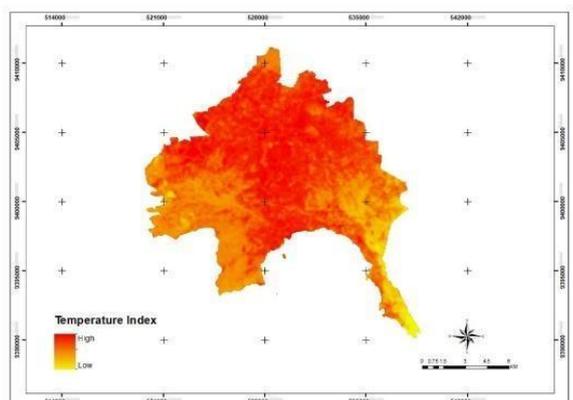


Gambar 6. Hasil SI tahun 2013

a. *Termal Index (TI)*



Gambar 8. Hasil TI tahun 2013



Gambar 9. Hasil TI tahun 2023

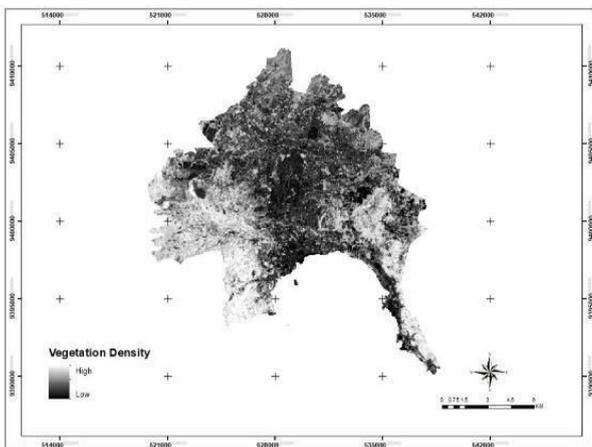
Berdasarkan rumus (4) diperoleh hasil TI seperti terlihat pada Gambar 7. Suhu tinggi terdapat pada benda tanah yang tidak bervegetasi/tersingkap dan ditandai dengan warna merah. Semakin tinggi nilai suhu membuktikan bahwa lokasi tersebut merupakan objek vegetasi/lahan terbuka. Suhu rendah terdapat pada objek vegetasi yang ditandai dengan warna merah muda. Semakin rendah suhunya, semakin tinggi nilai FCDnya. Semakin rendah suhu maka warnanya semakin gelap dan membuktikan bahwa titik tersebut merupakan objek tumbuh-tumbuhan. Di daerah tertutup awan tidak mempunyai nilai suhu karena pada saat terjadi cloud masking proses nilai cloud diubah menjadi 0.

3.2 Hasil Model Forest Canopy Density (FCD)

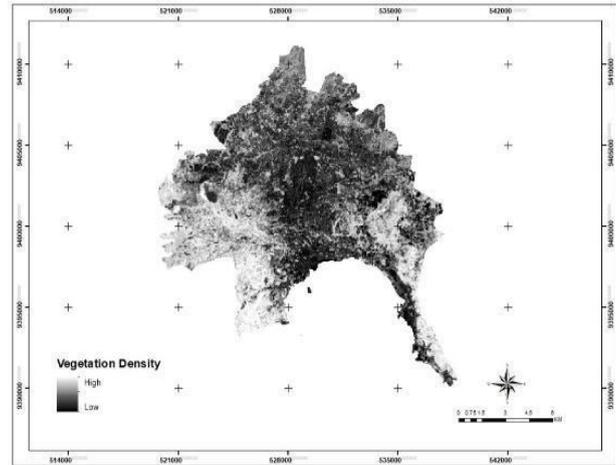
Nilai FCD diperoleh setelah mendapatkan nilai VD dan SSI pada persamaan rumus FCD dan diperoleh hasil seperti (Gambar 8).

1. Hasil Vegetation Density (VD)

Hasil dari proses Principal Component Analisis Indeks AVI dan BI diperoleh sebaran proporsi permukaan tanah yang tertutupi oleh tutupan hutan pada kawasan hutan Kota Bandar Lampung dengan rentan nilai yang telah dilakukan proses normalisasi, yaitu 0 – 100. Untuk kawasan bernilai VD 100 menandakan nilai tutupan kanopi hutan yang menutupi permukaan tanah sangat tinggi, yang ditandai dengan (warna hijau cerah) sehingga nilai FCD tinggi. Kawasan hutan bernilai VD rendah menandakan proporsi permukaan tanah yang tertutupi tutupan kanopi hutan sangat rendah dan ditandai (warna kuning gelap) sehingga nilai FCD rendah. Peta hasil analisis mengenai informasi indeks VD di wilayah penelitian dapat dilihat pada (Gambar 8).



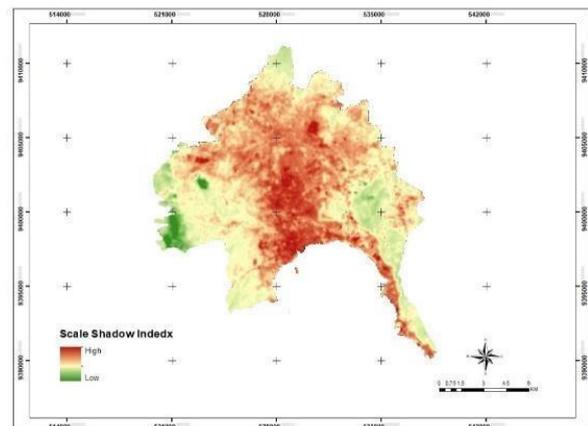
Gambar 10. Hasil VD tahun 2013



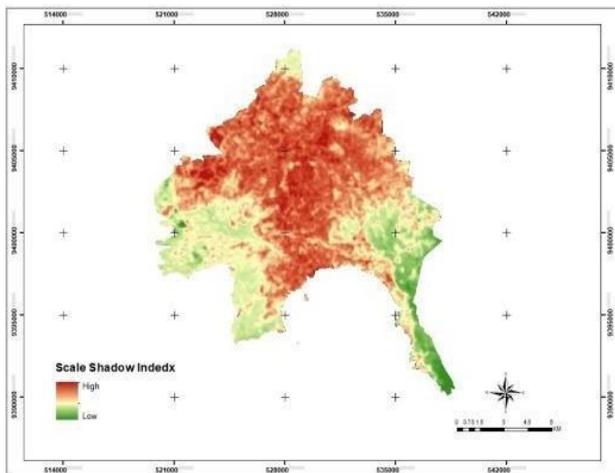
Gambar 11. Hasil VD tahun 2023

2. Hasil Scaled Shadow Indeks (SSI)

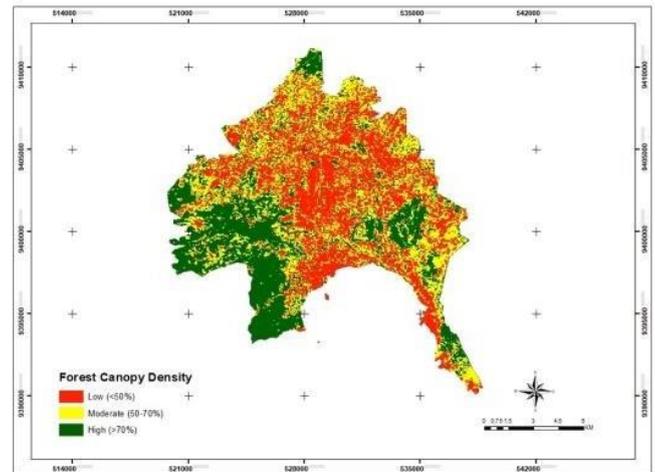
Hasil dari proses Principal Component Analisis dari indeks SI dan TI diperoleh sebaran nilai bayangan pada kawasan hutan Kota Lubuklinggau dengan rentan nilai yang telah dilakukan proses normalisasi, yaitu 0 – 100. Hasil analisis SSI, menandakan bahwa warna gelap pada wilayah tersebut sudah merupakan bayangan dari kanopi hutan bukan merupakan tanah hitam ataupun bayangan dari semak-semak maupun padan rumput. Wilayah dengan nilai SSI tinggi menandakan tingginya nilai bayangan dari tutupan kanopi hutan, yang ditandai (warna kuning gelap) sehingga nilai FCD tinggi. Kawasan hutan bernilai SSI rendah menandakan rendahnya bayangan dari tutupan kanopi hutan, yang ditandai (warna biru cerah) sehingga nilai FCD rendah. Peta hasil analisis mengenai informasi indeks SSI di wilayah penelitian dapat dilihat pada (Gambar 9).



Gambar 12. Hasil SSI tahun 2013



Gambar 13. Hasil SSI tahun 2023



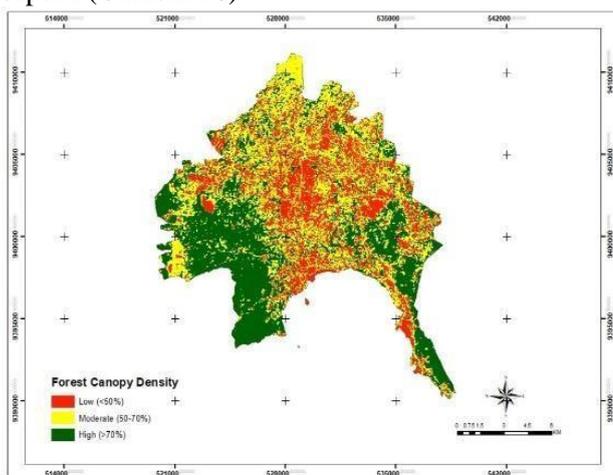
Gambar 15. Hasil FCD tahun 2023

3.3 Analisis Forest Canopy Density (FCD)

Nilai FCD diperoleh setelah mendapatkan nilai VD dan SSI pada persamaan rumus FCD dan diperoleh hasil seperti (Gambar

Hasil dari pemanfaatan model FCD yang dihasilkan dari proses perhitungan persamaan rumus FCD setelah mendapatkan nilai VD dan SSI. Dari proses perhitungan tersebut, diperoleh skor kumulatif 3 kelas klasifikasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi. sesuai dengan parameter yang telah ditentukan dalam klasifikasi tutupan lahan (Departemen Kehutanan, 2004).

Nilai FCD diperoleh setelah mendapatkan nilai VD dan SSI pada persamaan rumus FCD dan diperoleh hasil seperti (Gambar 10).



Gambar 14. Hasil FCD tahun 2013

Kerapatan rendah ditandai dengan nilai FCD yang rendah (<50%) divisualisasikan dengan rona gelap (warna merah). Semakin gelap rona maka semakin rendah nilai FCD dan semakin rendah kerapatan hutan. Kerapatan sedang ditandai dengan nilai FCD dengan rentang (50%-70%) divisualisasikan dengan rona yang tidak terlalu terang dan tidak terlalu gelap (warna kuning). Kerapatan tinggi ditandai dengan nilai FCD yang tinggi dengan rentang (>70%) dan divisualisasikan dengan rona yang cerah (warna hijau).

Hutan sebagai penyeimbang ekosistem alam memiliki peran yang sangat penting untuk dapat selalu dipertahankan dari segala ancaman. Deforestasi dapat terjadi secara alami, seperti kebakaran hutan karena hotspot di musim kemarau. Namun, sebagian besar dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Faktor yang kedua ini yang berpotensi besar dalam adanya perusakan lingkungan. Efek jangka panjangnya dapat memicu adanya degradasi hutan, menurunnya kualitas maupun fungsi dari hutan itu sendiri. Hal inilah yang disebut sebagai perusakan lingkungan yang menjadi ancaman faktual seperti yang tertera pada Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2021. Karena alam akan menerima konsekuensi dari berubahnya kondisi ideal lingkungan. Terlebih apabila lokasi deforestasi adalah hulu sungai di suatu wilayah. Maka dapat dipastikan hal ini berpotensi menimbulkan berbagai bencana hidrologis, meteorologis, maupun geomorfologis

Hasil klasifikasi FCD pada dua tahun berbeda digunakan untuk melihat hasil penambahan atau pengurangan nilai deforestasi. Sementara luas masing-masing kelas klasifikasi ditampilkan pada tabel berikut.

Table 1. Luas penutup hutan tahun 2013

Kelas Klasifikasi FCD	Luas (KM ²)	Persentase luasan
1 Rendah (<50%)	44.08	24.49
2 Sedang (50% - 70%)	67.11	37.29
3 Tinggi (>70%)	68.78	38.22

Table 2. Luas penutup hutan tahun 2023

Kelas Klasifikasi FCD	Luas (KM ²)	Persentase luasan
1 Rendah (<50%)	67.27	37.38
2 Sedang (50% - 70%)	59.37	32.99
3 Tinggi (>70%)	53.33	29.63

Perbedaan luas setiap kelas tahun 2014 dan tahun 2019 ditunjukkan pada Tabel 3-4. Klasifikasi dibuat berdasarkan kombinasi karakteristik hubungan empat indikator yang digunakan, sehingga perubahan yang terjadi pada setiap kelas mampu terlihat arah perubahannya (Himayah, et al., 2016).

Penurunan tutupan vegetasi tinggi terjadi karena perubahan menjadi lahan terbangun dan adanya pembuatan jalan baru di Kecamatan Sukasada. Faktor lain yang menyebabkan terjadi perbedaan luas ialah karena adanya proses masking awan dan bayangan sehingga dipastikan mengurangi luas area pada kelas tertentu. Tidak hanya itu, perubahan tutupan vegetasi pada tahun 2014 dan tahun 2019 secara khusus terlihat pada Tabel 3-5. Hal tersebut memperjelas perubahan tutupan vegetasi dari setiap kelas dengan jumlah luas area yang berubah. Peningkatan dan penurunan tutupan vegetasi hampir terjadi pada seluruh kelas di model FCD. Penurunan terbesar terjadi pada kelas tutupan vegetasi tinggi menjadi kelas tutupan vegetasi sedang. Kondisi tersebut terjadi karena perbedaan tingkat kerapatan vegetasi dan juga mengalami perubahan menjadi lahan pertanian seperti kebun strawberry. Perlu diperhatikan bahwa pada area tidak berubah memiliki nilai luas yang besar dan itu membuktikan bahwa perubahan yang terjadi di model FCD merupakan area yang menjadi lokasi kegiatan perekonomian warga dan area lahan terbangun. Pada area tertentu perbedaan terlihat dengan jelas sehingga dengan mudah mengetahui lokasi perubahan pada model FCD.

4. Kesimpulan

Hutan sangat berkontribusi terhadap pembangunan wilayah yang ada di Asia Tenggara, salah satunya adalah Indonesia. Permasalahan saat ini adalah sejak tahun 1990, diperkirakan ada sekitar 420 juta hektar hutan telah hilang melalui konversi ke penggunaan lahan lain. Sehingga informasi terkait penutup hutan sangatlah diperlukan. Penelitian ini bertujuan monitoring spasio-temporal penutup hutan di Bandar Lampung menggunakan model *forest canopy density (FCD)* dan citra Landsat tahun 2013 dan 2023. Metodologi dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu: pengumpulan data, pra-pengolahan, Transformasi indeks vegetasi: AVI, BI, SI, dan SWA/TI, dan Perhitungan FCD. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya penurunan luas penutup hutan seluas 15,45 Ha di Bandar Lampung. Hal ini disebabkan oleh adanya deforestasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah mendanai penelitian ini melalui program DIPA FT skema Penelitian Dasar Tahun 2024 dengan no **kontrak: 2146/UN26.15/LK.03/2024** hingga penelitian ini bisa berjalan dengan lancar.

DAFTAR rujukan

- Alamgir, M., Mukul, S. A., & Turton, S. M. (2015). Modelling spatial distribution of critically endangered Asian elephant and Hoolock gibbon in Bangladesh forest ecosystems under a changing climate. *Applied Geography*, 60, 10-19.
- Arjasakusuma, S., Pribadi, U. A., & Seta, G. A. (2018). Accuracy and Spatial Pattern Assessment of Forest Cover change Datasets in Central Kalimantan. *Indonesian Journal of Geography*, 50(2).
- Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *science*, 320(5882), 1444-1449.
- Brockerhoff, E. G., Jactel, H., Parrotta, J. A., Quine, C. P., & Sayer, J. (2008). Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 17, 925-951.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *science*, 320(5882), 1458-1460.

- de Sherbinin, A., Balk, D., Yager, K., Jaiteh, M., Pozzi, F., Giri, C., & Wannebo, A. (2002). A CIESIN thematic guide to social science applications of remote sensing. *New York: Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) of Columbia University*.
- Ding, Y., Yang, X., Wang, Z., Fu, D., Li, H., Meng, D., Zeng, X., & Zhang, J. (2022). A field-data-aided comparison of three 10 m land cover products in Southeast Asia. *Remote Sensing, 14*(19), 5053.
- Estoque, R. C., Dasgupta, R., Winkler, K., Avitabile, V., Johnson, B. A., Myint, S. W., Gao, Y., Ooba, M., Murayama, Y., & Lasco, R. D. (2022). Spatiotemporal pattern of global forest change over the past 60 years and the forest transition theory. *Environmental Research Letters, 17*(8), 084022.
- Gao, Y., Liu, L., Zhang, X., Chen, X., Mi, J., & Xie, S. (2020). Consistency analysis and accuracy assessment of three global 30-m land-cover products over the European Union using the LUCAS dataset. *Remote Sensing, 12*(21), 3479.
- Gobbi, B., Van Rompaey, A., Gasparri, N. I., & Vanacker, V. (2022). Forest degradation in the Dry Chaco: A detection based on 3D canopy reconstruction from UAV-SfM techniques. *Forest Ecology and Management, 526*, 120554.
- Gong, P., Liu, H., Zhang, M., Li, C., Wang, J., Huang, H., Clinton, N., Ji, L., Li, W., & Bai, Y. (2019). Stable classification with limited sample: Transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. *Science Bulletin, 64*(6), 370-373.
- Grainger, A. (1993). Rates of deforestation in the humid tropics: estimates and measurements. *Geographical Journal, 33-44*.
- Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature climate change, 7*(3), 220-226.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., De Bruin, S., Farina, M., Fatoyinbo, L., Hansen, M. C., Herold, M., & Houghton, R. A. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature climate change, 11*(3), 234-240.
- Kang, J., Sui, L., Yang, X., Wang, Z., Huang, C., & Wang, J. (2019). Spatial pattern consistency among different remote-sensing land cover datasets: a case study in Northern Laos. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 8*(5), 201.
- Kang, J., Wang, Z., Sui, L., Yang, X., Ma, Y., & Wang, J. (2020). Consistency analysis of remote sensing land cover products in the tropical rainforest climate region: A case study of Indonesia. *Remote Sensing, 12*(9), 1410.
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. 2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS,
- Keenan, R. J., Reams, G. A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A., & Lindquist, E. (2015). Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management, 352*, 9-20.
- Nicholson, S. E., Tucker, C. J., & Ba, M. (1998). Desertification, drought, and surface vegetation: An example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society, 79*(5), 815-830.
- Oldekop, J. A., Rasmussen, L. V., Agrawal, A., Bebbington, A. J., Meyfroidt, P., Bengston, D. N., Blackman, A., Brooks, S., Davidson-Hunt, I., & Davies, P. (2020). Forest-linked livelihoods in a globalized world. *Nature Plants, 6*(12), 1400-1407.
- Pro, G. F. W., Watcher, F., & Atlases, F. (2023). Global Forest Watch. *Update*.
- Sanderson, B. M., Xu, Y., Tebaldi, C., Wehner, M., O'Neill, B., Jahn, A., Pendergrass, A. G., Lehner, F., Strand, W. G., & Lin, L. (2017). Community climate simulations to assess avoided impacts in 1.5 and 2 C futures. *Earth System Dynamics, 8*(3), 827-847.
- Seidel, D., Leuschner, C., Müller, A., & Krause, B. (2011). Crown plasticity in mixed forests—quantifying asymmetry as a measure of

competition using terrestrial laser scanning. *Forest Ecology and Management*, 261(11), 2123-2132.

- Seymour, E., Hunter, A. B., Laursen, S. L., & DeAntoni, T. (2004). Establishing the benefits of research experiences for undergraduates in the sciences: First findings from a three-year study. *Science education*, 88(4), 493-534.
- Sodhi, N. S., Posa, M. R. C., Lee, T. M., Bickford, D., Koh, L. P., & Brook, B. W. (2010). The state and conservation of Southeast Asian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 19, 317-328.
- Stibig, H.-J., Achard, F., Carboni, S., Raši, R., & Miettinen, J. (2014). Change in tropical forest cover of Southeast Asia from 1990 to 2010. *Biogeosciences*, 11(2), 247-258.
- Sudmeier-Rieux, K., Arce-Mojica, T., Boehmer, H. J., Doswald, N., Emerton, L., Friess, D. A., Galvin, S., Hagenlocher, M., James, H., & Laban, P. (2021). Scientific evidence for ecosystem-based disaster risk reduction. *Nature Sustainability*, 4(9), 803-810.
- Tariq, A., Mumtaz, F., Majeed, M., & Zeng, X. (2023). Spatio-temporal assessment of land use land cover based on trajectories and cellular automata Markov modelling and its impact on land surface temperature of Lahore district Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 114.
- Triyono, K. (2013). Keanekaragaman hayati dalam menunjang ketahanan pangan. *Jurnal Inovasi Pertanian*, 11(1), 12-22.
- Wang, X., Zhao, Q., Jiang, P., Zheng, Y., Yuan, L., & Yuan, P. (2022). LDS-YOLO: A lightweight small object detection method for dead trees from shelter forest. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107035.
- Xing, H., Niu, J., Liu, C., Chen, B., Yang, S., Hou, D., Zhu, L., Hao, W., & Li, C. (2021). Consistency analysis and accuracy assessment of eight global forest datasets over Myanmar. *Applied Sciences*, 11(23), 11348.
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., & Fritz, S. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200.