

**DINAMIKA SEBARAN SPASIAL MANTANGAN
(*Merremia peltata*) SEBAGAI SPESIES INVASIF DI TAMAN NASIONAL
BUKIT BARISAN SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

**RUWAIDA DZAKIYYAA
2014151056**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

DINAMIKA SEBARAN SPASIAL MANTANGAN (*Merremia peltata*) SEBAGAI SPESIES INVASIF DI TAMAN NASIONAL BUKIT BARISAN SELATAN

Oleh

Ruwaida Dzakiyyaa

Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) merupakan kawasan pelestarian alam di Pulau Sumatra yang memiliki status, potensi, dan fungsi penting untuk keanekaragaman hayati khususnya flora dan fauna endemik Sumatra. Akan tetapi, gangguan dan ancaman yang terjadi di TNBBS mendukung pertumbuhan spesies invasif salah satunya mantangan (*Merremia peltata*). Pengendalian yang tepat perlu dilakukan diawali dengan mengetahui informasi sebaran spasial melalui penginderaan jauh. Perbedaan informasi sebaran spasial mantangan dapat dipengaruhi oleh penggunaan metode klasifikasi dan objek (area penelitian) dalam interpretasi citra. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui luas sebaran mantangan (*Merremia peltata*) serta dinamikanya dalam 5 tahun terakhir di TNBBS dengan metode OBIA, *random forest*, dan uji *threshold*. Hasil penelitian menunjukkan *random forest* menjadi metode yang paling akurat untuk mendeteksi sebaran mantangan dengan nilai akurasi 93,49% (*user accuracy*), 95,18% (*producer accuracy*), 95,23% (*overall accuracy*), dan 90,18% (*kappa accuracy*) pada kelas mantangan. Dinamika sebaran mantangan selama 5 tahun terakhir mencapai 7.374,89 ha (2019), 8.237,88 ha (2021), dan 8.716,84 ha (2023).

Kata kunci: mantangan, penginderaan jauh, OBIA, *random forest*, uji *threshold*

ABSTRACT

SPATIAL DISTRIBUTION DYNAMICS OF MANTANGAN (Merremia peltata) AS AN INVASIVE SPECIES IN BUKIT BARISAN SELATAN NATIONAL PARK

By

Ruwaida Dzakiyyaa

Bukit Barisan Selatan National Park (BBSNP) is nature conservation area in Sumatra that has an important function for biodiversity, notably endemic Sumatran flora and fauna. However, anthropogenic disturbances and threats that occur in BBSNP support the growth of invasive species, one of which is mantangan (Merremia peltata). Appropriate treatment needs to be done starting with understanding spatial distribution information through remote sensing. Differences in information on the spatial distribution of mantangan can be influenced by the use of classification methods and objects (research areas) in image interpretation. This study aims to determine the extent of mantangan (Merremia peltata) distribution and its dynamics in the last 5 years in BBSNP using OBIA, random forest, and threshold test methods. The results showed random forest to be the most accurate method for detecting the distribution of mantangan with accuracy values of 93.49% (user accuracy), 95.18% (producer accuracy), 95.23% (overall accuracy), and 90.18% (kappa accuracy) in the mantangan class. The dynamics of mantangan distribution over the last 5 years reached 7,374.89 ha (2019), 8,237.88 ha (2021), and 8,716.84 ha (2023).

Keywords: *mantangan, remote sensing, OBIA, random forest, threshold test*

**DINAMIKA SEBARAN SPASIAL MANTANGAN
(*Merremia peltata*) SEBAGAI SPESIES INVASIF DI TAMAN NASIONAL
BUKIT BARISAN SELATAN**

Oleh

**RUWAIDA DZAKIYYAA
2014151056**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

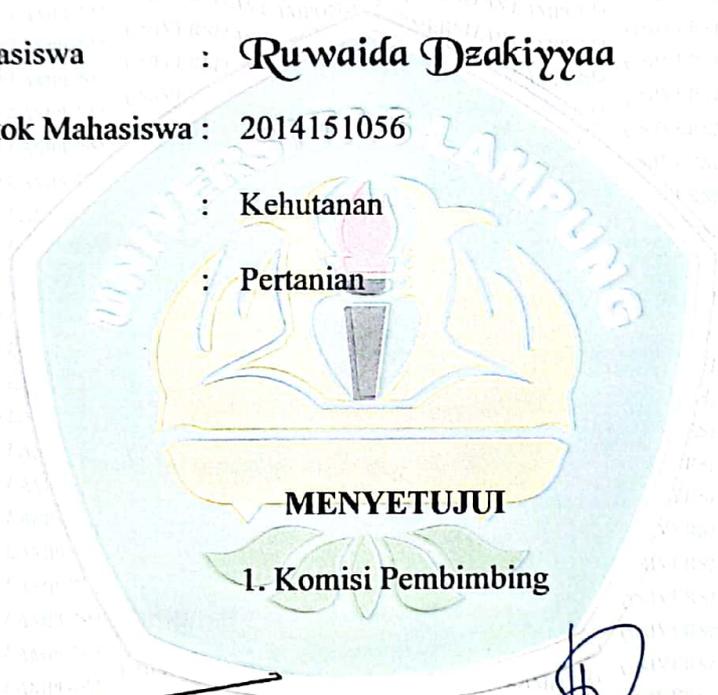
Judul : **DINAMIKA SEBARAN SPASIAL MANTANGAN (*Merremia peltata*) SEBAGAI SPESIES INVASIF DI TAMAN NASIONAL BUKIT BARISAN SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Ruwaida Dzakiyyaa**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2014151056**

Jurusan : **Kehutanan**

Fakultas : **Pertanian**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.
NIP 197907012008011009

Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.
NIP 198503102014041002

2. Ketua Jurusan Kehutanan

Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM.
NIP 197310121999032001

MENGESAIHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.



Sekretaris : Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.



Penguji : Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 September 2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ruwaida Dzakiyyaa

NPM : 2014151056

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul

“DINAMIKA SEBARAN SPASIAL MANTANGAN (*Merremia peltata*) SEBAGAI SPESIES INVASIF DI TAMAN NASIONAL BUKIT BARISAN SELATAN”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan norma dan etika akademik yang berlaku saat ini. Kemudian, saya juga tidak keberatan apabila sebagian dari skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 9 Oktober 2024
Yang menyatakan



Ruwaida Dzakiyyaa
NPM 2014151056

RIWAYAT HIDUP



Ruwaida Dzakiyyaa (penulis) atau yang akrab disapa Jakia dilahirkan pada 4 Januari 2002 di Kota Bekasi, Jawa Barat. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang merupakan anak dari pasangan Madkursi dan Nurlaela. Penulis menempuh pendidikan pertamanya di Taman Kanak-kanak Quran Nurul Hikmah tahun 2007-2008, kemudian melanjutkan sekolah dasar (SD) di SD Islam Terpadu Salsabila tahun 2008-2014, sekolah menengah pertama (SMP) di Madrasah Tsanawiyah (MTs) Annida Al Islami tahun 2014-2016 dan berpindah sekolah ke SMP Islam Raudlatul Jannah pada tahun 2016-2017, dan sekolah menengah atas (SMA) di SMA Negeri 12 Kota Bekasi tahun 2017-2020. Tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Masuk Bersama Perguruan Tinggi Negeri (SMBPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjabat sebagai ketua pelaksana kegiatan Webinar yang diadakan oleh Komunitas Paragotral tahun 2021. Tahun 2022, penulis mengikuti organisasi kemahasiswaan dan diberikan tanggung jawab sebagai Sekretaris Bidang V (Pengembangan Kewirausahaan) Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan Universitas Lampung (Himasyulva). Penulis juga pernah melakukan kegiatan luar kampus seperti menjadi panitia dalam kegiatan Cinetalk yang diadakan oleh YIARI dan Kukangku, serta mengikuti serangkaian pelatihan yang diadakan oleh WCS dalam program RFP (*Research Fellowship Program*). Penulis juga mengikuti kegiatan keprofesian seperti magang sebagai Staf Konservasi di TWA Angke Kapuk, DKI Jakarta dan Praktik Umum (PU) di KHDTK Wanagama dan KHDTK Getas. Kegiatan wajib pengabdian masyarakat juga dilakukan oleh penulis yaitu KKN selama 40 hari di

Desa Dadisari, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum pada mata kuliah Pemetaan dan Geomatika Kehutanan tahun 2023. Di akhir masa studi, penulis juga mendapat kesempatan menjadi bagian dari penerima beasiswa penelitian oleh WCS, yaitu dalam program RFP.

***Kupersembahkan karya tulis ini untuk diriku sendiri,
Ayah, Mamah, dan adikku tersayang.***

We will be fine line, we will be alright.

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Dinamika Sebaran Spasial Mantangan (*Merremia peltata*) sebagai Spesies Invasif di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan" dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari adanya bantuan, bimbingan, arahan, serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Dengan kerendahan hati, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama atas bimbingan, bantuan, arahan, dukungan, dan nasihat serta motivasi selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Trio Santoso, S.Hut., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingan, bantuan, arahan, dukungan, dan nasihat serta motivasi selama proses penelitian hingga penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si. selaku dosen penguji atas kritik dan saran serta arahan untuk kesempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan.

8. Segenap Dosen Jurusan Kehutanan atas wawasan dan ilmu pengetahuan yang diberikan selama masa perkuliahan dan Staf Administrasi Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
9. *Wildlife Conservation Society - Indonesian Program (WCS-IP)* atas beasiswa penelitian yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan dukungan fasilitas riset dan ilmiah, logistik, teknis lapangan, dan biaya.
10. Ayah penulis yang telah memberikan doa, dukungan, nasihat, serta kerja keras dan tanggung jawab sebagai seorang ayah. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah diberikan tanpa henti sehingga penulis dapat bertahan hingga saat ini.
11. Ibu penulis yang telah memberikan doa, dukungan, nasihat, menjadi pendengar keluh kesah penulis, serta tanggung jawab sebagai seorang ibu. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah diberikan tanpa henti dan menjadi contoh wanita kuat bagi penulis sehingga penulis dapat bertahan dan termotivasi untuk menyelesaikan studinya.
12. Keluarga Mbah Sutomo yang telah memberikan doa, dukungan, nasihat dan motivasi dalam proses perkuliahan.
13. Adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungan tanpa henti.
14. Mas Luhur Septiadi, S.Si., M.Sc. selaku mentor RFP atas arahan dan masukan selama proses penelitian.
15. dr. Achmad Syaiful Husein, Sp. KJ atas bantuan dan dukungan psikiatri sehingga penulis dapat bertahan hingga saat ini.
16. Rafly dan Sayudi selaku teman seperbimbingan yang saling mendukung, membantu, dan berjuang bersama dalam proses penyusunan skripsi.
17. Awok: Amel, Cikal, Sania, dan Wawok selaku sahabat penulis atas bantuan, dukungan, dan semangat yang diberikan tanpa henti kepada penulis baik selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi maupun non-akademik.
18. Ryan, Ledi, Sharfina, dan BFF atas dukungan dan semangat yang diberikan tanpa henti kepada penulis.
19. Eca atas bantuan, dukungan, semangat, nasihat, dan doa serta senantiasa menemani dan menguatkan penulis untuk terus bertahan hingga saat ini.

20. Keluarga besar angkatan 2020 (Beavers) dan keluarga besar Himasyiva Universitas Lampung yang telah kebersamai serta membantu dalam masa perkuliahan.

21. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah banyak membantu penulis selama melakukan perkuliahan dan proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan dalam skripsi ini. Akan tetapi, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan berguna bagi pembaca.

Bandar Lampung, 9 Oktober 2024
Penulis

Ruwaida Dzakiyyaa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Kondisi Umum TNBBS	6
2.1.1. Kekayaan TNBBS	6
2.1.2. Tantangan Upaya Konservasi di TNBBS	7
2.2. Spesies Invasif.....	9
2.3. Mantangan (<i>Merremia peltata</i>)	10
2.4. Penginderaan Jauh.....	14
2.5. Citra Satelit.....	15
2.6. <i>Object-Based Image Analysis</i> (OBIA)	16
2.7. <i>Random Forest</i>	16
2.8. Uji Ambang Batas (<i>Threshold</i>)	17
2.9. Indeks Vegetasi	17
2.9.1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).....	18
2.9.2. <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> (SAVI).....	18
2.9.3. <i>Normalized Difference Moisture Index</i> (NDMI)	18
2.9.4. <i>Enhanced Vegetation Index</i> (EVI).....	19
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Lokasi.....	20
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Batasan Penelitian	21
3.4. Jenis Data	21
3.4.1. Data Primer	21
3.4.2. Data Sekunder.....	22

3.5. Pengumpulan Data	22
3.6. Pengolahan Data.....	23
3.6.1. Pra Pengolahan Citra	23
3.6.2. Penggabungan dan Pemotongan Citra	24
3.6.3. Klasifikasi Citra	26
3.7. Validasi Data	29
3.8. Uji Akurasi	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Orientasi Lapangan (<i>Groundcheck</i>)	31
4.2. Kesesuaian Tempat Tumbuh Mantangan Berdasarkan Ketinggian dan Kelerengan.....	33
4.3. Klasifikasi Mantangan pada Citra Sentinel-2.....	36
4.4. Perbandingan Transformasi Indeks Vegetasi	37
4.5. Klasifikasi dengan <i>Object-Based Image Analysis</i> (OBIA)	40
4.6. Klasifikasi dengan <i>Random Forest</i>	41
4.7. Klasifikasi dengan Uji <i>Threshold</i>	42
4.8. Perbandingan Uji Akurasi	44
4.9. Dinamika Sebaran Mantangan di TNBBS	46
4.10. Strategi Pengendalian Mantangan di TNBBS	50
V. KESIMPULAN.....	52
5.1. Simpulan.....	52
5.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Informasi waktu penyiaman data visual citra Sentinel-2	21
2. <i>Error matrix</i>	29
3. Klasifikasi tutupan lahan di lokasi <i>groundcheck</i>	36
4. Deskripsi nilai indeks vegetasi.....	37
5. Hasil uji akurasi.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	5
2. Mantangan (<i>Merremia peltata</i>).....	11
3. Peta lokasi penelitian.....	20
4. Bagan alir proses pengolahan data.....	23
5. Citra komposit tahun 2019.....	25
6. Citra komposit tahun 2021.....	25
7. Citra komposit tahun 2023.....	25
8. Titik sebaran mantangan.....	31
9. Invasi mantangan pada tepi sungai di SPWC.....	32
10. Invasi mantangan di Resor Way Haru.....	33
11. Pertumbuhan mantangan yang ternaungi.....	33
12. Data ketinggian tempat tumbuh mantangan.....	34
13. Data kelerengan tempat tumbuh mantangan.....	35
14. Diagram indeks NDVI tahun 2023.....	38
15. Diagram indeks SAVI tahun 2023.....	38
16. Diagram indeks NDMI tahun 2023.....	39
17. Diagram indeks EVI tahun 2023.....	39
18. Hasil sebaran mantangan tahun 2023 dengan OBIA.....	41
19. Hasil sebaran mantangan tahun 2023 dengan <i>random forest</i>	42
20. Hasil sebaran mantangan tahun 2023 dengan 0,5×standar deviasi.....	43
21. Hasil sebaran mantangan tahun 2023 dengan 1×standar deviasi.....	43
22. Diagram dinamika luas sebaran mantangan.....	46
23. Visualisasi sebaran mantangan tahun 2019.....	47
24. Visualisasi sebaran mantangan tahun 2021.....	48

25. Visualisasi sebaran mantangan tahun 2023.....	48
26. Dinamika luas sebaran mantangan di tiap resor.....	49
27. Invasi mantangan di lokasi pembukaan hutan untuk perkebunan kopi..	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Uji akurasi metode OBIA.....	62
2. Uji akurasi metode <i>random forest</i>	62
3. Uji akurasi metode uji <i>threshold</i> $0,5 \times$ standar deviasi.....	62
4. Uji akurasi metode uji <i>threshold</i> $1 \times$ standar deviasi.....	62
5. Dokumentasi kegiatan.....	63

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) merupakan salah satu kawasan pelestarian alam dan pusat konservasi keanekaragaman hayati khususnya flora dan fauna endemik di Pulau Sumatra. Secara administratif, sebagian besar wilayah TNBBS termasuk dalam Provinsi Lampung meliputi Kabupaten Tanggamus, Pesisir Barat, dan Lampung Barat dan sebagian lainnya termasuk dalam Kabupaten Bengkulu Selatan, Provinsi Bengkulu. TNBBS terdiri dari berbagai tipe vegetasi meliputi hutan mangrove, hutan pantai, serta hutan hujan tropis yang merupakan tipe vegetasi utama yang menyusun kawasan ini. Kawasan ini merupakan habitat bagi berbagai flora dan fauna langka dan endemik serta bernilai ekonomi (Hidayat dan Munawaroh, 2019). Hal tersebut menjadikan TNBBS memiliki status, potensi, dan fungsi penting seperti sebagai pelindung hutan hujan tropis serta keanekaragaman hayati yang berada di dalamnya (Santori *et al.*, 2021).

Upaya konservasi di TNBBS tidak terlepas dari adanya gangguan dan ancaman seperti areal terbuka akibat perambahan, pembangunan jalan, maupun kebakaran hutan yang dapat mendukung persebaran spesies tumbuhan invasif. Hal tersebut menyebabkan sinar matahari lebih mudah memasuki lantai hutan yang merupakan faktor pendukung proses perkecambahan spesies tumbuhan invasif (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016a). Pengendalian yang tidak segera dilakukan dapat menyebabkan penyebarannya semakin tidak terkontrol (Lubis *et al.*, 2019).

Menurut Putra (2022), spesies invasif didefinisikan sebagai spesies yang mengganggu kehidupan spesies lainnya dengan menjadi kompetitor, predator, patogen, maupun parasit. Meningkatnya kemampuan pertumbuhan spesies invasif dapat merusak ekosistem asli seperti mengubah siklus hidrologi dan siklus nutrisi

yang menjadi tantangan bagi upaya konservasi keanekaragaman hayati di TNBBS (Pengembara *et al.*, 2014). Permasalahan spesies invasif yang terjadi di TNBBS salah satunya yaitu ekspansi mantangan (*Merremia peltata*), khususnya di bagian selatan TNBBS.

Mantangan (*Merremia peltata*) merupakan spesies yang tumbuh dengan cara mencekik bahkan membunuh sehingga berpotensi mengancam keberadaan spesies asli TNBBS. Ekspansi mantangan yang kian bertambah luas dapat mengganggu jaring makanan, menurunkan keanekaragaman hayati, mengancam populasi flora yang tumbuh di sekitarnya, menghambat pergerakan satwa liar, serta menurunkan kualitas habitat di TNBBS (Sayfulloh *et al.*, 2020). Hal ini berarti bahwa keberadaan mantangan berpotensi untuk menurunkan keanekaragaman hayati. Pertumbuhan mantangan yang cepat menjadikan spesies ini dominan pada areal terbuka akibat kerusakan tegakan dan pada daerah tepi (Yansen dan Hidayat, 2014).

Sebaran mantangan diperkirakan akan semakin meluas di TNBBS jika tidak dilakukan upaya pengendalian yang tepat. Langkah awal yang dapat dilakukan adalah mengetahui informasi sebaran spasial dengan pemantauan. Pemantauan mantangan perlu dilakukan secara *time series*, yakni berkala dari waktu ke waktu untuk mengetahui bagaimana tren dinamika sebarannya. Kegiatan pemantauan juga dapat memperoleh banyak informasi yang dibutuhkan dalam pengelolaan TNBBS (Harjadi, 2010) seperti menjadi bahan evaluasi dan mendeteksi risiko perubahan sebaran dari pertumbuhan spesies tersebut (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016a).

Pemantauan mantangan pada masa kini dapat dilakukan dengan teknologi yang semakin canggih, yaitu penginderaan jauh. Penginderaan jauh merupakan teknologi yang sangat berguna dalam upaya pemantauan vegetasi yang lebih efisien, khususnya pada suatu kawasan yang luas seperti TNBBS. Pemantauan secara langsung ke lapangan sulit untuk dilakukan pada kawasan yang luas serta memerlukan banyak waktu dan biaya (Kawamuna *et al.*, 2017). Menurut Andini *et al.* (2018), informasi terkait vegetasi semakin mudah untuk diperoleh dengan adanya penginderaan jauh, misalnya dengan menggunakan data citra satelit.

Pemantauan sebaran spasial mantangan dengan menggunakan data citra satelit telah dilakukan pada beberapa peneliti terdahulu. KLHK (2013) menyatakan invasi mantangan menjadi salah satu permasalahan utama di TNBBS dimana spesies ini menginvasi 22% luas kawasan. Penelitian Yansen dan Hidayat (2014) menunjukkan bahwa sebaran mantangan di TNBBS sangat cepat berkembang, luas sebaran spesies ini bertambah lebih dari 600 ha dalam kurun waktu 6 tahun. Luas mantangan di TNBBS pada tahun 2002 berkisar 6.393 ha dan bertambah menjadi berkisar 7.008 ha pada tahun 2008. Berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Lubis *et al.* (2019) dimana dalam kurun waktu 17 tahun luas mantangan bertambah sekitar 5.612 ha. Perbedaan informasi terkait sebaran spasial mantangan dapat dipengaruhi oleh penggunaan metode klasifikasi dan objek (area penelitian) dalam interpretasi citra, seperti pernyataan Lubis *et al.* (2019) bahwa perbedaan informasi mungkin terjadi karena perbedaan definisi dan metodologi, serta batas kawasan yang digunakan, ditambah dengan kategori kelas yang dipakai maupun periode waktu kajian yang berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai sebaran spasial mantangan dengan berbagai metode klasifikasi untuk memperoleh hasil interpretasi citra yang paling akurat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa permasalahan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Manakah metode klasifikasi citra satelit terbaik untuk memperoleh informasi mengenai tutupan lahan yang terinvansi mantangan (*Merremia peltata*) di TNBBS?
2. Bagaimana sebaran spasial mantangan (*Merremia peltata*) di TNBBS dengan interpretasi citra satelit?
3. Bagaimana dinamika sebaran spasial mantangan (*Merremia peltata*) di TNBBS dalam 5 tahun terakhir?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis data citra satelit dengan menggunakan beberapa metode klasifikasi untuk mengetahui luas sebaran mantangan (*Merremia peltata*) di TNBBS serta dinamikanya dalam 5 tahun terakhir.

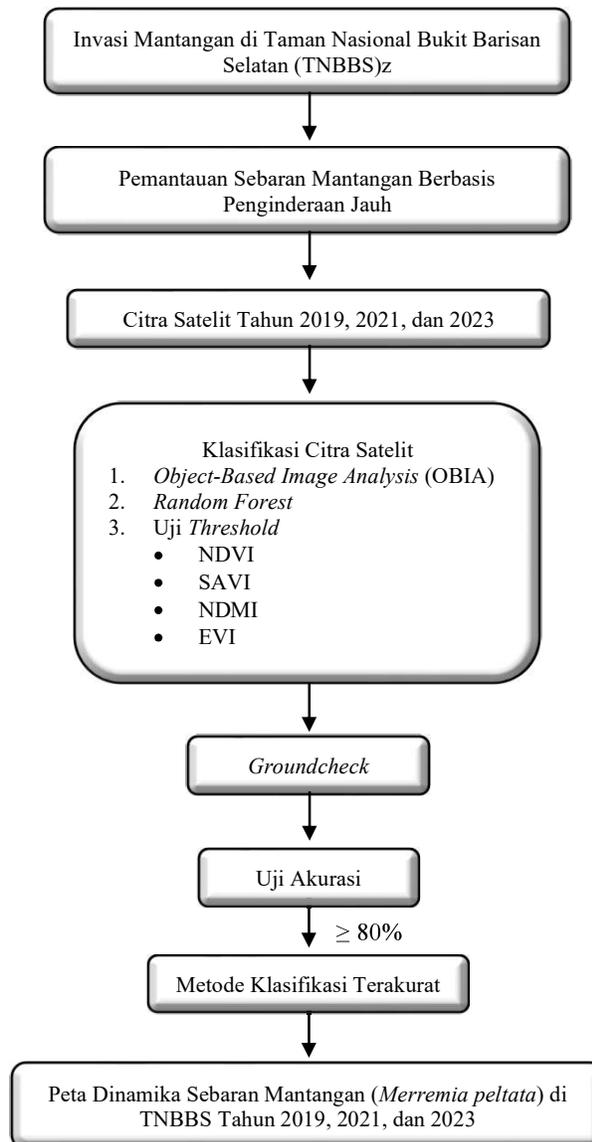
1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai dinamika sebaran spasial mantangan (*Merremia peltata*) di TNBBS selama 5 tahun terakhir yang diharapkan dapat berguna bagi pihak pengelola dalam mengevaluasi perubahan sebaran yang telah terjadi dan dapat dijadikan referensi untuk mendeteksi risiko perubahan sebaran yang signifikan di masa mendatang sehingga pertumbuhan mantangan dapat dikendalikan.

1.5. Kerangka Pemikiran

Mantangan (*Merremia peltata*) merupakan salah satu spesies invasif di TNBBS. Sebaran spesies ini diperkirakan semakin meluas dan memberikan dampak buruk bagi keanekaragaman hayati di TNBBS. Penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui bagaimana dinamika sebaran spasial spesies ini di TNBBS dalam 5 tahun terakhir, yaitu dengan menggunakan sampel data citra satelit tahun 2019, 2021, dan 2023.

Terkadang berbagai kendala pada citra satelit dapat ditemukan seperti data yang tidak *update*, adanya *stripping*, serta tertutup awan sehingga untuk memperoleh ketelitian dan akurasi data yang dapat dipertanggungjawabkan perlu dilakukan kegiatan pengecekan langsung di lapangan (*groundcheck*) terhadap hasil interpretasi citra satelit (BPKH VIII Denpasar, 2023). Berkaitan dengan hal tersebut, terdapat kerangka pemikiran pada penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi Umum TNBBS

Berdasarkan Undang-Undang nomor 5 tahun 1990, taman nasional (TN) merupakan kawasan pelestarian alam yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi. TNBBS merupakan salah satu taman nasional yang berada di bagian selatan dari wilayah Pulau Sumatra yang membentang pada Provinsi Lampung dan Provinsi Bengkulu (Piriadi *et al.*, 2021). TNBBS tersusun atas berbagai tipe topografi yang terdiri dari daratan seluas 356.800 ha dan 21.600 ha merupakan perairan yang sebagian besar terletak di Provinsi Lampung, yaitu seluas 290.800 ha (Hatfield Indonesia, 2019).

TNBBS termasuk bagian dari rangkaian pegunungan Bukit Barisan dan terdiri dari berbagai tipe vegetasi meliputi hutan mangrove, hutan pantai, serta hutan hujan tropis yang merupakan tipe vegetasi utama yang menyusun kawasan ini (Hidayat dan Munawaroh, 2019). Beragamnya ekosistem ini menyebabkan TNBBS menjadi habitat yang ideal bagi berbagai organisme (Purwanto, 2016). Karena itu, TNBBS memiliki peran yang sangat penting sebagai pelindung bagi berbagai tipe ekosistem terutama hutan hujan tropis serta sebagai habitat bagi keanekaragaman hayati mencakup berbagai flora dan fauna langka dan endemik serta bernilai ekonomi (Hidayat dan Munawaroh, 2019).

2.1.1. Kekayaan TNBBS

TNBBS menjadi rumah terakhir bagi mamalia endemik Sumatra seperti beruang madu, tapir, gajah sumatra, harimau sumatra, serta badak sumatra. TNBBS merupakan habitat bagi 118 jenis mamalia, 425 jenis burung, 51 jenis

ikan, 45 jenis reptil dan amfibi (KLHK, 2013), dan 649 jenis tumbuhan (Lubis *et al.*, 2019) meliputi 200 jenis pohon, 126 jenis anggrek, 44 jenis tumbuhan bawah, dan 15 jenis bambu (KLHK, 2013) teridentifikasi sangat tergantung pada kawasan TNBBS sebagai kawasan konservasi. Secara umum, struktur vegetasi hutan dataran rendah di TNBBS antara lain cempaka (*Michelia champaca*), keruing (*Dipterocarpus retusus*), merawan (*Hopea sangal*), rotan (*Calamus sp.*), bunga bangkai (*Rafflesia arnoldii*), damar (*Shorea javanica*), mersawa (*Anisoptera costata*), dan ramin (*Gonystylus bancanus*). Sementara di hutan mangrove umumnya tersusun dari jenis api-api (*Avicennia marina*), pidada (*Sonneratia sp.*), dan nipah (*Nypa fruticans*). Adapun di hutan pantai umumnya tersusun atas jenis-jenis seperti kayu sapi (*Casuarina equisetifolia*), pandan (*Pandanus sp.*) and bayur (*Pterospermum javanicum*). Keindahan alam yang luar biasa juga dimiliki TNBBS. Oleh karena itu, kawasan tersebut menjadi aset yang sangat penting bagi sumber daya alam maupun ekosistem di dalam dan sekitarnya bahkan secara global untuk menjaga keseimbangan dan keberlangsungan makhluk hidup (Piriadi *et al.*, 2021).

Kekayaan yang dimiliki TNBBS menyebabkan kawasan tersebut menjadi bagian dari 3 taman nasional di Pulau Sumatra yang tercantum ke dalam daftar Warisan Dunia pada tahun 2004 selain TN Gunung Leuser dan TN Kerinci Seblat (Purwanto, 2016). TNBBS juga ditetapkan sebagai balai besar taman nasional tipe B dalam Permenlhk nomor P.7 tahun 2016. Awalnya, TNBBS merupakan kawasan suaka margasatwa yang ditetapkan pada tahun 1935 dan menjadi taman nasional pada tahun 1982. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa sejak dahulu kawasan TNBBS merupakan kawasan yang vital bagi makhluk hidup di Pulau Sumatra sehingga pengelolaan kawasan yang dilakukan harus mengupayakan terwujudnya konservasi keanekaragaman hayati (Purwanto, 2016).

2.1.2. Tantangan Upaya Konservasi di TNBBS

Upaya konservasi di TNBBS tidak terlepas dari berbagai gangguan dan ancaman yang mengakibatkan berkurangnya luasan hutan. Luasan hutan yang terus berkurang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti adanya perambahan, konsesi atas sumber daya alam, konversi hutan, kebakaran hutan,

serta dominansi spesies invasif (Suyadi, 2011). Kawasan TNBBS setidaknya dikelilingi oleh 265 desa dengan mayoritas penduduk bermata pencaharian sebagai petani. Hal tersebut yang juga didukung dengan peningkatan pertumbuhan penduduk menyebabkan kawasan hutan yang tersisa menjadi rentan terhadap aktivitas ilegal. Adanya pembangunan jalan juga menyebabkan kawasan terbagi menjadi bagian yang lebih kecil sehingga habitat satwa liar turut terfragmentasi, akses ilegal manusia ke dalam kawasan menjadi lebih mudah, serta penyebaran spesies invasif yang tidak terkontrol (Lubis *et al.*, 2019).

Spesies invasif dapat berkembang secara alami baik akibat faktor ekologi maupun aktivitas antropogenik yang mendukung ekspansi dari spesies invasif semakin meluas. Beberapa jenis yang menginvasi secara masif di kawasan TNBBS terutama spesies tumbuhan misalnya seperti tulip afrika (*Spathodea campanulata*) dan mantangan (*Merremia peltata*). Invasi mantangan secara khusus terjadi pada bagian selatan kawasan TNBBS. Seluas 48.153 ha kawasan hutan dan 14.089 ha cagar alam laut di bagian selatan TNBBS merupakan kawasan Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC). TWNC yang juga dikenal dengan nama Tambling (Tampang-Belimbing) merupakan suatu kawasan konservasi yang dikelola oleh PT Adhiniaga Kreasinusa (*Artha Group*) melalui kerjasama operasional dengan pihak TNBBS. TWNC merupakan kawasan wisata konservasi yang dikelola sebagai wujud pelestarian keanekaragaman hayati beserta ekosistemnya (Bobi *et al.*, 2017). Kawasan tersebut ikonik dengan mamalia besar endemik Sumatra yaitu harimau sumatra (*Panthera tigris sumatrae*) (PT Bank Artha Graha Internasional, 2022). Adanya invasi mantangan dapat mengakibatkan penurunan luas hutan dan habitat harimau sumatera sehingga menjadi tantangan dalam upaya konservasi harimau sumatra yang merupakan spesies kunci TNBBS.

Berdasarkan penelitian Suyadi (2011), berkurangnya luasan hutan di TNBBS telah terjadi sejak tahun 1960-an dimana hal tersebut didukung dengan analisis citra satelit yang menunjukkan berkisar 46.100 ha luasan hutan telah hilang sebelum tahun 1972 akibat faktor antropogenik seperti perambahan dan konversi hutan. Dekade pertama (1972-1985) terjadi laju penurunan luas kawasan hutan akibat aktivitas manusia seluas 28 km² per tahun yang menjadi laju penurunan

tertinggi di TNBBS, pada dekade kedua (1986-1996) menurun menjadi 15 km² per tahun dan meningkat kembali pada dekade terakhir (1997-2006) menjadi 21 km² per tahun. Sejak tahun 1972 hingga 2006, rata-rata laju penurunan luas kawasan hutan di TNBBS mencapai 20 km² (0,64%) per tahun. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Hermawan *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa berkurangnya luasan hutan di TNBBS juga terjadi akibat adanya invasi dari spesies mantangan (*Merremia peltata*). Mantangan mengurangi luas hutan dengan menutupi tumbuhan lain (Master *et al.*, 2013) yaitu dengan memanjat pohon dan/atau semak hingga tertutupi oleh mantangan (KLHK, 2013) sehingga mengurangi ketersediaan sinar matahari bagi tumbuhan lain (Master *et al.*, 2013).

2.2. Spesies Invasif

Berdasarkan Permenlhk P.94/2016, spesies invasif diartikan sebagai spesies (dapat berupa spesies tumbuhan, hewan, mikroorganisme, dan organisme lain) baik asli maupun asing yang mengolonisasi suatu habitat secara masif yang dapat menimbulkan kerugian terhadap ekologi, ekonomi, dan sosial. Spesies invasif merupakan spesies yang mengganggu bahkan dapat mengancam kehidupan spesies yang lain dengan cara mendominasi dan menekan keanekaragaman hayati lainnya (Putra, 2022). Spesies invasif juga mampu menghasilkan keturunan yang umumnya bereproduksi dalam jumlah yang besar. Oleh karenanya spesies invasif memiliki kemampuan menyebar dengan jarak yang jauh dari populasi induknya dan berpotensi menyebar pada area yang luas (Syah dan Arbain, 2019). Berdasarkan hal tersebut, spesies invasif dapat mengancam keberlangsungan hidup keanekaragaman hayati serta berdampak buruk bagi ekosistem. Menurut Tjitrosoedirdjo *et al.* (2016b) menyebutkan bahwa spesies invasif juga dapat merugikan perekonomian serta berbahaya bagi manusia. Hal di atas disebabkan oleh kemampuan spesies invasif untuk terus menyebar walaupun sudah tidak lagi diintroduksi sehingga dominannya spesies tersebut menjadi berdampak negatif bagi kehidupan makhluk hidup baik flora, fauna, dan manusia beserta alam lingkungan sekitarnya (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016a).

Berdasarkan asalnya, spesies invasif dapat berupa spesies asli (lokal) maupun spesies yang berasal dari luar sebaran aslinya (asing/alien). Secara umum, spesies asing yang menjadi invasif dikenal sebagai *Invasive Alien Species* (IAS). IAS merupakan spesies yang diintroduksi di luar habitat aslinya yang terjadi secara sengaja maupun tidak yang kemudian mendominasi ekosistem alami hingga mengancam spesies asli. Sementara spesies lokal dikatakan invasif yaitu ketika telah mendominasi ekosistem karena berkurang atau hilangnya predator, kemampuannya dalam berkompetisi dengan spesies asli lainnya, ataupun suksesi ekologi secara alami dalam waktu ke waktu (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016b).

Invasi oleh suatu spesies pada suatu kawasan juga dialami di Indonesia, misalnya seperti akasia berduri (*Acacia nilotica*) di Taman Nasional Baluran (TNB). Spesies tersebut berasal dari India (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016a) yang kini telah menjadi invasif dengan menekan pertumbuhan rumput. Hal demikian mengakibatkan luasan sabana yang berperan sebagai habitat berbagai satwa liar seperti banteng, kerbau, dan rusa (Suhadi, 2009) serta merupakan ekosistem asli TNB semakin menurun (Untoro *et al.*, 2017). Hal serupa juga terjadi pada kawasan konservasi di Indonesia lainnya yaitu di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) yang diinvasi oleh mantangan yang berasal dari kawasan itu sendiri (spesies lokal). Upaya pengendalian perlu dilakukan baik spesies yang termasuk IAS yang sebaiknya dicegah sejak awal diintroduksi maupun spesies lokal perlu dilakukan pengelolaan yang berkelanjutan (Tjitrosoedirdjo *et al.*, 2016a).

2.3. Mantangan (*Merremia peltata*)

Mantangan (*Merremia peltata*) merupakan spesies tumbuhan bawah (gulma) dan tumbuhan pemanjat (liana) berkayu (Hermawan *et al.*, 2017) yang kasar dan menyebar luas. Batangnya setebal 5 cm atau lebih dan berpori. Daunnya berseling, halus, agak membulat, sedangkan daun di ujung cabang lebih kecil, berbentuk hati di pangkal (Master *et al.*, 2016), dan runcing di ujungnya. Tangkai bunga tumbuh sendiri dari setiap ketiak daun bagian atas, tegak dan lebih panjang dari daun. Bunganya besar, kuning keemasan (Lubis *et al.*, 2021), sedikit hingga banyak, atau bergerombol. Kelopaknya halus, tebal, dan lonjong. Mahkota bunga

memiliki dahan yang lebar (Stuart, 2018). Mantangan memiliki tunas muda berwarna coklat keunguan (Lubis *et al.*, 2021).

Spesies ini mirip dengan ubi jalar dan termasuk dalam keluarga Convolvulaceae (Master *et al.*, 2016; Lubis *et al.*, 2021). Sinonim dari nama ilmiah spesies ini antara lain yaitu *Decaobanthus peltatus*, *Convolvulus peltatus*, dan *Ipomoea nymphaeifolia* (Lubis *et al.*, 2021). Taksonomi dari spesies ini adalah sebagai berikut:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Convolvulales
Keluarga	: Convolvulaceae
Marga	: <i>Merremia</i>
Jenis	: <i>Merremia peltata</i>
Nama lokal	: Mantangan, wayit ngelaba, wayit jenu, akar mencret



Gambar 2. Mantangan (*Merremia peltata*).
(Sumber: KLHK, 2013)

Mantangan memiliki berbagai manfaat di Indonesia maupun di berbagai negara. Umbi mantangan mengobati pendarahan rahim dan dapat dimakan yang memiliki efek pencahar. Di beberapa negara, getah batang dapat digunakan sebagai obat cacing, luka, bisul, dan pembengkakan. Jus batang untuk batuk dan

diare serta digunakan untuk sakit mata. Daunnya digunakan untuk mencuci rambut yang dipercaya dapat meningkatkan pertumbuhan dan mencegah rontok, obat borok dan luka, pematangan untuk radang payudara, dan obat radang usus buntu. Getah daun muda dapat digunakan sebagai obat tetes mata atau telinga (Stuart, 2018). Alen *et al.* (2016) menyatakan bahwa daun mantangan mengandung senyawa terpenoid, steroid, saponin, dan fenolik yang menunjukkan aktivitas sitotoksik. Penelitian Via *et al.* (2022) menunjukkan bahwa daun mantangan positif mengandung flavonoid yang memiliki sifat antioksidatif, antiinflamasi, antimutagenik, dan antikarsinogenik.

Spesies tersebut memiliki sifat adaptif dan agresif pada habitat yang sesuai sehingga dapat tumbuh pada berbagai tutupan lahan yang berbeda. Mantangan tumbuh dengan cara melilitkan batangnya pada tumbuhan lain (inang) yang kemudian memanjat hingga menutupi permukaan tubuh inang tersebut, apabila terus-menerus tumbuh maka lilitan tersebut dapat merambat dari satu inang ke inang yang lain (Purwanto, 2016). Mantangan juga dapat tumbuh secara vegetatif melalui batang yang dapat berakar apabila menyentuh tanah, bahkan batangnya yang telah terpotong dapat memunculkan akar kembali pada bekas potongannya tersebut (Pengembara *et al.*, 2014). Hal tersebut menyebabkan sebaran mantangan semakin meluas dan dapat menjadi dominan. Jika dibiarkan, spesies ini dapat melilit, mencekik, lalu kemudian membunuh tumbuhan yang ada di sekitarnya (Purwanto, 2016).

Berdasarkan Pusat Data dan Analisa Tempo (2020), selain melalui biji atau buah, cara perkembangbiakan mantangan juga dapat dilakukan melalui batangnya yang menempel di tanah. Batang tersebut kemudian menumbuhkan akar yang nantinya menjadi tumbuhan baru. Batang mantangan memiliki kemampuan tinggi untuk menyerap air sehingga mampu tumbuh lebih cepat. Walaupun sifatnya yang adaptif, mantangan akan lebih cepat tumbuh dan menyebar pada wilayah di dataran rendah (Pusat Data dan Analisa Tempo, 2020) dan wilayah dengan tutupan tajuk yang jarang atau terbuka (KLHK, 2013; Master *et al.*, 2013; Yansen *et al.*, 2015; Master *et al.*, 2016; Lubis *et al.*, 2019; Pusat Data dan Analisa Tempo, 2020) sehingga mudah dimasuki sinar matahari. Berdasarkan penelitian Master *et al.* (2016), kandungan natrium dan magnesium pada tanah

mempengaruhi keberadaan mantangan lebih tinggi di TNBBS. Selain itu, tanah podsolik yang berada di TNBBS merupakan salah satu jenis tanah yang disenangi oleh spesies tersebut sebagai tempat tumbuh (Pusat Data dan Analisa Tempo, 2020).

Mantangan tersebar secara alami di Indonesia termasuk juga di TNBBS. Secara masif, mantangan menyebar di bagian selatan TNBBS dengan topografi landai dan ketinggian rata-rata sekitar 250 mdpl (Lubis *et al.*, 2019). Saat ini, sebarannya telah mendominasi kawasan TNBBS, bahkan spesies ini telah dinyatakan sebagai spesies invasif oleh *Invasive Species Specialist Group* (ISSG) (Hermawan *et al.*, 2017). Menurut Hermawan *et al.* (2017), mantangan merupakan tumbuhan lokal yang kini menjadi invasif, khususnya di Resor Tampang. Rata-rata persentase luas mantangan di hutan terinvasi sebanyak 44%, hutan sekunder 27,11%, dan hutan primer 1% (Master *et al.*, 2013).

Mantangan memiliki kemampuan yang unggul dalam berkompetisi maupun berkembangbiak, selain itu hal yang semakin mendukung ekspansi spesies tersebut juga disebabkan oleh satwa liar yang ada di TNBBS yang sudah tidak lagi menyukai mantangan sebagai sumber pakan (Pusat Data dan Analisa Tempo, 2020). Akibat dari mantangan yang telah menginvasi ini yaitu terganggunya flora dan fauna alami terutama endemik Sumatra serta rusaknya ekosistem sehingga menjadi masalah bagi upaya konservasi keanekaragaman hayati di TNBBS (Kurniawati *et al.*, 2019).

Upaya untuk mengendalikan mantangan dapat dimulai dari pemantauan sebaran mantangan dengan menggunakan citra satelit. Selanjutnya berdasarkan KLHK (2013), strategi pengendalian mantangan yang dapat dilakukan yaitu dengan cara manual, penggunaan herbisida, restorasi dengan menggunakan spesies pionir lokal dengan pertumbuhan yang cepat seperti bernung (*Octomeles sumatrana*), tabu (*Tetrameles nudi lora*), pulai (*Alstonia scholaris*), bayur (*Pterospermum javanicum*), kelampaian (*Neolamarckia cadamba*) (Lubis *et al.*, 2019), serta peningkatan sumber daya manusia. Garsetiasih *et al.* (2019) menyatakan bahwa mantangan memiliki kandungan protein 9,7% dan energi 4087 kalori yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pakan hijauan alternatif untuk ternak.

2.4. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) yang selanjutnya disebut sebagai inderaja merupakan ilmu atau seni untuk mendapatkan data dan informasi tentang suatu objek di permukaan bumi dengan menggunakan alat kemudian dianalisis data yang didapatkan tersebut serta tanpa kontak langsung dengan objek yang akan dianalisis (Lillesand dan Kiefer, 1979). Penginderaan jauh dapat dipahami sebagai ilmu atau seni untuk menganalisis objek di permukaan bumi dari jarak yang jauh dengan objek tersebut. Insyani (2019) menyebutkan bahwa data yang didapatkan dari penginderaan jauh merupakan hasil dari penggunaan alat yang terpasang pada wahana (*platform*) misalnya seperti satelit, pesawat, balon udara, dan lain-lain. Hasil dari alat tersebut diistilahkan sebagai citra.

Penginderaan jauh terdiri atas 4 komponen antara lain yaitu: 1) Wahana; 2) Atmosfer; 3) Objek; dan 4) Pengolah dan pengguna (*end user*) (Dimiyati, 2022). Adapun pendapat lain menurut Rijal *et al.* (2019), penginderaan jauh terdiri atas 7 komponen meliputi: 1) Sumber tenaga; 2) Atmosfer; 3) Objek; 4) Sensor dan wahana; 5) Pengolahan data; 6) Interpretasi citra; dan 7) Pengguna (*user*). Suatu objek pada permukaan bumi memiliki radiasi elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh sensor yang dibawa melalui wahana. Suatu sensor memiliki sensitivitas terhadap suatu objek yang ada di permukaan bumi seperti air, tanah, dan vegetasi sehingga interpretasi dari citra yang dihasilkan dapat dikenali (Dimiyati, 2022).

Penggunaan penginderaan jauh dapat memberikan banyak kegunaan. Misalnya seperti interpretasi terhadap suatu citra membuat pengguna dapat mengenali objek. Begitu pula dalam bidang kehutanan, penginderaan jauh dapat digunakan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tutupan lahan serta upaya pemantauan. Informasi terkait tutupan lahan merupakan salah satu hal penting dalam penyusunan rencana suatu pengelolaan hutan. Informasi yang disajikan dapat berupa kondisi spasial dari permukaan bumi di kawasan hutan. Contoh penggunaan penginderaan jauh dalam bidang kehutanan yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh Suyadi (2011) mengenai laju deforestasi yang ada di TNBBS selama 3 dekade. Penelitian tersebut menunjukkan perubahan luasan hutan dari waktu ke waktu, hal ini berperan dalam pemantauan laju deforestasi di

TNBBS. Adapun penelitian Yansen dan Hidayat (2014) dan Lubis *et al.* (2019) mengenai luas mantangan terus bertambah di TNBBS melalui citra satelit. Hasil yang diperoleh dari pemantauan tersebut sangat berguna dalam pengelolaan hutan. Dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh mampu menjadi sarana yang efisien dalam pemantauan perubahan tutupan lahan karena lebih cepat, mudah, dan dapat dilakukan pada suatu kawasan yang sangat luas, serta akurat (Muhlis *et al.*, 2022).

2.5. Citra Satelit

Hasil tangkapan dari sensor penginderaan jauh disebut sebagai citra. Citra satelit merupakan jenis citra yang dapat diperoleh dengan mudah melalui *platform* internet. Bahkan beberapa jenis citra satelit dapat diperoleh secara gratis. Citra satelit bersumber dari satelit pengamat bumi tertentu (Ambarwari *et al.*, 2023). Informasi atau data citra dikirim melalui satelit dimana untuk menghasilkan suatu citra, informasi mengenai kondisi permukaan bumi ditangkap oleh satelit melalui sensornya (Erkamim *et al.*, 2023). Kemampuan satelit didasarkan pada resolusi yang dimiliki:

1. Resolusi spasial, berkaitan dengan kemampuan untuk mengindera objek terkecil.
2. Resolusi temporal, berkaitan dengan pengulangan waktu rekam pada suatu area.
3. Resolusi spektral, berkaitan dengan jumlah panjang gelombang yang dimiliki sensor.
4. Resolusi radiometrik, berkaitan dengan jumlah *binary digit* yang dimiliki sensor.

Hasil informasi dari citra satelit tersebut tidak dapat diperoleh secara langsung melainkan perlu diolah terlebih dahulu. Salah satu cara untuk memperoleh informasi dalam citra satelit yaitu dengan metode klasifikasi (Ambarwari *et al.*, 2023). Klasifikasi citra diartikan sebagai proses pengelompokkan piksel, objek, maupun potongan gambar ke dalam kelas tertentu sehingga dapat menggambarkan suatu entitas dengan ciri-ciri tertentu yang ditujukan untuk memperoleh peta tematik dimana suatu warna dapat mewakili suatu objek tertentu (Arifin dan Kurniati, 2002; Ambarwari *et al.*, 2023). Menurut

Ambarwari *et al.* (2023), meningkatnya pengetahuan bidang ilmu komputer, sistem informasi geografis, serta kemampuan teknologi penginderaan jauh telah mengembangkan sejumlah metode klasifikasi yang berbeda yaitu berbasis piksel/sub-piksel, objek, dan pemandangan.

2.6. Object-Based Image Analysis (OBIA)

Proses klasifikasi citra dengan metode OBIA mempertimbangkan aspek spektral maupun aspek spasial dari objek yang dibentuk melalui proses segmentasi, yaitu proses pengelompokan piksel ke dalam segmen berdasarkan kemiripan kriteria (Noraini *et al.*, 2021). Metode OBIA memiliki 3 parameter utama dalam pemisah objek yaitu *scale*, *shape*, dan *compactness*. Pemisahan antar objek dengan metode ini dinilai lebih unggul dibandingkan dengan metode klasifikasi citra lainnya karena dapat meningkatkan keakuratan. Keunggulan lainnya, pengguna juga dapat mengefisiensi waktu karena pengolahan klasifikasi citra dengan OBIA lebih mudah dan cepat (Noviar *et al.*, 2012).

2.7. Random Forest

Random forest merupakan salah satu algoritma dari metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) yang menghasilkan akurasi tinggi dan stabil. Metode klasifikasi ini berbasis komputasi yang mempertimbangkan berbagai variabel berbeda untuk memetakan masing-masing data terpilih ke dalam kategori kelas yang telah ditentukan. Metode ini mampu menghasilkan kesalahan yang lebih rendah, memberikan akurasi yang baik dalam klasifikasi, dapat menangani data yang jumlahnya sangat besar, dan efektif untuk mengatasi data yang tidak lengkap (Amaliah *et al.*, 2022). Metode ini juga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan dalam klasifikasi tutupan lahan (Suryono *et al.*, 2022). Menurut Tatsumi *et al.* (2015), *random forest* memiliki akurasi yang tinggi untuk klasifikasi tutupan lahan.

Random forest merupakan suatu kombinasi dari pohon-pohon prediksi dimana tiap pohon bergantung pada nilai dari vektor contoh acak yang saling bebas dan berdistribusi sama pada semua pohon yang ada di dalamnya (Breiman, 2001). Proses metode ini dikenal sebagai *machine learning* sehingga

memudahkan proses klasifikasi tersebut. *Machine learning* merupakan metode yang dapat mendeteksi pola-pola hubungan antara sekumpulan data prediktor (*variabel independent*) dengan data yang perlu diprediksi (*variabel dependent*) (Triscowati *et al.*, 2021). Metode ini dilakukan melalui pembentukan pohon (*tree*) dengan melakukan *training* pada sampel data citra satelit. *Random forest* menggunakan hasil *voting* keputusan terbanyak berdasarkan pohon yang terbentuk (Tatsumi *et al.*, 2015).

2.8. Uji Ambang Batas (*Threshold*)

Uji ambang batas (*threshold*) merupakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan menentukan nilai ambang batas maksimum dan minimum dari transformasi indeks vegetasi sehingga mendapatkan *range* yang dapat mewakili setiap kelas tutupan lahan (Sari *et al.*, 2021). Nilai setiap kelas tutupan lahan yang didasarkan pada nilai indeks vegetasi diperoleh melalui proses klasifikasi. Metode ini menghitung nilai ambang batas citra yang telah ditransformasikan dengan indeks vegetasi serta piksel citra yang telah diklasifikasi (Taufik *et al.*, 2016). Parsa *et al.* (2019) menyatakan bahwa penentuan ambang batas dilakukan melalui tahapan *overlay* referensi lahan dengan citra hasil analisis statistik indeks vegetasi, kemudian dihitung statistiknya (minimum, maksimum, median, rata-rata, dan *range*). Nilai-nilai statistik tersebut dijadikan acuan untuk menentukan ambang batas dengan menggunakan acuan standar deviasi.

2.9. Indeks Vegetasi

Deteksi tutupan lahan khususnya vegetasi, umumnya menggunakan transformasi indeks vegetasi (Simarmata *et al.*, 2021). Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diterapkan terhadap citra satelit untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan seperti biomassa, konsentrasi klorofil, dan sebagainya (Hardianto *et al.*, 2021). Indeks vegetasi digunakan untuk mengukur nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan data nilai kecerahan (*brightness*) citra satelit sesuai band yang tersedia akibat penyerapan cahaya merah dan pemantulan cahaya inframerah pada daun

sehingga *brightness* yang diterima sensor satelit menjadi berbeda (Prasetyo *et al.*, 2017; Yudistira *et al.*, 2019). Berbagai indeks vegetasi dapat digunakan dalam mengklasifikasikan tutupan lahan pada citra satelit seperti *normalized difference vegetation index*, *soil adjusted vegetation index*, *normalized difference moisture index*, dan *enhanced vegetation index*.

2.9.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI merupakan indeks kehijauan atau aktivitas fotosintesis vegetasi yang paling sering digunakan. NDVI didasarkan pada pengamatan bahwa permukaan yang berbeda-beda merefleksikan berbagai jenis gelombang cahaya yang berbeda-beda pula. Vegetasi yang aktif melakukan fotosintesis akan menyerap sebagian besar *band red* sinar matahari dan mencerminkan *band NIR* lebih tinggi sementara vegetasi yang sudah mati atau stres (kurang sehat) lebih banyak mencerminkan *band red* dan lebih sedikit pada *band NIR* (Wulandari *et al.*, 2020). NDVI dapat menunjukkan parameter vegetasi seperti biomassa dedaunan hijau yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi. Indeks ini memiliki rentang nilai antara -1 sampai 1.

2.9.2. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

SAVI merupakan pengembangan dari NDVI yang mengurangi pengaruh latar belakang tanah pada sinyal vegetasi (Yudistira *et al.*, 2019). SAVI lebih menekankan pada efek piksel tanah. Indeks vegetasi ini menggunakan faktor koreksi latar belakang tanah yang merupakan fungsi dari kerapatan vegetasi. Indeks vegetasi ini paling baik digunakan pada tutupan lahan dengan vegetasi yang relatif rendah (Wulandari *et al.*, 2020). Indeks ini memiliki rentang nilai antara -1 sampai 1,38.

2.9.3. Normalized Difference Moisture Index (NDMI)

NDMI merupakan indeks yang mencerminkan tingkat kelembapan udara di sekitar vegetasi (Usmadi *et al.*, 2015). NDMI digunakan untuk mengidentifikasi kelembapan permukaan tanah dan batuan. Selain mengidentifikasi kelembapan

permukaan tanah, band ratio NDMI dapat digunakan untuk interpretasi tekstur tanah, mengingat adanya korelasi antara tingkat kelembapan tanah dengan tekstur tanah (Jati *et al.*, 2020). Indeks ini memiliki rentang nilai antara -1 sampai 1.

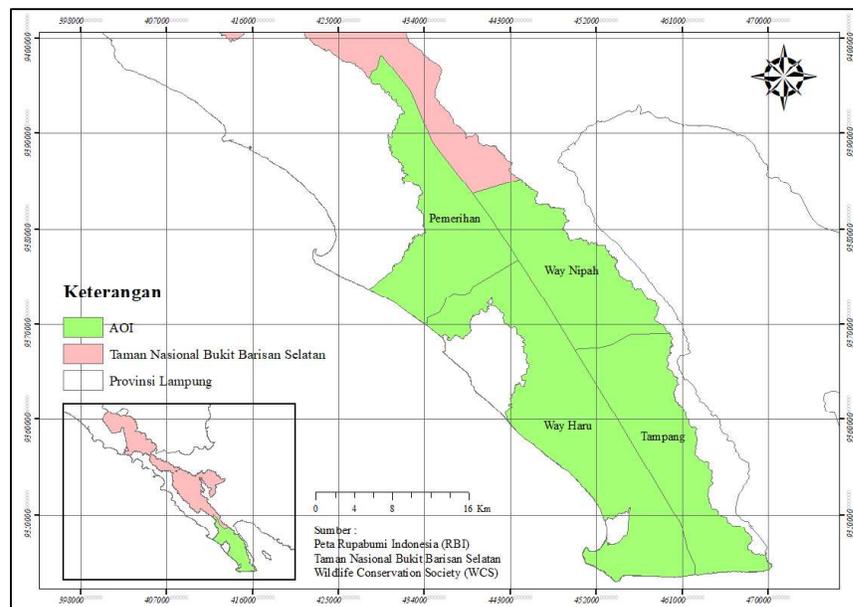
2.9.4. *Enhanced Vegetation Index (EVI)*

EVI merupakan indeks vegetasi yang dioptimalkan untuk meningkatkan tingkat kehijauan dari pengaruh latar belakang kanopi dan pengaruh atmosfer yang lebih baik dari NDVI (Hardianto *et al.*, 2021). EVI memiliki sensitivitas terhadap sinyal vegetasi yang lebih baik. Indeks ini lebih responsif terhadap variasi struktur kanopi, termasuk Leaf Area Index (LAI), jenis kanopi, fisiognomi tanaman, serta arsitektur kanopi (Doni *et al.*, 2021). EVI merupakan kombinasi yang dioptimalkan dari *band blue, red*, dan NIR yang dirancang untuk mengekstraksi kehijauan kanopi, terlepas dari latar belakang tanah dan variasi aerosol atmosfer (Ariwahid *et al.*, 2019). Indeks ini memiliki rentang nilai antara -1 sampai 1.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan April – Mei 2024. Penelitian berlokasi di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS), dimana pengambilan titik koordinat berlokasi di Stasiun Penelitian Way Canguk (SPWC) dan Resor Way Haru. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian.

Lokasi penelitian ditentukan dengan mempertimbangkan bahwa TNBBS merupakan salah satu kawasan konservasi yang vital bagi keanekaragaman hayati dan keberlangsungan hidup makhluk hidup termasuk manusia khususnya di Pulau Sumatra. Salah satu ancaman upaya konservasi yang terjadi di kawasan tersebut adalah dengan adanya spesies asli yang kini menjadi invasif yaitu mantangan (*Merremia peltata*). Mantangan secara masif menginvasi bagian selatan kawasan

TNBBS. Terbatasnya informasi mengenai pemantauan spesies invasif di kawasan tersebut juga menjadi dasar pertimbangan untuk menentukan lokasi penelitian.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian di antaranya yaitu *Global Positioning System* (GPS), kamera, laptop, dan perangkat lunak seperti ArcGIS, eCognition Developer, Google Earth Engine (GEE), ERDAS Imagine 2015, Avenza Maps, dan Microsoft Excel. Adapun bahan yang digunakan yaitu peta kawasan TNBBS, peta batas administrasi Provinsi Lampung, citra *Digital Elevation Model* (DEM), serta data citra satelit tahun 2019, 2021, dan 2023.

3.3. Batasan Penelitian

Lokasi penelitian difokuskan pada bagian selatan TNBBS yang secara khusus terinvansi oleh mantangan dengan membuat *area of interest* (AOI) seluas 75144,50 ha yang mencakup 4 resor yaitu Pemerihan, Way Haru, Way Nipah, dan Tampang.

3.4. Jenis Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder.

3.4.1. Data Primer

1. Citra Satelit

Data diperoleh dengan pengunduhan citra Sentinel-2 melalui *Copernicus Browser* (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>) tahun 2019, 2021, dan 2023. Informasi mengenai citra Sentinel-2 yang diunduh tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Informasi waktu penyediaan data visual citra Sentinel-2

No.	Citra	Tahun	Bulan	Tanggal
1.	Sentinel-2	2023	Oktober	29
2.	Sentinel-2	2021	Juli	26
3.	Sentinel-2	2019	November	19

Kanal (*band*) yang diunduh di antaranya yaitu *band 2 (blue)*, *3 (green)*, *4 (red)*, *8 (near infrared (NIR))*, dan *11 (shortwave infrared (SWIR))*.

2. *Groundcheck*

Pengecekan langsung di lapangan (*groundcheck*) bertujuan untuk memperoleh data sebaran mantangan di lapangan secara langsung. *Groundcheck* dilakukan dengan menggunakan GPS untuk memperoleh data berupa titik koordinat yang menunjukkan posisi keberadaan mantangan yang digunakan untuk validasi data lapangan (Bashit *et al.*, 2019). Hasil *groundcheck* diperoleh dengan pengambilan titik sampel yang berlokasi di SPWC dan Resor Way Haru.

Hasil *groundcheck* kemudian digunakan untuk menguji ketelitian dan akurasi dari hasil klasifikasi citra untuk memperoleh data ukuran sebenarnya (Bashit *et al.*, 2019). Uji ketelitian dan akurasi di lapangan menunjukkan ketepatan maupun kesalahan sehingga dapat diketahui keakuratan dari klasifikasi citra yang telah dilakukan (Putri *et al.*, 2022).

3.4.2. Data Sekunder

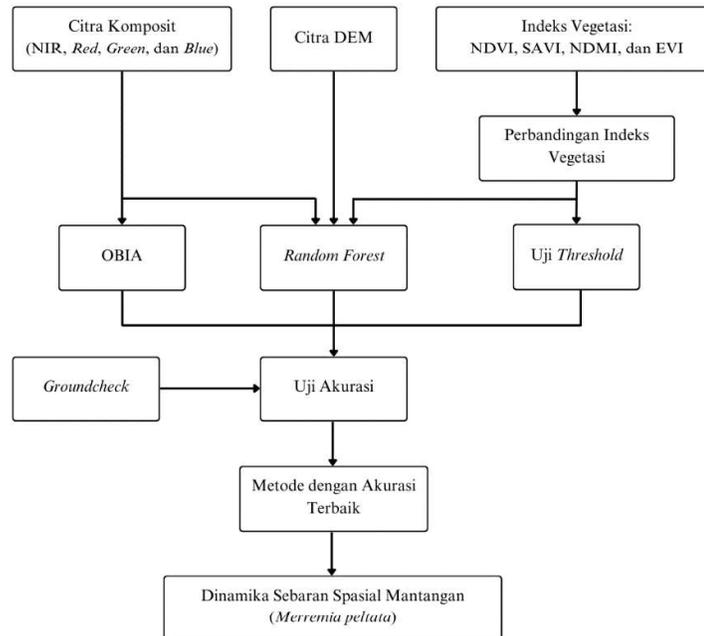
Data sekunder diperoleh berdasarkan data yang tersedia meliputi studi literatur dari berbagai publikasi ilmiah yang terpercaya, peta kawasan TNBBS, data geospasial Provinsi Lampung, titik koordinat mantangan dari *Wildlife Conservation Society (WCS)* tahun 2019 dan 2020, serta peraturan perundang-undangan.

3.5. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam tahap ini merupakan data yang digunakan dalam penelitian yang diperoleh tanpa langsung ke lapangan meliputi peta kawasan TNBBS, peta Rupabumi Indonesia (RBI), citra satelit tahun 2019, 2021, dan 2023, citra DEM Nasional (DEMNAS), serta titik koordinat mantangan dari WCS.

3.6. Pengolahan Data

Data yang diolah dalam penelitian ini di antaranya yaitu citra gabungan (komposit), citra DEM, dan citra yang ditransformasikan dengan indeks vegetasi. Data-data tersebut diperlukan dalam proses pengolahan data yang terdiri dari pra pengolahan citra, penggabungan dan pemotongan citra, dan klasifikasi citra. Bagan alir proses pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan alir proses pengolahan data.

3.6.1. Pra Pengolahan Citra

Penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk memperoleh informasi permukaan bumi tanpa kontak langsung. Informasi permukaan bumi yang diperoleh memiliki perbedaan besar energi sinar matahari yang ditangkap, baik dipantulkan kembali ataupun diterima oleh sensor penginderaan jauh (Widhaningtyas *et al.*, 2020). Perekaman sensor satelit memungkinkan masih terdapat kesalahan sehingga data mentah tidak dapat digunakan secara langsung (Lukiawan *et al.*, 2019). Agar data dapat digunakan oleh pengguna (*user*) memerlukan koreksi sebelum pengolahan citra dilakukan untuk menjadikan data standar (Krismawati *et al.*, 2022). Koreksi dilakukan untuk memperbaiki

kesalahan (Dimiyati, 2022) sehingga memperoleh citra yang sesuai dengan keadaan aslinya (Jaya, 2020). Kesalahan-kesalahan yang terjadi dapat diakibatkan oleh kesalahan radiometrik (ketinggian matahari, kondisi atmosfer, dan respon sensor) dan kesalahan geometrik (koordinat citra, koordinat geografis) (Dimiyati, 2022), dengan demikian koreksi citra yang dilakukan terbagi menjadi koreksi radiometrik dan geometrik.

1. Koreksi Radiometrik

Dilakukan dengan mengunduh citra satelit yang telah terkoreksi radiometrik, yaitu citra Sentinel-2 *surface reflectance*. Pada metode *random forest* melalui *platform* GEE dilakukan juga *cloud masking* dengan menggunakan citra multitemporal untuk memperoleh citra bebas awan.

2. Koreksi Geometrik

Penyesuaian koordinat citra dengan koordinat geografis yang sebenarnya dilakukan pada *software* ArcGIS dengan memproyeksikan *coordinate system* zona *Universal Transverse Mercator* (UTM) ke datum horizontal *World Geodetic System* (WGS) 1984.

3.6.2. Penggabungan dan Pemotongan Citra

Penggabungan (komposit) citra dilakukan dengan cara memasukkan kanal (*band*) berdasarkan masing-masing tipe citra satelit. Pada penelitian ini, komposit yang digunakan meliputi *true color* (RGB: *red* (4), *green* (3), dan *blue* (2)) *band* dan NIR *band* (8). Komposit citra ditujukan untuk memperoleh informasi visual yang lebih baik sehingga mempermudah proses analisis citra satelit (Rini dan Susatya, 2019). Komposit citra tahun 2019, 2021, dan 2023 secara berturut-turut disajikan pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. Citra komposit tahun 2019.



Gambar 6. Citra komposit tahun 2021.



Gambar 7. Citra komposit tahun 2023.

Pada metode *random forest*, komposit citra yang digunakan juga terdiri dari citra yang telah ditransformasikan dengan indeks vegetasi terbaik dan citra DEM.

Setelah komposit citra, selanjutnya dilakukan pemotongan citra (*cropping*) untuk memfokuskan citra pada objek penelitian. *Cropping* dilakukan dengan meng-*clip* citra komposit dengan menggunakan peta kawasan TNBBS berdasarkan *area of interest* (AOI).

3.6.3. Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra dilakukan untuk membagi tutupan lahan atas beberapa kelas. Metode analisis klasifikasi citra dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga yaitu *object-based image analysis* (OBIA), *random forest*, dan uji *threshold*. Hal ini dilakukan untuk menguji metode yang paling akurat untuk memperoleh informasi sebaran mantangan (*Merremia peltata*).

Metode *object-based image analysis* (OBIA) dilakukan dengan menggunakan *software* eCognition Developer, *random forest* dengan *platform* GEE, dan uji *threshold* dengan *software* ArcGIS.

a. OBIA

Metode OBIA menggunakan algoritma *multiresolution segmentation* dengan 3 parameter yaitu skala, bentuk, dan kekompakan. Ukuran skala yang digunakan yaitu senilai 25, bentuk senilai 0,1, dan kekompakan senilai 0,5. Hasil segmentasi kemudian diklasifikasikan berdasarkan penggunaan dan tutupan lahan yang ada pada citra.

b. *Random Forest*

Klasifikasi dengan *random forest* dilakukan dengan menggunakan berbagai variabel. Selain citra komposit (*true color* dan NIR), digunakan juga citra yang sudah ditransformasikan dengan indeks vegetasi dan citra *Digital Elevation Model* (DEM). Variabel-variabel tersebut digunakan agar menghasilkan keputusan dalam klasifikasi menjadi lebih baik.

Metode ini dilakukan dengan menggunakan GEE untuk melakukan klasifikasi berdasarkan piksel yang telah ditentukan dalam suatu kategori kelas. Klasifikasi citra dengan GEE dilakukan dengan menggunakan *script* yang dijalankan dengan sistem *machine learning*. GEE merupakan *platform*

pengolahan citra satelit berbasis komputasi awan (*cloud computation*) (Novianti, 2021; Pratama dan Riana, 2022; Putri dan Sibarani, 2023). *Platform* analisis geospasial ini menyediakan data citra yang dapat diakses secara *online* dan gratis (Novianti, 2021; Pratama dan Riana, 2022) termasuk data citra satelit, indeks vegetasi, serta DEM.

Pada *platform* ini dapat diperoleh citra satelit dengan tutupan awan yang rendah dengan menggunakan *function cloudMask*. Dengan *function* tersebut pengguna dapat memilih citra dalam rentang waktu tertentu dengan tutupan awan yang diinginkan sehingga keuntungan dengan menggunakan *platform* ini adalah pengguna dapat memperoleh data citra satelit multitemporal yang bebas awan.

c. Uji *Threshold*

Metode uji *threshold* diawali dengan membandingkan beberapa transformasi indeks vegetasi meliputi *normalized difference vegetation index* (NDVI), *soil adjusted vegetation index* (SAVI), *normalized difference moisture index* (NDMI), dan *enhanced vegetation index* (EVI) untuk memperoleh indeks yang paling mampu membedakan tutupan mantangan dengan tutupan lahan lainnya, selanjutnya dilakukan penentuan ambang batas standar deviasi. Adapun persamaan indeks vegetasi menggunakan citra Sentinel-2 sebagai berikut:

1. NDVI

NDVI dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Prasetyo *et al.*, 2017; Laura *et al.*, 2019; Yudistira *et al.*, 2019; Dayanthi *et al.*, 2023):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR}-\text{Red})}{(\text{NIR}+\text{Red})}$$

Keterangan:

NIR : *band near infrared (band 8)*

Red : *band red (band 4)*

2. SAVI

SAVI dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Prasetyo *et al.*, 2017; Yudistira *et al.*, 2019):

$$\text{SAVI} = (1 + L) \times \frac{(\text{NIR}-\text{Red})}{(\text{NIR}+\text{Red}+L)}$$

Keterangan:

L : koreksi latar belakang tanah (0,428)

NIR : *band near infrared (band 8)*

Red : *band red (band 4)*

3. NDMI

NDMI dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Jati *et al.*, 2020):

$$\text{NDMI} = \frac{(\text{NIR}-\text{SWIR})}{(\text{NIR}+\text{SWIR})}$$

Keterangan:

NIR : *band near infrared (band 8)*

SWIR : *band shortwave infrared (band 11)*

4. EVI

EVI dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Laura *et al.*, 2019):

$$\text{EVI} = G \times \frac{(\text{NIR}-\text{Red})}{(\text{NIR}+C_1 \times \text{Red}-C_2 \times \text{Blue}+L)}$$

Keterangan:

G : faktor keuntungan (2,5)

NIR : *band near infrared (band 8)*

Red : *band red (band 4)*

Blue : *band blue (band 2)*

C₁ : koefisien untuk efek atmosfer (6)

C₂ : koefisien untuk efek atmosfer (7,5)

L : faktor kalibrasi untuk efek kanopi dan tanah (1)

Transformasi indeks vegetasi dilakukan dengan menggunakan rumus masing-masing indeks dengan *raster calculator* pada *software* ArcGIS untuk memperoleh nilai *raster value*. Nilai *raster value* kemudian diolah pada Microsoft Excel untuk mengetahui nilai minimum, maksimum, dan rata-rata. Nilai minimum dan maksimum juga berguna untuk menentukan *range* dan standar deviasi. Nilai *range* nantinya digunakan untuk menentukan jumlah frekuensi berdasarkan seluruh nilai dari semua tutupan lahan, sehingga dapat diketahui indeks vegetasi yang paling mampu membedakan tutupan mantangan dengan tutupan lahan lainnya.

Indeks vegetasi yang paling mampu membedakan mantangan dengan tutupan lahan lainnya kemudian dianalisis secara statistik yang terdiri atas nilai minimum, maksimum, *range*, rata-rata, $0,5 \times$ standar deviasi, dan $1 \times$ standar deviasi pada kelas mantangan. Analisis tersebut digunakan untuk membentuk hasil klasifikasi dengan memberikan kontras yang baik (Parsa *et al.*, 2019) antara tutupan mantangan dengan tutupan lahan lain.

3.7. Validasi Data

Validasi data lapangan dilakukan dengan melakukan *groundcheck*. Kegiatan yang dilakukan meliputi penentuan daerah contoh (*training area*) dan pengukuran koordinat pada jenis tutupan lahan di lapangan yang menunjukkan keberadaan mantangan dengan menggunakan GPS.

3.8. Uji Akurasi

Uji akurasi ditujukan untuk mengetahui persentase ketepatan hasil klasifikasi citra. Hasil klasifikasi diuji dengan melihat kesalahan-kesalahan klasifikasi dengan membuat matriks kesalahan (*error matrix*) (Nawangwulan *et al.*, 2013). *Error matrix* dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi citra dengan hasil data di lapangan (Wulansari, 2017) yang diperoleh dengan *groundcheck*. *Error matrix* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Error matrix*

Kelas	Hasil <i>Groundcheck</i>		Total Baris	
	Mantangan	Non Mantangan		
Hasil Klasifikasi	Mantangan	A	a	Σ baris 1
	Non Mantangan	b	B	Σ baris 2
Total Kolom	Σ kolom 1	Σ kolom 2	Σ N	

Keterangan:

- 1, 2 = kelas tutupan lahan
- A, B = jumlah benar dari hasil klasifikasi dan data lapangan
- a, b = jumlah hasil data lapangan pada suatu kelas
- Σ N = total baris atau total kolom

Hasil *error matrix* yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam perhitungan *user accuracy*, *producer accuracy*, *overall accuracy*, dan *kappa accuracy*. Interpretasi citra dianggap benar apabila mencapai batas toleransi $\geq 80-85\%$ yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Wulansari, 2017; Tatisina *et al.*, 2020; Valent *et al.*, 2021):

1. *User accuracy* (akurasi pengguna) yaitu akurasi dilihat dari sisi pengguna yang kemungkinan klasifikasi citra memiliki nilai berbeda di setiap kategori klasifikasinya.

$$= \frac{\text{jumlah benar dari hasil klasifikasi dan data lapangan}}{\Sigma \text{ baris}} \times 100\%$$

2. *Producer accuracy* (akurasi penghasil) yaitu akurasi dilihat dari sisi penghasil yang kemungkinan lahan di lapangan terklasifikasi tepat dalam citra.

$$= \frac{\text{jumlah benar dari hasil klasifikasi dan data lapangan}}{\Sigma \text{ kolom}} \times 100\%$$

3. *Overall accuracy* (akurasi keseluruhan) yaitu untuk melihat keakuratan klasifikasi secara umum.

$$= \frac{\Sigma \text{ jumlah benar dari hasil klasifikasi dan data lapangan}}{\Sigma N} \times 100\%.$$

4. *Kappa accuracy* (akurasi kappa) yaitu ukuran kebenaran antara kelas yang diinterpretasikan dalam citra.

$$= \frac{[(\Sigma \text{ jumlah benar dari hasil klasifikasi dan data lapangan} \times \Sigma N) - \Sigma \text{ kolom} \times \text{baris}]}{[(\Sigma N)^2 - \Sigma \text{ kolom} \times \text{baris}]} \times 100\%$$

V. KESIMPULAN

5.1. Simpulan

Metode klasifikasi yang paling akurat untuk mendeteksi mantangan adalah *random forest* dengan menggunakan citra komposit (*true color* dan *NIR band*), citra EVI, dan citra DEM. Hasil akurasi yang diperoleh telah melebihi batas toleransi yaitu senilai 93,49% pada *user accuracy*, 95,18% pada *producer accuracy*, 95,23% pada *overall accuracy*, dan 90,18% pada *kappa accuracy*.

Dinamika sebaran mantangan selama 5 tahun terakhir (2019, 2021, dan 2023) secara berturut-turut mencapai 7.374,89 ha (2019), 8.237,88 ha (2021), dan 8.716,84 ha (2023).

Sebaran mantangan lebih banyak ditemukan pada dataran rendah dan pada areal terbuka. Faktor-faktor di lapangan tersebut mempengaruhi dinamika sebaran mantangan. Selain itu, kualitas citra satelit seperti adanya tutupan awan dan hamburan uap air pada lokasi tertentu juga dapat memberikan pengaruh sehingga luas sebaran yang diperoleh kemungkinan berbeda dengan yang sebenarnya.

5.2. Saran

Penelitian mengenai sebaran spasial mantangan sebaiknya dilakukan pada tempat tumbuh yang sesuai bagi mantangan seperti dataran rendah, areal terbuka, dan arah lereng yang optimal dimasuki cahaya matahari. Perlu adanya penelitian menggunakan citra beresolusi tinggi agar tutupan mantangan dapat benar-benar terlihat dengan baik sehingga dapat diperoleh hasil luas sebaran mantangan yang lebih akurat. Penelitian lanjutan seperti model deteksi risiko sebaran juga perlu dilakukan agar menjadi bahan pertimbangan pengelola TNBBS untuk mengambil keputusan dalam upaya pengendalian sebaran mantangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abyanta, R.D.G., Handayani, H.H., Ayani, R.H. 2024. Analisis tree counting kelapa sawit menggunakan metode object-based image analysis (OBIA) dan random forest machine learning (studi kasus: Kecamatan Cempaga Hulu, Kabupaten Kotawaringin Timur). *Jurnal Teknik ITS*. 13(2): 97-103.
- Alen, Y., Sari, P., Aldi, Y., Yulianis., Nakajima, S., Baba, N., Djamaan, A. 2016. Extraction, fractionation and cytotoxicity test of *Merremia peltata* (L.) Merr., (fam. *Convolvulaceae*) leaves. *Der Pharmacia Lettre*. 8(11): 48-52.
- Amaliah, S., Nusrang, M., Aswi. 2022. Penerapan metode random forest untuk klasifikasi varian minuman kopi di Kedai Kopi Konijiwa Bantaeng. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*. 4(2): 121-127.
- Ambarwari, A., Husni, E.M., Mahayana, D. 2023. Perkembangan metode klasifikasi perspektif revolusi ilmiah Thomas Kuhn. *Jurnal Filsafat Indonesia*. 6(3): 465-473.
- Andini, S.W., Prasetyo, Y., Sukmono, A. 2018. Analisis sebaran vegetasi dengan citra satelit sentinel menggunakan metode NDVI dan segmentasi (studi kasus: Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi Undip*. 7(1): 14-24.
- Andriyani, A., Nurcahyani, N., Susanto, G.N., Sibarani, M.C., Utoyo, L. 2022. Keanekaragaman burung kicau di Stasiun Penelitian Way Canguk Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *J-BEKH: Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 9(1): 1-11.
- Arifin, A.Z., Kurniati, W.D.S. 2002. Penggunaan analisa faktor untuk klasifikasi citra penginderaan jauh multispektral. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*. 1(1).
- Ariwahid, A.N., Sukmono, A., Subiyanto, S. 2019. Estimasi umur padi menggunakan metode EVI multitemporal berbasis identifikasi the early planting (TEP) dengan citra landsat 8 di Kabupaten Kendal dan Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*. 8(4): 90-100.

- Arrofiqoh, E.N., Chintya, N.P.P., Waljiyanto. 2022. Identifikasi saluran irigasi menggunakan teknologi drone lidar dengan metode object-based image analysis (OBIA). *Jurnal Infrastruktur*. 8(1): 1-7.
- Bank Artha Graha Internasional. 2022. *Strengthening Sustainability Fundamental*. PT Bank Artha Graha Internasional Tbk. Jakarta. 165 hal.
- Bashit, N., Prasetyo, Y., Suprayogi, A. 2019. Klasifikasi berbasis objek untuk pemetaan penggunaan lahan menggunakan citra SPOT 8 di Kecamatan Ngaglik. *Teknik*. 40(2): 122-128.
- Bobi, M., Erianto., Rifanjani, S. 2017. Keanekaragaman herpetofauna di Kawasan Tambling Wildlife Nature Conservation (TWNC) Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) Pesisir Barat Lampung. 5(2): 348-355.
- BPKH VII Denpasar. 2023. *Ground Check Penafsiran Citra*. Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah VII Denpasar. http://bpkh8.menlhk.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=80. Diakses pada Kamis, 30 Maret 2023.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*. 45: 5-32.
- Dayanthi, A.K., Prasetyo, S.Y.J., Fibriani, C. 2023. Klasifikasi wilayah risiko bencana banjir di Kota Semarang dengan perhitungan indeks vegetasi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 10(2): 461-470.
- Dimiyati, M. 2022. *Memahami Penginderaan Jauh Mandiri*. UI Publising. Depok. 294 hal.
- Duka, M. Lihawa, F., Rahim, S. 2020. Perubahan tutupan lahan dan pengaruhnya terhadap pola persebaran suhu di Kota Gorontalo. *Jambura Geoscience Review*. 2(1): 16-29.
- Doni, L.R., Yuliantina, A., Dewi, R., Pahlevi, M.Z., Kusumawardhani, N.A. 2021. Komparasi luas tutupan lahan di Kota Bandar Lampung berdasarkan algoritma NDVI (normalized difference vegetation index) dan EVI (enhanced vegetation index). *JGRS: Jurnal Geosains dan Remote Sensing*. 2(1): 16-24.
- Elfatma, O., Aji, W.A., Na'imah, K., Setyawan, H. 2022. Penentuan tingkat akurasi metode waypoint rata-rata garmin 64 s untuk pembuatan titik koordinat dilapangan. *Prosiding Seminar Nasional Instiper*. Yogyakarta, 13 Juli 2022. 1(1): 217-224.
- Erkamim, M., Mukhlis, I.R., Putra., Adiwarmam, M., Rassarandi, F.D., Rumata, N.A., Arrofiqoh, E.N., Rahman K.N., A., Chusnayah, F., Paddiyatu, N., Hermawan, E. 2023. *Sistem Informasi Geografis (SIG): (Teori Komprehensif SIG)*. PT Green Pustaka Indonesia. Bantul. 172 hal.

- Farizkhar., Somantri, L., Himayah, S. 2022. Pemanfaatan object-based image analysis (OBIA) pada citra spot-6 untuk identifikasi jenis penutup lahan vegetasi di Kota Bogor. *JPIG: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi*. 7(1): 53-61.
- Firmawan, M.A., Widiatmaka., Nirmala, K. 2021. Identifikasi dinamika spasial penggunaan dan tutupan lahan di Kabupaten Indramayu. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 23(2): 78-84.
- Garsetiasih, R., Irianto, R., Sihombing, V.S. 2019. The utilization of *Merremia peltata* for livestock feed to control an invasive alien plant species in Bukit Barisan Selatan National Park. *Indonesian Journal of Forestry Research*. 6(2): 85-93.
- Hardianto., Jaya, L.M.G., Nurgiantoro., Kharisa, N.H. 2021. Perbandingan metode indeks vegetasi NDVI, SAVI dan EVI terkoreksi atmosfer iCOR. *JAGAT: Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi*. 5(1): 53-62.
- Harjadi, B. 2010. Monitoring penutupan lahan di DAS Grindulu dengan metode penginderaan jauh dan sistem informasi geografis. *Forum Geografi*. 24(1): 85-91.
- Hatfield Indonesia. 2019. *Bukit Barisan Selatan National Park Kerangka Pengelolaan Lingkungan dan Sosial (ESMF)*. LIPI. Bogor. 52 hal.
- Hidayat, S., Munawaroh, E. 2019. Tumbuhan prioritas konservasi di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Media Konservasi*. 24(2): 134-140.
- Hermawan, R., Hikmat, A., Prasetyo, L.B., Setyawati, T. 2017. Model sebaran spasial dan kesesuaian habitat spesies invasif mantangan (*Merremia peltata* (L.) Merr.) di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Nusa Sylva*. 17(2): 80-90.
- Insyani, R.S. 2019. *Dasar-Dasar Penginderaan Jauh*. Alprin. Semarang. 66 hal.
- Jati, V.J., Kusumayudha, S.B., Cahyadi, T.A. 2020. Aplikasi band ratio NDMI citra landsat 8 dalam penentuan zona rawan longsor dengan metode overlay analysis. *Kurvatek*. 5(1): 37-44.
- Jaya, E.E. 2020. *Skenario Berkelanjutan Pengelolaan Hutan Mangrove; Studi Kajian di Mangrove Center Graha Indah Balikpapan*. Nas Media Pustaka. Balikpapan. 228 hal.
- Kawamuna, A., Suprayogi, A., Wijaya, A.P. 2017. Analisis kesehatan hutan mangrove berdasarkan metode klasifikasi NDVI pada citra sentinel-2 (studi kasus: Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Geodesi Undip*. 6(1): 277-284.

- KLHK. 2013. *Ecosystem Management Plan Bukit Barisan Selatan National Park, Lampung, Indonesia*. CABI. Lampung. 13 hal.
- Krismawati, D., Aprianto, K., Yulianto, R., Mariel, W.C.F., Deli, N.F., Panuntun, S.B., Arsyi, F.A., Widiatma, M.A., Setiawan, I.N., Sandyawan, I., Noviyanti, I., Sari, D.P., Firmansyah, A.F.B., Putra, A.P., Wijayanto, A.W., Khomarudin, M.R., Chulafak, G.A., Sakti, A.D. 2022. *Teknik Pengumpulan Data dan Preprocessing Citra Satelit*. Badan Pusat Statistik. Jakarta. 158 hal.
- Kurniawati. Muhadiono., Hilwan, I. 2019. Ecobiology test of mantangan species (*Merremia peltata* (L.) Merr.) from Bukit Barisan Selatan National Park, Lampung. *Journal of Tropical Life Science*. 9(2): 209-215.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons. Inc. Kanada.
- Laura, C.T., Darmawan, A., Hilmanto, R. 2019. Deteksi tutupan repong damar di Pesisir Barat Lampung menggunakan citra satelit penginderaan jauh. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(3): 247-260.
- Lubis, M.I., Hussein, S., Ismanto., Wandono, H., Affandi, F.R., Marthy, W. 2019. *Monitoring Perubahan Tutupan Hutan di Bentang Alam Bukit Barisan Selatan Periode 2000-2017*. TNBBS & WCS-IP. Bogor. 44 hal.
- Lubis, M.K.I., Mardhiansyah, M., Somadona, S. 2021. Pemanfaatan asap cair dalam pengendalian tumbuhan mantangan (*Merremia peltata*) sebagai gulma. *JOM FAPERTA*. 8(1): 1-7.
- Lukiawan, R., Purwanto, E.H., Ayundyahrini, M. 2019. Standar koreksi geometrik citra satelit resolusi menengah dan manfaat bagi pengguna. *Jurnal Standardisasi*. 21(1): 45-54.
- Master, J., Tjitrosoedirdjo, S.S., Qayim, I., Tjitrosoedirdjo, S. 2013. Ecological impact of *Merremia peltata* (L.) Merrill invasion on plant diversity at Bukit Barisan Selatan National Park. *Biotropia*. 20(1): 29-37.
- Master, J., Tjitrosoedirdjo, S., Qayim, I. 2016. Abiotic factors influencing mantangan (*Merremia peltata*) invansion in Bukit Barisan Selatan National Park. *Biotropia*. 23(1): 21-27.
- Muhlis., Fatmawati., Sappewali. 2022. *Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Kebencanaan Hidrometeorologi*. Azka Pustaka. Pasaman Barat. 123 hal.
- Nawangwulan, N.H., Sudarsono M.S., B., Sasmito, B. 2013. Analisis pengaruh perubahan lahan pertanian terhadap hasil produksi tanaman pangan di Kabupaten Pati tahun 2001 – 2011. *Jurnal Geodesi Undip*. 2(2): 127-140.

- Noraini, A., Sudiasa, I.N., Tjahjadi, M.E. 2021. Aplikasi metode object based image analysis (OBIA) untuk identifikasi atap bangunan. *Buletin Poltanesa*. 22(1): 61-65.
- Novianti, T.C. 2021. Klasifikasi landsat 8 OLI untuk tutupan lahan di Kota Palembang menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Swarnabhumi*. 6(1): 75-85.
- Noviar, H., Carolita, I., Cahyono, J.S. 2012. Uji akurasi training sampel berbasis objek citra Landsat di kawasan hutan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmiah Geomatika*. 18(2): 132-143.
- Parsa, M., Dirgahayu, D., Harini, S. 2019. Pengembangan metode klasifikasi lahan sawah berbasis indeks citra landsat multiwaktu. *Jurnal Penginderaan Jauh*. 16(1): 35-44.
- Pengembara, T., Master, J., Yulianti., Rustiati, E.L., Subiakto, A. 2014. Laju pertumbuhan mantangan (*Merremia peltata* L. Merr.) yang tumbuh melalui regenerasi vegetatif. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian*. Bandar Lampung, 24 Mei 2014: 133-139.
- Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.48 Tahun 2014 tentang *Tata Cara Pelaksanaan Pemulihan Ekosistem pada Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.7 Tahun 2016 tentang *Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Taman Nasional*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.94 Tahun 2016 tentang *Jenis Invasif*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 10 Tahun 2022 tentang *Penyusunan Rencana Umum Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai dan Rencana Tahunan Rehabilitasi Hutan dan Lahan*.
- Piriadi., Yunilisiah., Darubekti, N. 2021. Pantang larang sebagai unsur budaya pendukung konservasi Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *NiCMA: National Conference Multidisciplinary*. 1(1): 7-14.
- Prasetyo, N.N., Sasmito, B., Prasetyo, Y. 2017. Analisis perubahan kerapatan hutan menggunakan metode NDVI dan EVI pada citra satelit Landsat 8 tahun 2013 dan 2016 (area studi: Kabupaten Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*. 6(3): 21-27.
- Pratama, M.R., Riana, D. 2022. Klasifikasi penutupan lahan menggunakan Google Earth Engine dengan metode klasifikasi terbimbing pada wilayah Penajam Paser Utara. *Jurnal JUPITER*. 1(1): 637-650.

- Purwanto, E. 2016. *Strategi Anti-Perambahan di Tropical Rainforest Heritage of Sumatra: Menuju Paradigma Baru*. Tropenbos International Indonesia dan UNESCO. Bogor. 136 hal.
- Pusat Data dan Analisa Tempo. 2020. *Jejak Badak di Tanah Pribumi*. Tempo Publishing. Jakarta. 71 hal.
- Putra, B.S. 2022. Jenis tanaman invasif dan ancaman terhadap konservasi satwa di taman nasional. *Jurnal Natur Indonesia*. 20(1): 24-29.
- Putri, A.R., Purnamasari, R., Edwar. 2022. Perbandingan metode klasifikasi pemetaan tutupan lahan menggunakan algoritma machine learning pada citra satelit dengan Google Earth Engine. *e-Proceeding of Engineering*. Bandung, Desember 2022. 8(6): 3753-3762.
- Putri, R.A., Sibarani, R. 2023. Analisis tutupan lahan menggunakan Google Earth Engine dan citra landsat 8 OLI (studi kasus Kabupaten Belitung Timur). *Jurnal JUPITER*. 15(2): 1031-1042.
- Rijal, S., Barkey, R.A., Nursaputra, M., Ardiansyah, T., Syukur T., M.A., Radeng, A.K. 2019. *Penginderaan Jauh dalam Bidang Kehutanan*. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Makassar. 88 hal.
- Rini, M.S., Susatya, J. 2019. Pemanfaatan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk identifikasi ruang terbuka hijau di Kabupaten Klaten. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS X 2019*. Solo, 2019: 280-300.
- Santori., Duryat., Santoso, T. 2021. Kandungan hara pada mantangan (*Merremia peltata*) di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Silvikultur VII*. Bandar Lampung, 27 Oktober 2021: 220-223.
- Sari, K.M., Budiyanto, E., Muzayanah., Kurniawati, A. 2021. Ketersediaan ruang terbuka hijau menggunakan metode normalized difference vegetation index di Kabupaten Gresik. *Jurnal Geografi*. 29(1): 49-62.
- Sayfullloh, A., Riniarti, M., Santoso, T. 2020. Jenis-jenis tumbuhan asing invasif di Resort Sukaraja Atas, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 109-120.
- Simarmata, N., Wikantika, K., Tarigan, T.A., Aldyansyah, M., Tohir, R.K., Fauziah, A., Purnama, Y. 2021. Analisis transformasi indeks NDVI, NDWI dan SAVI untuk identifikasi kerapatan vegetasi mangrove menggunakan citra sentinel di pesisir timur Provinsi Lampung. *Jurnal Geografi*. 19(2): 69-79.
- Stuart, G.U. 2018. Bulakan. <http://www.stuartxchange.org/Bulakan>. Diakses pada Senin, 16 September 2024.

- Suhadi. 2009. Population dynamics of banteng, buffalo and deer in Bekol Savannah, Baluran National Park. *Biodiversitas*. 10(3): 139-145.
- Sukristiyanti., Wikantika, K., Sadisun, I.A., Yayusman, L.F., Narulita, I. 2021. Klasifikasi penggunaan lahan dengan algoritma random forest pada google earth engine (studi kasus: Cekungan Bandung). *Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2021: Inovasi Geospasial dalam Pengurangan Risiko Bencana*. 385-390.
- Supriyadi, R., Gata, W., Maulidah, N., Fauzi, A. 2020. Penerapan algoritma random forest untuk menentukan kualitas anggur merah. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Bisnis*. 13(2): 67-75.
- Suryono, H., Marsuhandi, A.H., Pramana, S. 2022. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan Random Forest algorithm menggunakan cloud computing platform. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*. 12(3): 1-12.
- Suyadi. 2011. Deforestation in Bukit Barisan Selatan National Park, Sumatra, Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*. 7(2): 195-206.
- Syah, T.H., Arbain. 2019. Penilaian *Sesbania sesban* sebagai spesies yang diduga invasif di daerah perkotaan Sangatta, Kalimantan Timur. *JIP: Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 24(4): 304-312.
- Tatisina, N.N., Siahaya, W.A., Haumahu, J.P. 2020. Transformasi indeks vegetasi citra Landsat 8 OLI untuk pemetaan musim tanam pada lahan sawah di Kabupaten Buru, Provinsi Maluku. *Jurnal Budidaya Pertanian*. 16(2): 197-205.
- Tatsumi, K., Yamashiki, Y., Torres, M.A.C., Taipe, C.L.R. 2015. Crop classification of upland fields using Random Forest of time-series Landsat 7 ETM+ data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 115: 171-179.
- Taufik, A., Ahmad, S.S.S., Ahmad, A. 2016. Classification of landsat 8 satellite data using NDVI thresholds. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*. 8(4): 37-40.
- Tjitrosoedirdjo, S., Tjitrosoedirdjo, S.S., Setyawati, T. 2016a. *Tumbuhan Invasif dan Pendekatan Pengelolaannya*. Seameo Biotrop. Bogor. 282 hal.
- Tjitrosoedirdjo, S., Setyawati, T., Sunardi., Subiakto, A., Irianto, R.S.B., Garsetiasih, R. 2016b. *Pedoman Analisis Risiko Tumbuhan Asing Invasif (Post Border)*. FORIS Indonesia. Bogor. 48 hal.
- Triscowati, D.W., Buana, W.P., Marsuhandi, A.H. 2021. Pemetaan potensi lahan jagung menggunakan citra satelit dan Random Forest pada cloud computing Google Earth Engine. *Seminar Nasional Official Statistics 2021*. 1: 1001-1011.

- Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang *Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya*.
- Usmadi, D., Hikmat, A., Witono, J.R., Prasetyo, L.B. 2015. Populasi kesesuaian habitat dan kesesuaian langkap (*Arenga obtusifolia* Mart.) di Cagar Alam Leuweung Sancang, Jawa Barat. *Jurnal Biologi Indonesia*. 11(2): 205-214.
- Valent, C.G., Subiyanto, S., Wahyudin, Y. 2021. Analisis pola dan arah perkembangan permukiman di wilayah Aglomerasi Perkotaan Yogyakarta (APY) (studi kasus: Kabupaten Sleman). *Jurnal Geodesi Undip*. 10(2): 78-87.
- Via, W.B., Mulatasih, E.R., Ardini, D. 2022. Identifikasi flavonoid daun mantangan (*Merremia peltata* (L.) Merr) dengan metode kromatografi lapis tipis. *Jurnal Analis Farmasi*. 7(1): 102-118.
- Widhaningtyas, T.U., Putra, A.C.P., Fariz, T.R. 2020. Perbandingan metode koreksi topografi pada citra satelit Landsat 8 di Wilayah Gunung Telomoyo, Jawa Tengah. *Jurnal Geografi*. 17(2): 32-38.
- Wulandari, N., Sunaryo, D.K., Yulianandha M., A. 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). *Disertasi Doktorat*. Institut Teknologi Nasional Malang. Malang.
- Wulansari, H. 2017. Uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan menggunakan metode defuzzifikasi maximum likelihood berbasis citra ALOS AVNIR-2. *Bhumi*. 3(1): 98-110.
- Yansen., Hidayat, M.F. 2014. Pendugaan biomassa individu dan analisis citra Landsat lahan hutan terpapar spesies liana invasif *Merremia peltata* di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis*. 2(3): 272-277.
- Yansen., Wiryono., Deselina., Hidayat, M.F., Depari, E.K. 2013. The expansion of *Merremia peltata* (L.) Merrill in fragmented forest of Bukit Barisan Selatan National Park enhanced by its ecophysiological attributes. *Biotropia*. 22(1): 25-32.
- Yudistira, R., Meha, A.I., Prasetyo, S.Y.J. 2019. Perubahan konversi lahan menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada citra Landsat 8 (studi kasus : Kota Salatiga). *ICM: Indonesian Journal of Computing and Modeling*. 2(1): 25-30.