

Perpus 5

21586 - skripsi setelah sidang

 10 AGUSTUS 2026

 CEK TURNITIN

 INSTIPER

Document Details

Submission ID

trn:oid::1:3625159753

Submission Date

Aug 10, 2026, 9:27 AM GMT+7

Download Date

Aug 10, 2026, 9:32 AM GMT+7

File Name

SKRIPSI_TEGUH_PRIBADI_REV_6_Agustus_2026.docx

File Size

2.0 MB

41 Pages

7,605 Words

49,490 Characters

28% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 27%  Internet sources
- 9%  Publications
- 8%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 27%  Internet sources
- 9%  Publications
- 8%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	jurnal.unpad.ac.id	7%
2	Internet	jptam.org	4%
3	Internet	repository.its.ac.id	3%
4	Student papers	Rhodes University	1%
5	Internet	docplayer.info	<1%
6	Internet	digilib.unila.ac.id	<1%
7	Internet	repo.unwim.ac.id	<1%
8	Internet	nanopdf.com	<1%
9	Internet	text-id.123dok.com	<1%
10	Internet	eprints.undip.ac.id	<1%
11	Internet	ijcs.stmikindonesia.ac.id	<1%

12	Internet	repository.pertanian.go.id	<1%
13	Internet	123dok.com	<1%
14	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
15	Internet	idoc.tips	<1%
16	Publication	Adinda Nina. "EFEKTIFITAS DRONE SEBAGAI MEDIA PENGINDERAAN JAUH UNTUK ...	<1%
17	Internet	adoc.pub	<1%
18	Internet	repository.uinsu.ac.id	<1%
19	Internet	eprints.itenas.ac.id	<1%
20	Student papers	Universitas Muhammadiyah Makassar	<1%
21	Student papers	UIN Ar-Raniry	<1%
22	Internet	eprints.instiperjogja.ac.id	<1%
23	Internet	scholar.unand.ac.id	<1%
24	Internet	ehp.niehs.nih.gov	<1%
25	Student papers	Sriwijaya University	<1%

26	Internet	www.infosawit.com	<1%
27	Student papers	Politeknik Negeri Jember	<1%
28	Publication	Yunus Musa, Muh. Farid, Muhammad Fuad Anshori, Muhammad Farid Maricar e...	<1%
29	Publication	Andik Isdianto, Wahyudi Citrosiswoyo, Kriyo Sambodho. "Zonasi Wilayah Pesisir A...	<1%
30	Internet	eprints.walisongo.ac.id	<1%
31	Internet	www.juragandesa.net	<1%
32	Internet	www.scribd.com	<1%
33	Internet	anyflip.com	<1%
34	Internet	grosirminyakgorengkelapa.blogspot.com	<1%
35	Internet	repositori.uin-alaudidin.ac.id	<1%
36	Internet	repository.itsi.ac.id	<1%
37	Internet	ejournal.stiesia.ac.id	<1%
38	Internet	es.scribd.com	<1%
39	Internet	garuda.kemdiktisaintek.go.id	<1%

40	Internet	media.neliti.com	<1%
41	Internet	new.perkebunan.litbang.pertanian.go.id	<1%
42	Internet	eprints.polbeng.ac.id	<1%
43	Internet	repo.uho.ac.id	<1%
44	Publication	Muhammad Ilham Bakhtiar, Rizal Bakri, Syarifah Halifah, Sitti Nurintan. "Tren, Pe...	<1%
45	Publication	Rahmat Sobirin Harahap, Ridwan Ridwan, Sasongko Aji Wibowo, Sandi Asmara. "...	<1%
46	Student papers	Universitas Diponegoro	<1%
47	Internet	ejurnal.its.ac.id	<1%
48	Internet	eprints.perbanas.ac.id	<1%
49	Internet	garuda.kemdikbud.go.id	<1%
50	Internet	id.123dok.com	<1%
51	Internet	jgrs.eng.unila.ac.id	<1%
52	Internet	journal.student.uny.ac.id	<1%
53	Internet	jurnal.untan.ac.id	<1%

54	Internet	repository.ump.ac.id	<1%
55	Internet	repository.unbari.ac.id	<1%
56	Publication	Muh Faisal Mappiasse, Muliana Djafar, Reza Asra. "Distribution of mangrove heal...	<1%
57	Internet	repository.uin-suska.ac.id	<1%
58	Publication	S. M. Sukmahati, A. A. Wibowo, A. N. Anna, M. A. Trisnanto. "Analysis of the health...	<1%
59	Internet	www.teknikpembibitankelapasawit.blogspot.com	<1%

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Provinsi Sumatera Utara menempati posisi strategis sebagai salah satu produsen kelapa sawit utama di Indonesia, dengan sektor perkebunan yang berperan sebagai motor penggerak perekonomian regional. PT. Bakrie Sumatera Plantations merupakan salah satu entitas pelaku usaha perkebunan kelapa sawit yang signifikan di wilayah ini. Berdasarkan laporan tahunan PT. Bakrie Sumatera Plantations tahun 2025, perusahaan memiliki total luas area tertanam kelapa sawit sebesar 54.828 hektare. Kinerja perusahaan menunjukkan tren yang positif, di mana produksi kelapa sawit meningkat sebesar 5,23% pada tahun 2024 dibandingkan tahun 2023, kemudian kembali meningkat sebesar 4,46% pada tahun 2025 dibandingkan tahun 2024. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa komoditas kelapa sawit tetap menjadi pilar penting yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian perusahaan, daerah, maupun nasional. Meskipun demikian, produktivitas tanaman kelapa sawit tetap dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama kondisi kesehatan tanaman, sehingga diperlukan upaya pemantauan kesehatan tanaman secara cepat, akurat, dan berkelanjutan untuk mendukung pengelolaan perkebunan yang lebih efektif.

Pemasalahan yang ditemukan dalam industri kelapa sawit Indonesia cukup kompleks sehingga menyebabkan rendahnya produktivitas perkebunan kelapa sawit, seperti yang terjadi di PT. Bakrie Sumatera Plantations. Salah satu faktor penurunan produktivitas perkebunan kelapa sawit disebabkan oleh masalah kesehatan kelapa sawit yang terkena serangan hama dan penyakit. Untuk memperbaiki perkebunan kelapa sawit dari serangan hama dan penyakit dapat dilakukan dengan penyemprotan insektisida pada tanaman kelapa sawit. Perkebunan kelapa sawit umumnya memiliki luas lahan yang sangat besar, sehingga metode penyemprotan insektisida secara manual menjadi kurang efektif untuk diterapkan. Oleh karena itu, proses penyemprotan insektisida biasanya dilakukan menggunakan mesin penyemprot udara. Dalam pelaksanaannya, diperlukan identifikasi kesehatan tanaman kelapa sawit agar dapat diketahui area yang benar-benar membutuhkan penyemprotan insektisida. Untuk tujuan tersebut,

teknologi penginderaan jauh dapat dimanfaatkan dalam proses pemantauan kesehatan tanaman kelapa sawit.

Teknologi penginderaan jauh melalui pengolahan data citra satelit memungkinkan pemantauan kesehatan tanaman kelapa sawit secara cepat, luas, tepat, mudah, dan efisien dengan menyediakan informasi spasial permukaan bumi (Liu *et al.*, 2003). Pengolahan data citra satelit untuk pemantauan kesehatan tanaman dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

Penelitian oleh Kawamuna *et al.* (2017) mengenai analisis kesehatan hutan mangrove menggunakan metode klasifikasi NDVI pada citra Sentinel-2 menunjukkan bahwa tingkat kesehatan tanaman dapat dianalisis berdasarkan nilai kerapatan vegetasi. Penelitian tersebut menghasilkan nilai *overall accuracy* sebesar 0,99, sehingga memenuhi standar akurasi yang baik. Selain itu, Pangestu *et al.* (2023) melakukan penelitian pemetaan kesehatan kebun kelapa sawit menggunakan indeks vegetasi NDVI dari citra Landsat-8 Level-2 untuk menilai tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit.

Penelitian ini mengimplementasikan data Citra Satelit Sentinel-2 melalui penerapan metode *Normalized Difference Vegetation Index*. Sebagai instrumen indeks vegetasi yang mapan, NDVI berperan krusial dalam mengevaluasi serta memantau kondisi tanaman (Cahyono *et al.*, 2019; Yuniasih, 2017). Metode ini mendayagunakan parameter kerapatan serta tingkat kehijauan vegetasi, di mana intensitas kehijauan merepresentasikan kapasitas fotosintesis yang dipengaruhi oleh tutupan vegetasi di permukaan tanah. Nilai indeks NDVI yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kerapatan dan status kesehatan tanaman kelapa sawit. Secara spesifik, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dalam penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit di areal PT. Bakrie Sumatera Plantations.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi spasial kesehatan tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantation menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pada Citra Satelit Sentinel-2?
2. Bagaimana hasil analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) terhadap data produksi tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi distribusi spasial kesehatan tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantation menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pada Citra Satelit Sentinel-2.
2. Menganalisis perbandingan hasil analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) terhadap data produksi tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu penginderaan jauh, khususnya dalam pemanfaatan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berbasis citra satelit Sentinel-2 untuk mengidentifikasi distribusi spasial kesehatan tanaman kelapa sawit secara ilmiah dan terukur.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar informasi bagi pengelola perkebunan dalam memahami hubungan antara nilai NDVI dengan tingkat produksi tanaman kelapa sawit, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam pemantauan kondisi tanaman dan pengambilan keputusan pengelolaan kebun secara lebih efektif dan berbasis data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Biologi Kelapa Sawit

Klasifikasi tanaman kelapa sawit adalah sebagai berikut:

Divisi : Embryophyta Siphonagama

Kelas : Angiospermae

Ordo : Monocotyledonae

Famili : Arecaceae (dahulu disebut Palmae)

Subfamili : Cocoideae

Genus : *Elaeis*

Spesies : *Elaeis guineensis* Jacq. (Pahan, 2012)

Sebagai vegetasi monokotil, kelapa sawit ditopang oleh sistem perakaran serabut. Ketika masih berbentuk bibit, radikula atau bakal akarnya bakal memanjang ke bawah secara konstan selama setengah tahun hingga panjangnya menyentuh angka 15 meter. Perkembangan akar utama ini berlangsung secara kontinu, di mana strukturnya tersusun atas serabut primer yang menjalar secara vertikal ke dalam bumi serta horizontal ke arah samping. Nantinya, serabut utama tersebut membelah menjadi akar sekunder yang mengarah ke atas maupun ke bawah, yang kemudian terus membelah lagi menjadi akar tersier secara berkesinambungan. Adapun daya jangkau penetrasi akar tanaman ini mampu menembus kedalaman 8 sampai 16 meter secara tegak lurus (Corley & Tinker, 2016).

Secara umum, struktur batang kelapa sawit tidak memperlihatkan adanya percabangan. Saat melewati fase awal setelah masa bibit, orientasi pertumbuhannya cenderung melebar ke samping tanpa dibarengi oleh pemanjangan pada bagian ruas atau internodia. Pusat pertumbuhan dari batang kelapa sawit berada di area pucuk yang tersembunyi di balik rimbunnya tajuk dedaunan, memiliki karakteristik menyerupai kubis, serta dapat dikonsumsi (Mangoensoekarjo & Semangun, 2008).

Bagian batang kelapa sawit dipenuhi oleh dasar pelepah daun yang menempel secara kuat, sehingga sangat sulit terpisah meski kondisinya sudah mengering maupun mati. Ketika tanaman memasuki usia tua, sisa-sisa pangkal pelepah yang menempel tersebut lambat laun bakal rontok dengan sendirinya, sehingga

memunculkan kenampakan fisik batang yang hitam dan beruas-ruas (Corley & Tinker, 2016).

Struktur daun atau frond pada kelapa sawit memiliki kemiripan visual dengan bentuk bulu unggas. Pada area pangkal pelepahnya, terdapat dua lajur duri yang bertekstur sangat keras dan tajam di kedua belah sisinya. Sementara itu, bagian anak daun (foliage leaflet) berjejer secara ganda hingga mencapai bagian ujung, dengan tulang daun berupa lidi yang mencuat tepat di bagian tengah setiap helai anak daun (Corley & Tinker, 2016).

Memasuki usia tiga tahun, kelapa sawit mulai dikategorikan matang secara reproduktif dan mengawali pembuatan organ sungsang berupa bunga jantan maupun betina. Modifikasi bunga jantan cenderung berbentuk oval memanjang, kontras dengan bunga betina yang berbentuk cenderung bundar. Mekanisme fertilisasi tanaman ini mengandalkan sistem perkawinan silang (*cross pollination*) (Mangoensoekarjo & Semangun, 2008). Proses ini mengindikasikan bahwa sel telur pada bunga betina di satu individu pohon akan dibuahi oleh serbuk sari dari bunga jantan di pohon berbeda melalui bantuan angin atau agen serangga penyerbuk.

Komponen buah kelapa sawit terbagi atas beberapa lapisan, meliputi kulit luar yang halus namun kaku (epicarp), daging buah berserat penghasil minyak (mesocarp), serta batok atau cangkang hitam bertekstur keras (endocarp). Di bagian terdalam, terdapat inti biji berwarna putih yang kaya akan kandungan minyak (endosperm), serta bakal tanaman baru atau embrio (Pahan, 2012).

Lembaga (*embryo*) yang keluar dari kulit biji akan berkembang ke dua arah, yaitu: (Pahan, 2012)

1. Arah tegak lurus ke atas (*phototropy*), disebut dengan plumula yang selanjutnya akan menjadi batang dan daun
2. Arah tegak lurus ke bawah (*geotrophy*) disebut dengan radikula yang selanjutnya akan menjadi akar.

Bagian plumula tidak akan muncul sebelum pertumbuhan radikula mencapai panjang kurang lebih 1 cm. Selanjutnya, jajaran akar adventif awal bakal keluar pada area cincin yang terletak di atas batas sambungan antara radikula dan hipokotil, yang kemudian memicu pembentukan sistem perakaran sekunder mendahului kemunculan

daun pertama. Proses pematangan diri bagi kecambah kelapa sawit ini memakan waktu kurang lebih 3 bulan hingga akhirnya menjelma sebagai organisme mandiri yang sanggup berfotosintesis sekaligus menyerap unsur hara dari media tanam.

Pada fase awal, buah yang masih sangat muda akan memperlihatkan kelir hijau pucat. Seiring bertambahnya usia, gradasi warnanya bergeser menjadi hijau gelap, lalu bertransformasi menjadi kuning terang, dan puncaknya saat masak akan berwarna merah kekuningan (oranye). Ketika kondisi warna oranye ini tercapai, buah kelapa sawit bakal mulai lepas dari tandannya dan berguguran ke tanah (dikenal sebagai buah leles).

Karakteristik dimensi serta berat biji sangat dipengaruhi oleh masing-masing varietas kelapa sawit. Sebagai contoh, varietas dura afrika mempunyai ukuran panjang berkisar antara 2 hingga 3 cm dengan massa rata-rata 4 gram, yang berarti terdapat sekitar 250 butir biji dalam setiap 1 kilogramnya. Sementara itu, varietas dura deli mempunyai bobot mencapai 13 gram per butir, berbeda dengan varietas tenera afrika yang bobot rata-ratanya hanya berkisar di angka 2 gram per butir. Pada umumnya, benih kelapa sawit melewati fase dormansi atau periode tidak aktif terlebih dahulu. Proses perkecambahan alami tanpa bantuan bisa memakan waktu di atas setengah tahun dengan rasio keberhasilan hanya di kisaran 50%. Oleh sebab itu, demi mengakselerasi waktu bertunas sekaligus mendongkrak persentase keberhasilannya, benih kelapa sawit wajib diberikan perlakuan khusus terlebih dahulu (pre-treatment).



Gambar 1 Kurva Sigmoid Kelapa Sawit

Kurva ini dibagi menjadi tiga fase utama: fase lag, fase eksponensial, dan fase stasioner. Pada fase lag (0–5 tahun), pertumbuhan tanaman relatif lambat karena tanaman masih dalam tahap adaptasi terhadap lingkungan dan membangun sistem perakaran yang kuat. Biomassa relatif baru mencapai sekitar 5–20% dari potensi maksimum pada fase ini, sehingga produktivitas tandan buah segar (TBS) masih sangat rendah atau belum ada.

Selanjutnya, pada fase eksponensial (5–15 tahun), pertumbuhan tanaman meningkat dengan cepat. Kurva menunjukkan kenaikan biomassa relatif yang signifikan dari sekitar 20% menjadi 80–90%. Fase ini mencerminkan periode tanaman mulai berproduksi secara optimal, dengan produktivitas TBS yang terus meningkat setiap tahunnya. Faktor yang memengaruhi percepatan ini antara lain ketersediaan nutrisi, kesesuaian lahan, iklim, dan praktik pemeliharaan yang baik. Pada fase ini, tanaman mulai memasuki puncak produktivitasnya.

Pada fase stasioner (15–30 tahun), kurva melandai dan pertumbuhan biomassa relatif mendekati 100%, menunjukkan bahwa tanaman sudah mencapai kematangan penuh. Pada periode ini, produktivitas sawit berada pada puncak dan kemudian cenderung menurun seiring bertambahnya usia tanaman. Penurunan produktivitas bisa disebabkan oleh faktor fisiologis seperti penurunan kemampuan fotosintesis, serangan hama dan penyakit, atau kondisi lahan yang mulai menurun. Fase ini

menandakan pentingnya pengelolaan kebun yang berkelanjutan dan peremajaan tanaman untuk mempertahankan efisiensi produksi.

Tabel 1 Produktivitas Kelapa Sawit Berdasarkan Umur dan Fase Pertumbuhan

Umur Tanaman (tahun)	Fase Pertumbuhan	Produktivitas TBS (ton/ha/th)
0	Lag	0
1	Lag	0
2	Lag	0
3	Lag	1
4	Lag	3
5	Lag → Ekspansional	5
6	Ekspansional	10
7	Ekspansional	15
8	Ekspansional	20
9	Ekspansional	25
10	Ekspansional	30
11	Ekspansional	33
12	Ekspansional	36
13	Ekspansional	38
14	Ekspansional	40
15	Ekspansional → Stasioner	42
16	Stasioner	43
17	Stasioner	44
18	Stasioner	44
19	Stasioner	43
20	Stasioner	42
22	Stasioner	40
25	Stasioner	38
28	Stasioner	35
30	Stasioner	32

5

B. Kesehatan Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan tanaman tropis yang tumbuh di daerah dengan iklim panas. Kesehatan tanaman kelapa sawit merupakan komponen penting dalam menunjang produktivitas tanaman dan keberlanjutan produksi. Pemantauan kesehatan kelapa sawit memberikan informasi distribusi kesehatan tanaman, luas lahan pertanian maupun potensi produksi sehingga dapat membantu pengelolaan perkebunan kelapa sawit (Pramono, 2012).

Kesehatan tanaman kelapa sawit dapat diketahui melalui dua pendekatan utama, yaitu metode terestris (pengamatan lapangan) dan metode penginderaan jauh. Secara terestris, kesehatan kelapa sawit tidak hanya dilihat dari warna daun, tetapi juga dari berbagai indikator morfologi dan fisiologi tanaman, seperti kondisi pelepah, tingkat kehijauan dan kekilapan daun, keseragaman diameter batang, panjang dan lebar pelepah, serta keberadaan gejala serangan hama dan penyakit. Metode ini memiliki tingkat ketelitian yang tinggi karena dilakukan secara langsung di lapangan, namun memerlukan waktu yang relatif lama serta sumber daya manusia yang besar.

Pendekatan lain yang dapat digunakan adalah penginderaan jauh, yang memanfaatkan respon spektral tajuk tanaman kelapa sawit hasil interaksi antara sensor satelit dan objek di permukaan bumi. Informasi kesehatan tanaman diperoleh dari nilai piksel citra yang kemudian diolah menggunakan indeks vegetasi, seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Metode penginderaan jauh memungkinkan pemantauan kesehatan tanaman kelapa sawit secara cepat, luas, dan efisien dengan kebutuhan sumber daya yang lebih sedikit. Namun demikian, tingkat akurasi hasil pengamatan sangat dipengaruhi oleh resolusi citra, kondisi atmosfer, serta metode pengolahan data yang digunakan (Hazrina & Risdiyanto, 2018).

Citra multispektral memberikan informasi gelombang yang tampak oleh mata manusia (pita RGB) dan gelombang yang tidak tampak (pita near-infrared). Fitur pada citra multispectral juga dapat memberikan informasi indeks vegetasi suatu objek melalui fitur turunannya (Y.-L. Hou *et al.*, 2017).

Sensor multispektral yang diperoleh dengan menggunakan UAV telah diimplementasikan untuk mendeteksi kanopi dan ketinggian pohon secara

otomatis. Citra multispektral banyak digunakan di bidang pertanian dan perkebunan karena dapat digunakan untuk menghitung indeks vegetasi pada objek di permukaan bumi. Salah satu fitur turunan dari citra multispectral adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetage Index*), yaitu kombinasi matematis antara redband dan infraredband (Hao *et al.*, 2021).

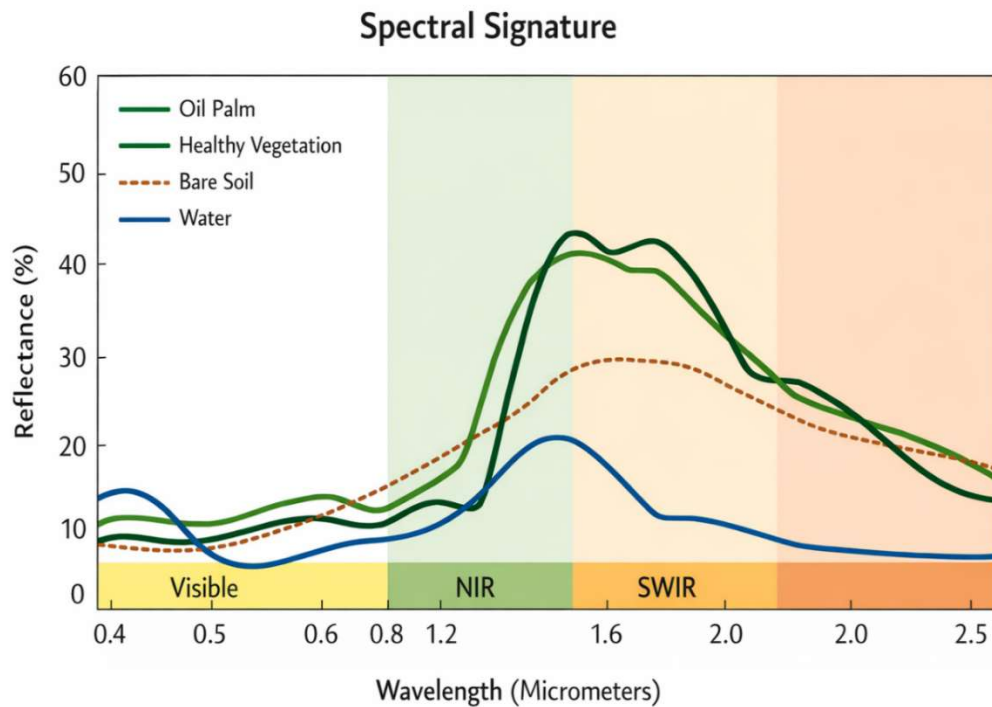
C. Penginderaan Jauh

Mather (dalam Somantri, 2008) menyatakan bahwa aktivitas penginderaan jauh mencakup proses mengukur sekaligus mendokumentasikan energi elektromagnetik yang dipantulkan oleh lapisan atmosfer serta area permukaan bumi pada lokasi-lokasi spesifik.

Sementara itu, pandangan dari Lillesand *et al.* (2004) menjabarkan penginderaan jauh sebagai suatu disiplin ilmiah sekaligus seni untuk menghimpun data terkait suatu gejala, benda, maupun wilayah. Proses ini dilakukan melalui metode pemrosesan data yang diperoleh menggunakan instrumen tertentu tanpa melibatkan adanya sentuhan fisik dengan target, area, atau gejala yang sedang diteliti. Mekanisme kerja penginderaan jauh disokong oleh empat elemen utama, antara lain objek sasaran, asal energi, jalur transmisi, dan juga sensor. Asal energi ini bertindak sebagai sarana pembawa data dari target menuju sensor, sementara sensor itu sendiri bertugas mengumpulkan sekaligus mendokumentasikan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ataupun dipantulkan kembali oleh objek. Dokumen data yang ditangkap oleh sensor didasarkan pada variasi tingkat pantulan energi elektromagnetik dari tiap-tiap benda di atas permukaan bumi. Keberagaman nilai pantulan inilah yang kemudian ditangkap oleh sensor, diidentifikasi sebagai benda yang berlainan, lalu divisualisasikan dalam bentuk produk citra.

Selanjutnya, produk citra tersebut bakal melewati tahap penafsiran guna mengekstrak data mengenai target yang sedang ditinjau (Ramadianto, 2014). Secara umum, mekanisme penginderaan jauh dikelompokkan menjadi dua kategori, yakni metode fotografik dan metode non-fotografik. Metode fotografik dinilai unggul berkat karakteristiknya yang praktis, ekonomis, serta menghasilkan visual yang bagus. Di sisi lain, metode elektronik (non-fotografik) menawarkan kelebihan yang jauh lebih masif dan akurat dalam mengidentifikasi perbedaan objek, serta memiliki

durasi pengolahan yang relatif singkat lantaran memanfaatkan komputasi komputer.



Gambar 2 *Spectral Signature*

Gambar *spectral signature* pada gambar 2 menggambarkan pola pantulan spektral (*reflectance*) beberapa penutup lahan—yaitu kelapa sawit, vegetasi sehat, tanah terbuka, dan badan air—pada berbagai panjang gelombang elektromagnetik, mulai dari wilayah *visible* (tampak), *near infrared* (NIR), hingga *shortwave infrared* (SWIR). Pada wilayah *visible* ($\pm 0,4$ – $0,7$ μm), objek vegetasi termasuk kelapa sawit menunjukkan nilai reflektansi yang relatif rendah dibandingkan tanah terbuka, terutama pada panjang gelombang merah, karena klorofil menyerap energi cahaya untuk proses fotosintesis. Sebaliknya, badan air memiliki reflektansi paling rendah di hampir seluruh spektrum, karena sifat air yang menyerap sebagian besar radiasi elektromagnetik. Tanah terbuka menunjukkan pola reflektansi yang lebih stabil dan meningkat secara bertahap seiring bertambahnya panjang gelombang, yang mencerminkan minimnya kandungan klorofil dan struktur tajuk.

Perbedaan yang paling mencolok terlihat pada wilayah NIR, di mana vegetasi sehat dan kelapa sawit menunjukkan lonjakan reflektansi yang tinggi. Hal ini

disebabkan oleh struktur internal daun yang memantulkan radiasi inframerah dekat secara kuat, sehingga semakin sehat dan rapat tajuk tanaman, semakin tinggi nilai reflektansinya. Pada wilayah SWIR, reflektansi vegetasi mulai menurun karena pengaruh kandungan air dalam daun, sementara tanah terbuka cenderung memiliki reflektansi yang lebih tinggi dan stabil. Pola perbedaan respon spektral inilah yang menjadi dasar penggunaan indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang memanfaatkan kontras antara pita merah (red) dan inframerah dekat (NIR) untuk mengidentifikasi dan memetakan tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit secara spasial menggunakan citra satelit Sentinel-2.

D. Citra Satelit Sentinel – 2

Citra satelit Sentinel-2 merupakan citra satelit multispektral dengan resolusi sedang yang dapat digunakan untuk memonitor tutupan lahan seperti vegetasi, tanah, dan air. Terdapat empat bands dengan resolusi spasial sepuluh meter, enam bands dengan resolusi spasial 20 meter, dan tiga bands dengan resolusi spasial 60 meter (Kurniawan *et al.*, 2021).

Pada wilayah spektrum tampak yang meliputi panjang gelombang biru, hijau, dan merah, vegetasi memperlihatkan nilai reflektansi yang relatif rendah akibat penyerapan energi oleh klorofil untuk proses fotosintesis, khususnya pada pita merah. Sebaliknya, tanah terbuka menunjukkan reflektansi yang cenderung meningkat secara bertahap seiring bertambahnya panjang gelombang, sedangkan badan air memiliki nilai reflektansi yang sangat rendah karena sifat air yang menyerap sebagian besar radiasi elektromagnetik. Perbedaan karakteristik respon spektral ini memungkinkan pemisahan objek secara efektif pada citra satelit.

Perbedaan respon spektral yang paling signifikan terlihat pada wilayah inframerah dekat (NIR), di mana vegetasi sehat dan kelapa sawit memiliki reflektansi yang tinggi akibat struktur internal daun yang memantulkan radiasi NIR. Karakteristik ini menjadi dasar penggunaan indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dalam pemantauan kesehatan tanaman. Pada citra satelit Sentinel-2, pita biru, hijau, merah, dan inframerah dekat memiliki resolusi spasial 10 meter, sehingga mampu merepresentasikan variasi kondisi tajuk kelapa sawit secara cukup detail pada skala kebun. Selain itu, Sentinel-2 memiliki

resolusi radiometrik 12-bit, yang memungkinkan perekaman variasi intensitas pantulan spektral secara lebih sensitif. Sentinel-2 juga memiliki resolusi temporal 10 hari, yang berarti satelit merekam data pada lokasi yang sama setiap 10 hari, sehingga sangat mendukung pemantauan kesehatan tanaman kelapa sawit secara periodik dan berkelanjutan (U.S. Department of the Interior, 2018).

Citra satelit Sentinel-2 merupakan citra satelit yang telah dilakukan koreksi radiometrik dan geometrik secara sistematis oleh pihak Sentinel (Oktaviani & Kusuma, 2017).

Tabel 2 Karakteristik Citra Sentinel-2

Band	Panjang Gelombang	Resolusi Spasial (m)
Band 1 – Coastal Aerosol	0,443	60
Band 2 – Blue	0,490	10
Band 3 – Green	0,560	10
Band 4 – Red	0,665	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	0,705	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	0,740	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	0,783	20
Band 8 – NIR	0,842	10
Band 8A – Vegetation Red Edge	0,865	20
Band 9 – Water Vapour	0,945	60
Band 10 – SWIR - Cirrus	1,375	60
Band 11 – SWIR	1,610	20
Band 12 – SWIR	2,190	20

Sumber: (ESA, 2016 dalam Arizal kawamuna *et al*, 2017)

E. Transformasi Index NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

NDVI merupakan salah satu produk standar *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), satelit cuaca yang berorbit polar namun memberikan perhatian khusus pada fenomena global vegetasi dan cuaca (Lonita, 2015). Dengan memahami perbedaan intensitas radiasi tenaga elektromagnetik yang dipantulkan dan dipancarkan maka akan dapat diidentifikasi jenis pohon, tegalan hutan, umur, kesehatan, kerapatan dan tekanan kelembapan dari suatu kelompok tumbuhan (Fanani, 1992 dalam Kawamuna *et al*, 2017).

Indeks vegetasi menggambarkan tingkat kehijauan tumbuhan yang merupakan kombinasi matematis dari antara band merah dan band *Near Infrared Radiation* (NIR) yang digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi tumbuhan. Algoritma NDVI didapat dari rasio antara band inframerah dekat dan band merah dari citra penginderaan jauh, dengan begitu indeks “kehijauan” tanaman sawit dapat ditentukan. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah indeks rasio yang paling sering digunakan untuk vegetasi. NDVI dapat dihitung berdasarkan per-pixel dari selisih normalisasi antara band inframerah dekat dan band merah pada citra.

Di bawah ini merupakan formula untuk menghitung NDVI (Tucker, 1986, dalam Danoedoro, 1996, dalam Prasetyo, 2017).

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

Keterangan:

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : Band *infrared* dekat

RED : Band merah

Tabel 3 Klasifikasi NDVI

Rentang Klasifikasi	Kerapatan	Vegetasi
-1 – 0	Awan, Badan Air, Nonvegetasi	-
0 – 0,25	Vegetasi Jarang	Pemukiman, Lahan Kosong
0,25– 0,55	Cukup Rapat	Sawah, Tegalan
0,55– 0,78	Rapat	Sawah, Semak Belukar
0,78 – 1	Sangat Rapat	Hutan

Peta NDVI kebun kelapa sawit yang diperoleh kemudian direklasifikasi berdasarkan kelas kerapatan tanaman kelapa sawit di dalam blok kebun. Klasifikasi kelas kerapatan dikelaskan berdasarkan Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor P.12/Menhut-II/2012 seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Klasifikasi kerapatan tanaman berdasarkan indeks NDVI

Kerapatan Tanaman	Nilai NDVI
Rendah	-1,00 s.d 0,32
Sedang	0,32 s.d 0,42
Tinggi	0,42 s.d 1,00

Sumber : (Peraturan Menteri Kehutanan RI Nomor P.12/MenhutII/2012)

Indeks ini memiliki kisaran nilai dari -1 sampai 1 (Arhatin, 2007). Awan, air dan objek non-vegetasi yang mempunyai nilai NDVI kurang dari nol. Jika nilai indeks lebih tinggi berarti penutupan vegetasi tersebut lebih sehat (Lillesand dan Kiefer, 1990).

Tabel 5 Pembagian kelas kesehatan tanaman sawit berdasarkan nilai NDVI

Kelas Kesehatan Tanaman	Kisaran Nilai NDVI
Kesehatan Kurang	0,11 – 0,22
Kesehatan Sedang	0,22 – 0,42
Kesehatan Baik	0,42 – 0,92

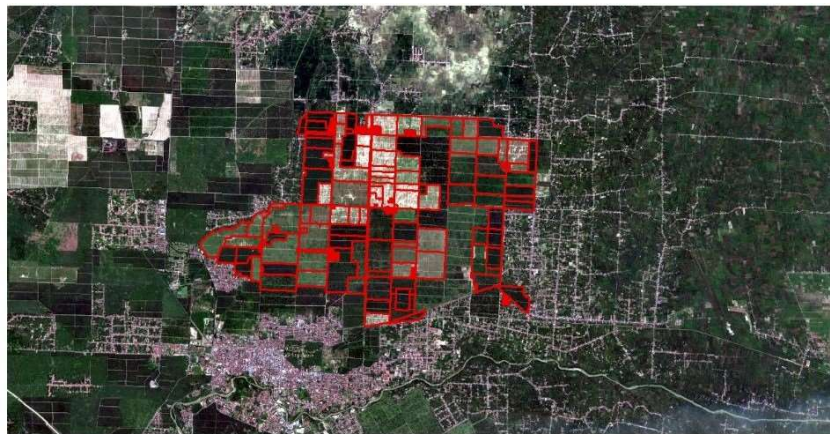
(Sumber: Rahaldi, 2013 dalam Setyowati & Murti, 2015)

Pembagian tingkat kesehatan tanaman menggunakan Tabel 5 karena tanaman dikatakan subur apabila tanaman tersebut memiliki batang dan daun yang segar menurut (Adinugroho, 2008 dalam Setyowati & Murti, 2015).

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di area PT. Bakrie Sumatera Plantations. Wilayah penelitian berada di Kabupaten Asahan, Sumatera Utara. Secara geografis, Kabupaten Asahan terletak di antara $02^{\circ}30'00''$ – $03^{\circ}10'00''$ LU dan $99^{\circ}01'00''$ – $100^{\circ}00'00''$ BT. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2025.



Gambar 3 Lokasi Penelitian
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

B. Alat dan Bahan

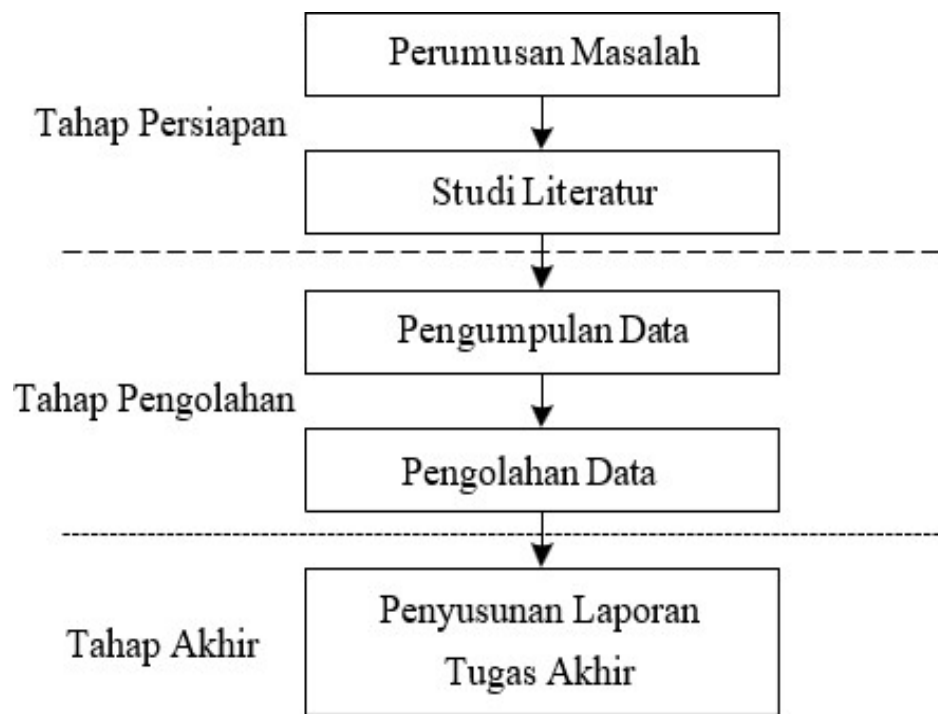
Alat yang digunakan diklasifikasikan menjadi dua kategori, yakni perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan untuk penelitian meliputi *laptop* dan *smartphone*. Sementara itu, perangkat lunak yang digunakan terdiri dari ArcMap 10.8 untuk analisis data, serta Microsoft Word dan Microsoft Excel untuk pengolahan data dan penyusunan laporan. Adapun bahan-bahan yang dikumpulkan dan dianalisis dalam penelitian ini meliputi *basemap* area Perkebunan Kelapa Sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kabupaten Asahan skala 1:25.000, dan Citra Satelit Sentinel-2A hasil perekaman tanggal 19 Juli 2025. Selain data spasial tersebut, penelitian ini juga menggunakan data Produksi Tanaman Kelapa Sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations periode tahun 2025.

C. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, dibawah ini merupakan penjelasan tahapan penelitian yang dilakukan :

1. Tahap Penelitian

Berikut merupakan diagram alir tahapan pelaksanaan dari penelitian yang dilakukan



Gambar 4 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Penjelasan diagram alir tahap pelaksanaan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Tahap Persiapan

1. Identifikasi Masalah

Tahap awal pada penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah dan penetapan tujuan dari pekerjaan penelitian yang akan dilaksanakan. Pada tahap identifikasi masalah juga dilakukan perumusan masalah, penjabaran latar belakang yang mendorong permasalahan terkait untuk dikaji dalam penelitian ini, penentuan batasan-batasan dari permasalahan yang dikaji, dan penjabaran manfaat yang akan diberikan dari penelitian. Studi Literatur merupakan tahap dimana pelaksana mempelajari lebih lanjut masalah yang akan diteliti dalam tugas akhir seperti

3 mengumpulkan informasi terkait data-data yang diperlukan dalam penelitian. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penginderaan jauh, kelapa sawit, metode, dan literatur pendukung lainnya.

3 2. Pengumpulan Data

3 Pengumpulan data merupakan pengadaan data yang akan digunakan dalam penelitian dan pendukung dalam penelitian, antara lain: Citra Satelit Sentinel- 2, basemap batas perkebunan kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations dan peta RBI Kabupaten Asahan.

18 b. Tahap Pengolahan Data

3 Pengolahan data merupakan tahap dimana pelaksana memproses data-data yang telah dikumpulkan menjadi suatu hasil akhir sesuai dengan masalah yang diteliti dan tujuan penelitian yang ingin dicapai dengan menggunakan perangkat pengolahan data tertentu. Pada tahap ini, pengolahan data dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

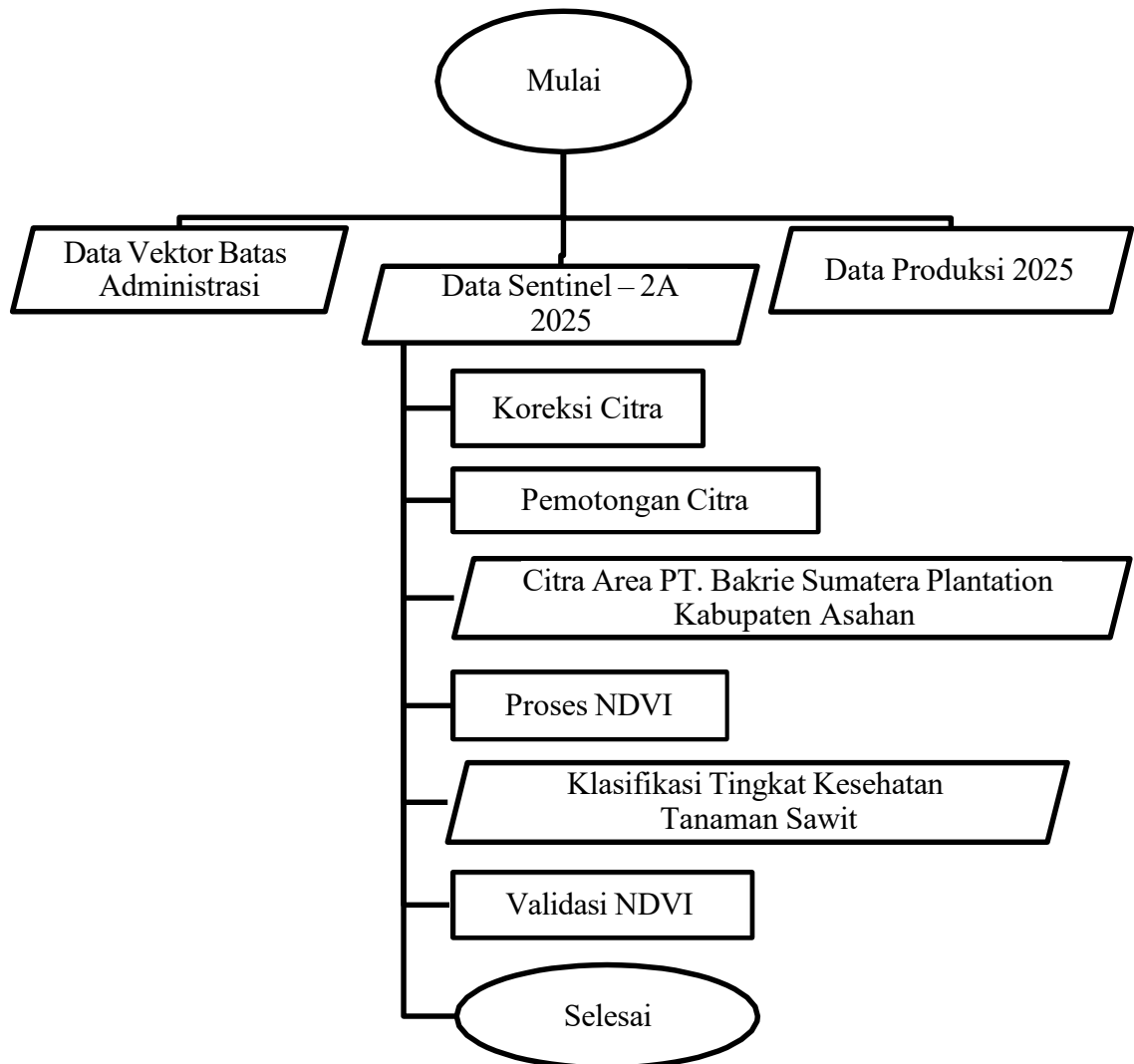
- 38 1. *Pre-Processing*, yaitu melakukan koreksi geometrik, *filtering* citra, dan pemotongan citra.
- 3 2. *Processing*, yaitu melakukan transformasi Index NDVI, serta melakukan uji ketelitian. Dasar yang dipakai sebagai acuan tingkat uji akurasi menggunakan penginderaan jauh adalah 85% yang ditentukan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG).

3 c. Tahap Akhir

3 Pada tahapan ini dilakukan analisis data dan pembahasan terkait hasil pengolahan data NDVI sehingga diperoleh klasifikasi kesehatan tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations. Analisis juga dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari pengolahan menggunakan algoritma NDVI terhadap data Produksi tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations.

2. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan citra hingga menghasilkan distribusi spasial kesehatan tanaman kelapa sawit dimulai dari tahap sebagai berikut:



Gambar 5 Alur Kerja Penelitian

a. *Filtering*

Citra satelit seringkali mengandung ingar (*noise*) acak yang bertampalan dengan nilai kecerahan piksel. Ingar ini berasal dari multifungsinya sensor, interferensi elektronik atau anomali pada pengolahan atau transmisi data. Kenampakannya dapat menutupi bahkan menghilangkan informasi radiometrik sehingga dapat mempersulit proses klasifikasi. Menurut (Putro, *et al*, 2015). Penghilangan awan dengan menggunakan citra satelit multi- temporer dapat menggunakan metode

mosaik. Apabila citra satelit diambil dengan waktu yang berbeda pada wilayah yang sama, maka penghilangan awan bisa diatasi dengan melengkapinya dari informasi citra satelit pada waktu yang berbeda. Hal tersebut memungkinkan untuk mendapatkan suatu citra satelit dengan mengganti area tertutup awan dengan area yang bersih dari awan, dengan asumsi bahwa hanya terjadi sedikit perubahan lahan pada wilayah tersebut.

b. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik bertujuan untuk memperbaiki citra agar koordinat pada citra sesuai dengan koordinat geografis yang mengacu pada sistem koordinat tertentu (Mather, 1987 dalam Lonita, *et al.* 2015). Geometrik merupakan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Geometrik memuat informasi data yang mengacu bumi (*geo-referenced data*), baik posisi (sistem koordinat lintang dan bujur) maupun informasi yang terkandung didalamnya. Menurut Mather (1987 dalam Lukiawan 2019), transformasi geometrik adalah penempatan kembali posisi pixel sedemikian rupa, sehingga pada citra digital yang tertransformasi dapat dilihat gambaran objek dipermukaan bumi yang terekam sensor. Dalam penelitian ini koreksi geometrik akan mengacu pada peta RBI dengan metode *image to map*. Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan 20 titik GCP diposisi peta dan citra pada posisi yang sama.

c. Pemotongan citra

Citra Satelit Sentinel-2 yang telah terkoreksi kemudian dipotong sesuai dengan daerah penelitian. Tahap ini memerlukan tambahan masukan data berupa *basemap* area perkebunan kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations. Untuk data vektor administrasi yang akan digunakan diperoleh dari laman resmi Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai lembaga pemerintah Indonesia yang menyediakan data spasial secara resmi dengan format shapefile yang dapat diakses melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.

d. Transformasi Index Vegetasi Citra Satelit Sentinel-2

Proses selanjutnya yaitu transformasi index vegetasi NDVI, pada proses transformasi dibutuhkan band 4 sebagai band merah dan band 8 sebagai band nir. Formula yang digunakan dalam proses ini yaitu sebagai berikut:

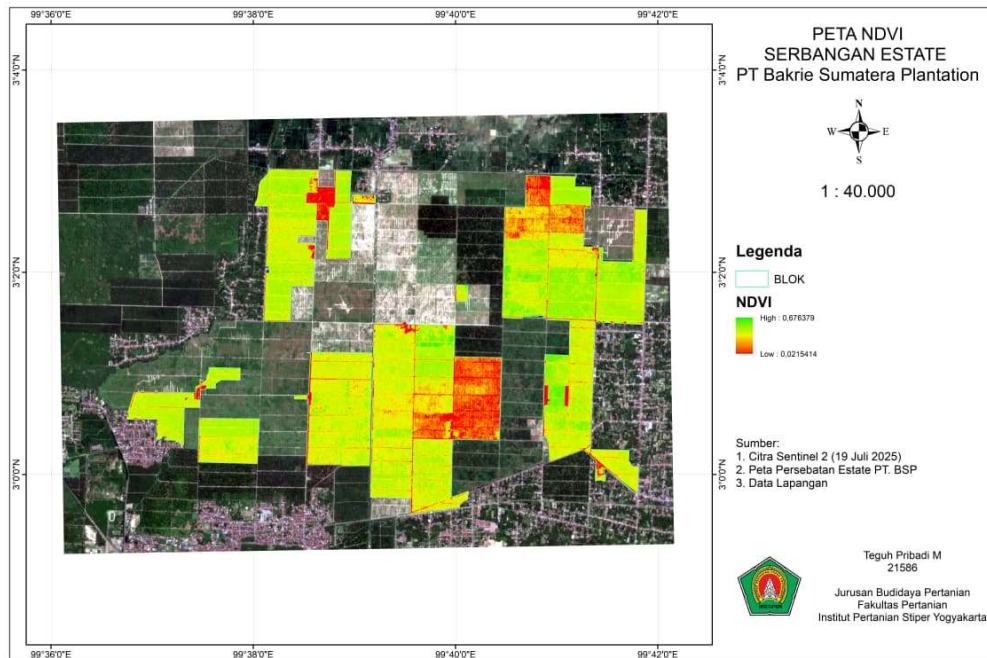
$$NDVI = \frac{(b8 - b4)}{(b8 + b4)} = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

e. Validasi Hasil

Untuk mengetahui kebenaran hasil pengolahan yang telah dilakukan, maka perlu dilakukan validasi menggunakan data pembanding maupun data lapangan. Pada penelitian ini, nilai NDVI yang diperoleh dari pengolahan citra Sentinel-2 dibandingkan dengan data Produksi tanaman kelapa sawit milik perusahaan PT. Bakrie Sumatera Plantations. Hasil pengolahan NDVI akan dihitung nilai korelasinya terhadap data Produksi sehingga diperoleh hubungan antara kedua variabel dalam pemantauan kesehatan tanaman kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Peta NDVI



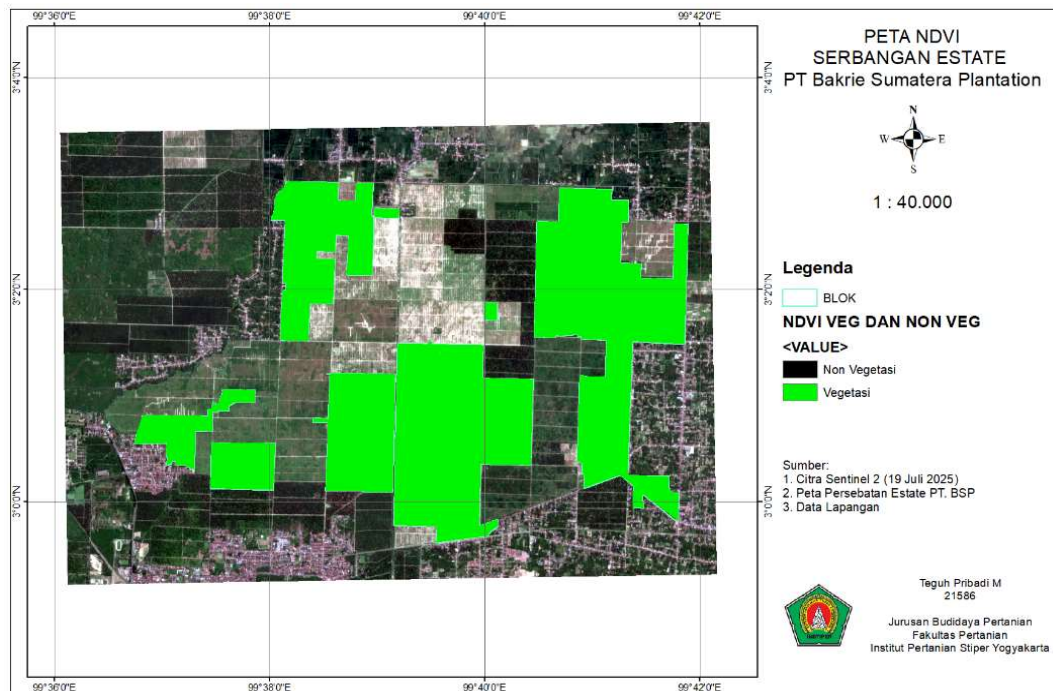
Gambar 6 Peta NDVI

Peta NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada Gambar 6 menampilkan sebaran tingkat kehijauan vegetasi di area Serbangan Estate PT Bakrie Sumatera Plantation dengan skala 1:40.000. Nilai NDVI pada peta ini berkisar antara 0,16 hingga 0,58 yang divisualisasikan dalam gradasi warna dari merah (nilai rendah) hingga hijau (nilai tinggi). Warna hijau menunjukkan area dengan kerapatan dan kondisi vegetasi yang relatif baik, sedangkan warna kuning hingga merah mengindikasikan vegetasi yang kurang rapat, mengalami stres, atau memiliki tutupan lahan yang rendah. Sebaran spasial menunjukkan bahwa sebagian besar blok berada pada kategori NDVI sedang hingga tinggi, meskipun terdapat beberapa petak yang memperlihatkan nilai rendah yang tersebar di bagian tengah dan timur area. Interpretasi ini sejalan dengan konsep *Normalized Difference Vegetation Index* yang menyatakan bahwa NDVI merupakan indikator penting untuk memantau kondisi dan kerapatan vegetasi berbasis citra satelit (Zhao & Qu, 2024).

Secara umum, variasi nilai NDVI pada peta ini menggambarkan adanya

heterogenitas kondisi pertumbuhan tanaman di dalam blok perkebunan. Area dengan nilai NDVI tinggi mengindikasikan tanaman dalam kondisi sehat dengan aktivitas fotosintesis yang optimal, sementara area dengan nilai rendah dapat dipengaruhi oleh faktor seperti umur tanaman, kondisi tanah, pengelolaan lahan, atau kemungkinan gangguan lingkungan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa NDVI memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan aktivitas manusia, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi stres vegetasi dan dinamika pertumbuhan tanaman (Rahimi et al., 2025; Lu et al., 2025) . Informasi ini menjadi dasar penting dalam evaluasi kondisi vegetasi dan dapat digunakan sebagai acuan untuk analisis lanjutan terkait produktivitas maupun pengelolaan kebun secara lebih presisi.

2. Identifikasi Objek Vegetasi dan Non Vegetasi Berdasarkan Indeks NDVI



Gambar 7 Peta Identifikasi Objek Vegetasi dan Non Vegetasi

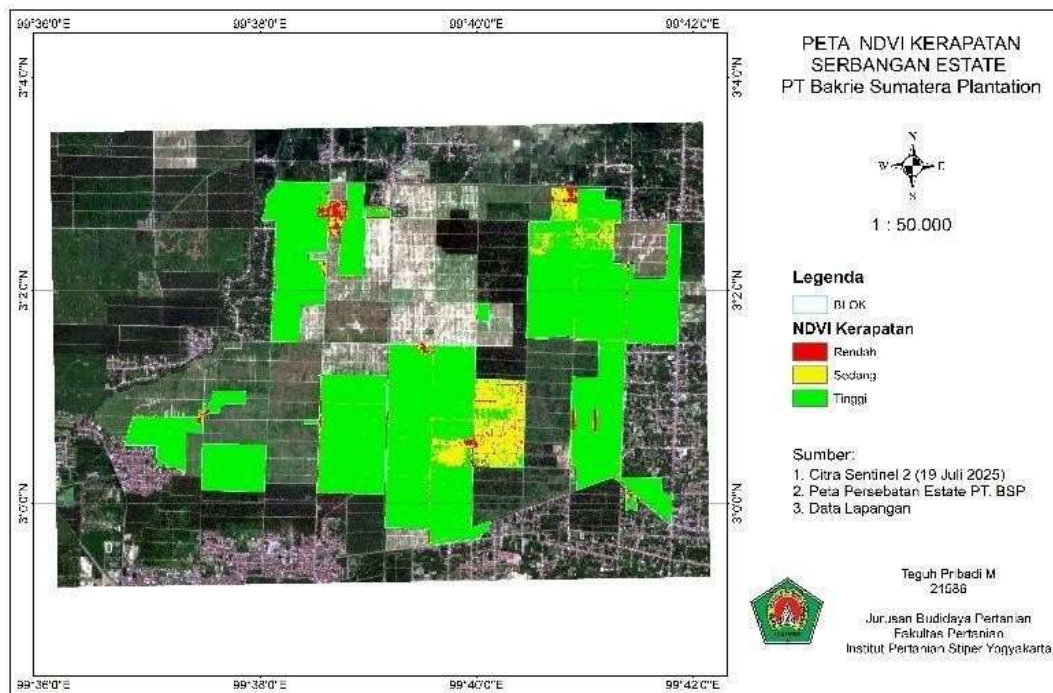
Tabel 6 Klasifikasi Objek Vegetasi dan Nonvegetasi

Rentang NDVI	Objek	Luas (Ha)	Persentase (%)
-1 s/d 0	Non Vegetasi	0,01	0,025%
0 s/d 1	Vegetasi	2077,72	99%

Hasil analisis indeks NDVI dari citra satelit Sentinel-2 di kebun kelapa sawit PT. Bakrie Sumatera Plantations, Serbangan Estate tanggal 19 Juli menunjukkan rentang nilai 0 - 1. Berdasarkan identifikasi objek diperoleh hasil bahwa objek non vegetasi memiliki nilai NDVI dengan rentang nilai -1 - 0 sedangkan objek vegetasi memiliki nilai NDVI dengan rentang nilai 0 – 1. Peta NDVI kebun kelapa sawit di lokasi penelitian tampak seperti Gambar 3 dan peta identifikasi objek vegetasi dan nonvegetasi tampak seperti pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa, pada lokasi perumahan yang merupakan lokasi non-vegetasi terdapat area yang memiliki nilai kerapatan rendah. Pada area tersebut selain dimanfaatkan sebagai perumahan juga terdapat TBM dan area terbuka yang ditumbuhi oleh rumput namun tidak ditanami kelapa sawit.

3. Kerapatan tanaman berdasarkan indeks NDVI

Peta NDVI kebun kelapa sawit yang diperoleh kemudian direklasifikasi berdasarkan kelas kerapatan tanaman kelapa sawit di dalam blok kebun.



Gambar 8 Peta Tingkat Kerapatan Tanaman Kelapa Sawit Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations

Tabel 7 Klasifikasi kerapatan tanaman berdasarkan indeks NDVI

Kerapatan Tanaman	Nilai NDVI	Luas(Ha)	Persentase %
Rendah	<0,32	51,84	2,50 %
Sedang	0,32 - 0,42	212,02	10,20 %
Tinggi	0,42 – 1,00	1813,87	87,30 %

Berdasarkan Tabel 7, kerapatan tanaman di wilayah penelitian didominasi oleh kategori kerapatan tinggi dengan luas 1.813,87 Ha atau sebesar 87,30% dari total

wilayah. Kategori kerapatan sedang mencakup 212,02 Ha (10,20%), sedangkan kerapatan rendah hanya seluas 51,84 Ha (2,50%). Data ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian memiliki tutupan vegetasi yang relatif rapat.

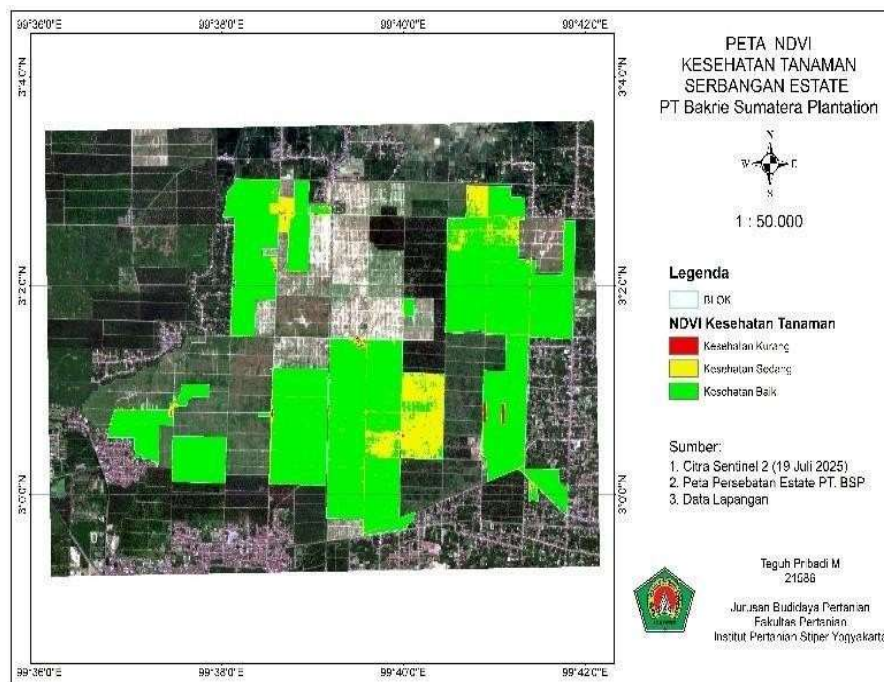
Klasifikasi kerapatan tanaman berdasarkan nilai NDVI menunjukkan tingkat kepadatan dan kesehatan vegetasi di suatu wilayah. Berdasarkan pengecekan di lapangan, kerapatan rendah ($NDVI < 0,32$) merupakan area dengan vegetasi jarang atau minim seperti lahan terbuka atau permukiman. kerapatan sedang ($NDVI 0,32-0,42$) merupakan area dengan vegetasi menengah seperti kebun campuran atau tanaman yang sedang tumbuh, sedangkan kerapatan tinggi ($NDVI 0,42-1,00$) merupakan area dengan vegetasi yang lebat, sehat, dan rapat seperti hutan atau perkebunan intensif, sehingga semakin tinggi nilai NDVI maka semakin baik kondisi dan kerapatan vegetasi di wilayah tersebut.

Secara teoretis, semakin rapat dan sehat vegetasi maka semakin tinggi nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik spektral tanaman, yaitu rendahnya reflektansi pada band merah (red band) dan tingginya reflektansi pada band inframerah dekat (*Near Infrared/NIR*). Rendahnya reflektansi pada band merah menunjukkan bahwa radiasi matahari dengan panjang gelombang 0,650–0,680 μm banyak diserap oleh klorofil untuk proses fotosintesis. Sebaliknya, tingginya reflektansi pada band NIR terjadi karena struktur internal daun memantulkan radiasi inframerah dekat dalam jumlah besar.

Dengan demikian, nilai NDVI yang tinggi mengindikasikan kondisi vegetasi yang lebih rapat dan sehat, sedangkan nilai NDVI yang rendah menunjukkan vegetasi jarang, lahan terbuka, atau objek nonvegetasi (Darmawan et al, 2020; Lillesand et al., 2015).

4. Analisis Kesehatan Tanaman Berdasarkan Indeks NDVI

Hasil dari analisis nilai NDVI Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations juga akan dilakukan pengklasifikasian kelas tingkat kesehatan tanaman.



Gambar 9 Peta Kesehatan Tanaman Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations

Tabel 8 Klasifikasi Tingkat Kesehatan Tanaman Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations

Keterangan	Nilai NDVI	Luas (Ha)	Persentase %
Kesehatan Kurang	0,16 - 0,23	8,23	0,40 %
Kesehatan Sedang	0,23 - 0,42	255,63	12,30%
Kesehatan Baik	0,42 - 0,92	1813,87	87,30%

Kesehatan tanaman kategori kurang (NDVI 0,16–0,23) umumnya berada pada area dengan vegetasi yang jarang atau belum berkembang optimal, seperti areal TBM (Tanaman Belum Menghasilkan) pada fase awal, di mana kanopi atau tajuk belum bertautan dan masih banyak area terbuka yang menyebabkan nilai NDVI rendah, serta bisa juga dipengaruhi oleh kondisi tanaman yang stres, kekurangan unsur hara, atau gangguan lingkungan. Kategori kesehatan sedang (NDVI 0,23–0,42) biasanya terdapat pada area peralihan, seperti TBM yang sudah mulai tumbuh atau sebagian areal TM (Tanaman Menghasilkan) yang kerapatannya belum merata, sehingga kanopi belum sepenuhnya menutup dan nilai kehijauan masih berada pada tingkat menengah. Sementara itu, kesehatan baik (NDVI 0,42–0,92) dominan berada pada areal TM dengan tanaman yang sudah dewasa, kanopi telah menutup rapat, dan kondisi vegetasi relatif sehat serta optimal dalam menyerap cahaya, sehingga menghasilkan nilai NDVI yang tinggi.

Dalam pengklasifikasian tingkat kesehatan tanaman, rentang nilai NDVI 0,16–0,23 dikategorikan sebagai tanaman kurang sehat, rentang 0,23–0,42 sebagai tanaman dengan kesehatan sedang, dan rentang 0,42–0,58 dengan kesehatan baik. Semakin tinggi nilai NDVI, semakin tinggi pula tingkat kehijauan dan aktivitas fotosintesis tanaman, yang mencerminkan kondisi fisiologis tanaman yang lebih baik.

Pada peta hasil klasifikasi, kategori kesehatan baik ditampilkan dengan warna hijau, kategori sedang dengan warna kuning, dan kategori kurang sehat dengan warna merah. Dominasi warna hijau pada peta menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman di Serbangan Estate memiliki kerapatan tajuk dan kandungan klorofil yang tinggi, sehingga mampu menyerap radiasi pada spektrum merah secara optimal dan memantulkan spektrum inframerah dekat dalam jumlah besar. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi pertumbuhan tanaman di lokasi penelitian tergolong baik dan relatif merata.

5. Produktivitas Tanaman Kelapa Sawit

Berdasarkan hasil survei lapangan terdapat dua status jenis tanaman kelapa sawit yang ada di Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations yaitu tanaman menghasilkan dan tanaman belum menghasilkan. Nilai estimasi produktivitas

tanaman kelapa sawit dianalisis berdasarkan hasil analisa dari tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit yang telah diklasifikasi sebelumnya. Terdapat tiga klasifikasi tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit di Serbangan Estate PT. Bakrie Sumatera Plantations yaitu tanaman kurang sehat, tanaman dengan kesehatan sedang, dan tanaman dengan kesehatan baik.

1 Hasil validasi hubungan kerapatan tanaman tiap blok kebun dengan nilai NDVI per blok kebun kelapa sawit tampak seperti Gambar 8. Tingginya nilai NDVI di kebun kelapa sawit disebabkan karena kebun kelapa sawit memiliki pola tanam segitiga sama sisi dan biasanya ditanam dengan jarak tanam 9m x 9m x 9 m. Dengan desain pola tanam dan jarak tanam demikian maka pada 1 hektar lahan akan memiliki kerapatan tanaman 143 pohon/hektar (Pahan, 2015).

Pola tanam segitiga sama sisi dapat mengoptimalkan pemanfaatan lahan sebagai area tanam sehingga lahan yang tidak ditanami menjadi kecil. Selain itu pola tanam tersebut juga dimaksudkan supaya cahaya matahari yang ada dimanfaatkan secara optimal dan merata untuk proses fotosintesis dan mengurangi cahaya matahari yang sampai ke tanah karena dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya kehilangan air akibat evaporasi (Corley & Tinker, 2016; Fairhurst & Griffiths, 2014).

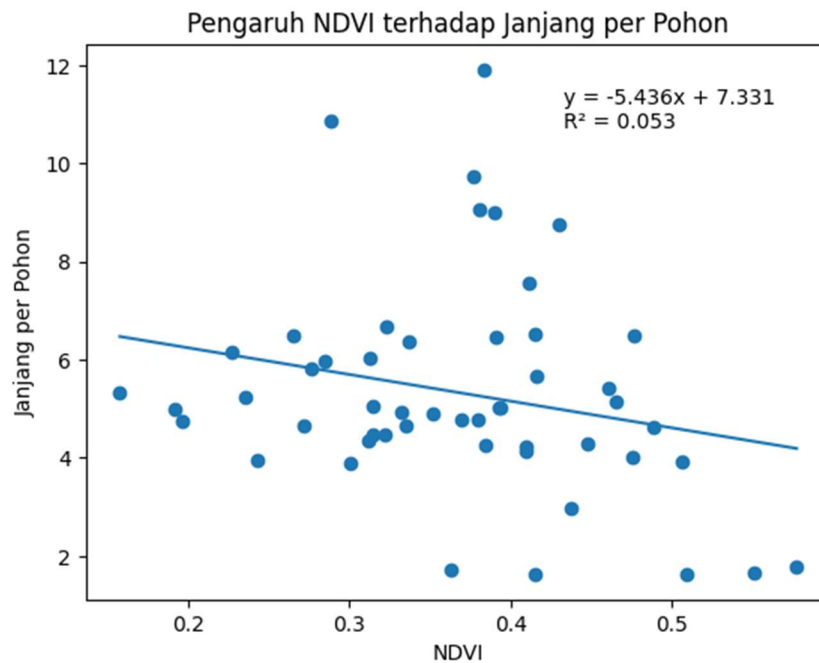
Dengan demikian tanaman yang rapat akan menghasilkan nilai NDVI yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada tanaman yang rapat nilai reflektansi pada band merah akan rendah dan nilai reflektansi pada band inframerah dekat memiliki nilai tinggi. Rendahnya nilai reflektansi band merah menunjukkan radiasi matahari dengan panjang gelombang warna merah (0.650-0.680 μm) banyak diserap oleh tanaman untuk proses fotosintesis (Darmawan et al, 2020; Lillesand *et al.*, 2015).

2 Hasil analisis indeks NDVI dari citra satelit Sentinel-2 di kebun PT. Bakrie Sumatera Plantations menunjukkan rentang nilai NDVI 0,16 hingga 0.58. Hasil dari analisis nilai NDVI dilakukan pengklasifikasian tingkat kesehatan tanaman kebun terdapat kelas tanaman kurang sehat dengan rentang nilai NDVI 0,16 - 0,23. Tingkat kesehatan sedang dengan rentang nilai NDVI 0,23 - 0,42 dan tingkat kesehatan tanaman dengan rentang nilai 0,42 - 0,58. Hasil tersebut menunjukkan Serbangan Estate memiliki tingkat kesehatan tanaman baik dengan persentase 30,50% diberi warna hijau pada peta hasil. Kelas tingkat kesehatan tanaman sedang dengan

persentase 62,71% diberi warna kuning pada peta hasil dan kelas tingkat kesehatan tanaman kurang sehat dengan persentase 6,77 % diberi warna merah pada peta hasil.

2 Tingginya nilai NDVI pada Kebun Serbangan ini disebabkan oleh tanaman yang sudah berumur lebih dari 6 tahun dan tanaman telah menghasilkan buah, sehingga kanopi daun menutupi permukaan tanah yang membuat tingkat kerapatan pada tanaman tinggi dengan tingkat kehijauan tanaman yang tinggi. Namun pada wilayah yang tingkat kehijauannya kurang dari tingkat kehijauan tinggi disebabkan oleh beberapa tanaman yang berumur dibawah 6 tahun, masih terdapat tanaman belum menghasilkan, kanopi daun tidak menutup tanah, yang membuat tingkat kerapatan pada tanaman sedang, dan juga terdapat beberapa terdapat wilayah yang merupakan perumahan karyawan dan kantor sehingga tingkat kehijauannya rendah.

2
2 Berdasarkan survei lapangan di PT. Bakrie Sumatera Plantations, tanaman dengan tingkat kesehatan tinggi tidak memiliki jenis penyakit ataupun serangan dari hama pengganggu tanaman, tidak adanya gejala defisiensi hara. Namun pada wilayah yang tingkat kesehatan sedang disebabkan oleh beberapa tanaman yang terserang hama penyakit seperti antraknosa dan serangan ulat api, pada tanaman dengan tingkat kesehatan sedang juga terdapat beberapa gejala defisiensi hara seperti kekurangan magnesium (Mg) pada kelapa sawit menyebabkan daun menguning (*klorosis*) mulai dari tepi dengan tulang daun tetap hijau, pertumbuhan melambat, dan produksi Tandan Buah Segar (TBS) menurun karena gangguan fotosintesis dan metabolisme, serta kekurangan Nitrogen (N) pada kelapa sawit menyebabkan daun pucat/kekuningan (*klorosis*) dimulai dari pelepah tua, pertumbuhan lambat, tanaman kerdil, daun baru sedikit, dan buah kerdil/cepat rontok dan juga terdapat beberapa wilayah dengan kesehatan tanaman kurang sehat yang merupakan perumahan karyawan, kantor, tanaman belum menghasilkan dan juga tanaman mati.



Gambar 10 Pengaruh NDVI terhadap Janjang Per Pohon

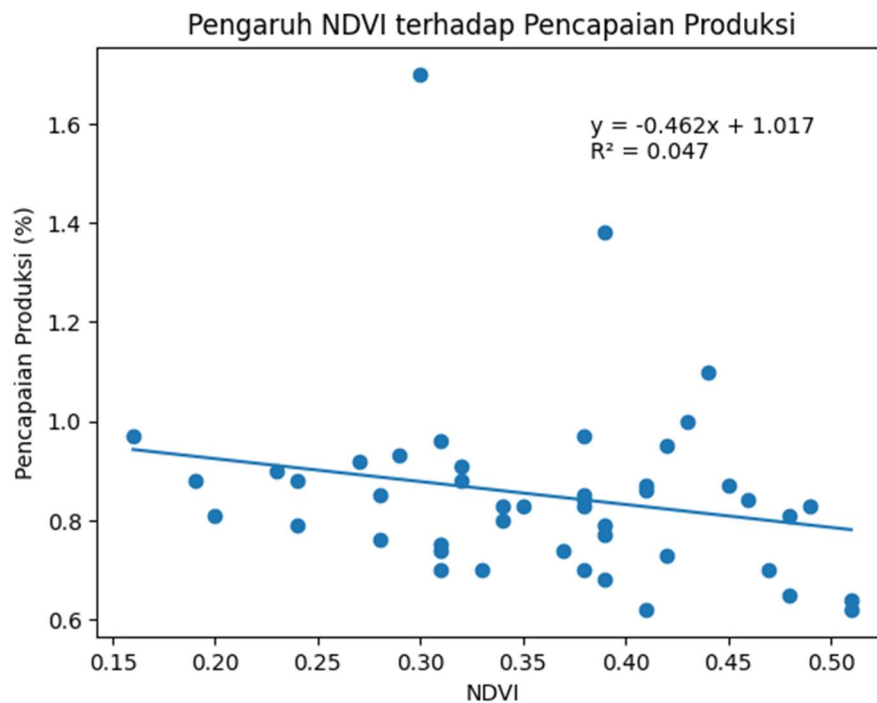
Berdasarkan grafik regresi linear yang disajikan, hubungan antara Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan jumlah janjang per pohon menunjukkan persamaan regresi $y = -5.436x + 7.331$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,053. Secara visual, garis tren menunjukkan arah negatif, namun nilai R^2 yang sangat rendah tersebut mengindikasikan bahwa variasi nilai NDVI hanya mampu menjelaskan sekitar 5,3% dari variasi produktivitas tanaman. Rendahnya korelasi ini menegaskan bahwa NDVI bukanlah variabel tunggal yang menentukan tinggi rendahnya jumlah janjang, melainkan terdapat fluktuasi data yang cukup lebar (distribusi acak) pada rentang nilai NDVI tertentu.

Ketidakmampuan NDVI dalam memprediksi hasil secara akurat menunjukkan bahwa hubungan antara indeks vegetasi dan produktivitas dipengaruhi secara signifikan oleh variabel-variabel eksternal lainnya. Sebagaimana dijelaskan dalam lima grafik pendukung lainnya, faktor-faktor seperti karakteristik kimia tanah, manajemen pemupukan, serta ketersediaan hara makro dan mikro memainkan peran krusial dalam pembentukan buah.

Menurut Pahan (2015), produktivitas kelapa sawit merupakan hasil interaksi kompleks antara potensi genetik, kondisi lingkungan, dan efektivitas serapan nutrisi

oleh tanaman, sehingga hijau daun (vegetasi) tidak selalu berkorelasi linier dengan hasil panen. Oleh karena itu, fenomena yang terlihat pada grafik tidak dapat diartikan secara sederhana bahwa peningkatan nilai NDVI akan langsung menurunkan jumlah janjang per pohon. Sebaliknya, pola ini mengindikasikan adanya pengaruh faktor pembatas lainnya yang lebih dominan dalam menentukan produktivitas pada lokasi penelitian tersebut. Misalnya, nilai NDVI yang tinggi mencerminkan kerapatan kanopi yang baik, namun jika tidak dibarengi dengan rasio hara yang seimbang atau pengendalian hama yang tepat, maka energi fotosintesis lebih banyak dialokasikan untuk pertumbuhan vegetatif dibandingkan generatif (Fauzi dkk., 2012).

Sebagai kesimpulan, interpretasi terhadap model regresi ini harus dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan parameter fisik dan kimiawi yang telah dianalisis sebelumnya. Variabilitas janjang per pohon yang tersebar luas pada grafik ini memperkuat argumen bahwa faktor lingkungan setempat, seperti tingkat kesuburan tanah atau aplikasi pupuk organik, memiliki pengaruh yang lebih kuat dibandingkan sekadar indeks kehijauan tajuk. Hal ini sejalan dengan pernyataan Syahputra dkk. (2011) bahwa pemantauan vegetasi melalui penginderaan jauh harus dikalibrasi dengan data lapangan yang mencakup aspek agronomis secara menyeluruh untuk mendapatkan estimasi produksi yang valid.



Gambar 11 Pengaruh NDVI terhadap Pencapaian Produksi

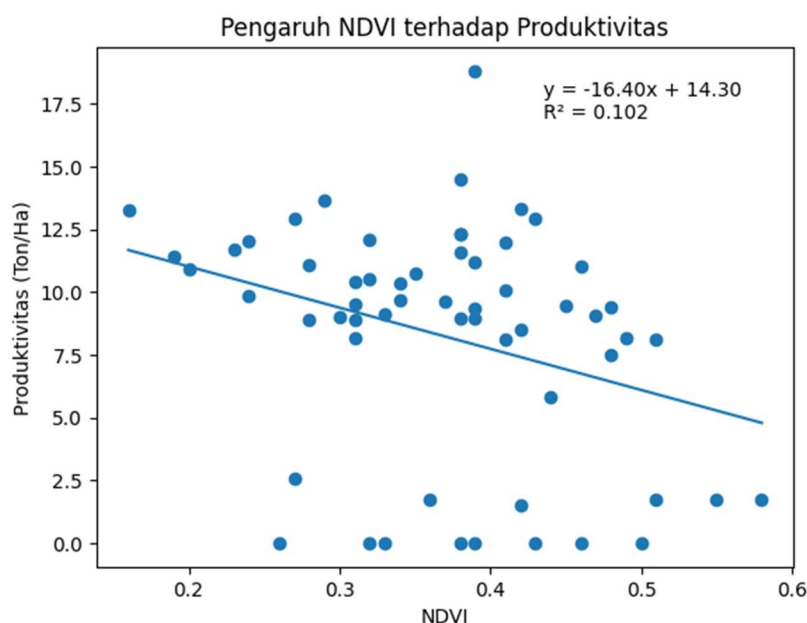
Berdasarkan hasil analisis regresi pada grafik, diperoleh persamaan $y = -0,462x + 1,017$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,047$. Arah hubungan yang cenderung negatif menunjukkan adanya kecenderungan penurunan, namun hubungan tersebut sangat lemah karena nilai R^2 yang mendekati nol. Hal ini mengindikasikan bahwa NDVI hanya mampu menjelaskan sekitar 4,7% variasi pencapaian produksi, sehingga sebagian besar variasi produksi dipengaruhi oleh faktor lain di luar NDVI (Jensen, 2007).

Sebaran titik pada grafik yang tidak membentuk pola linear yang kuat menunjukkan bahwa hubungan antara NDVI dan produktivitas tidak bersifat langsung. NDVI memang merepresentasikan tingkat kehijauan, kerapatan, dan aktivitas fotosintesis vegetasi, namun tidak secara spesifik menggambarkan hasil produksi tanaman. Oleh karena itu, nilai NDVI yang tinggi tidak selalu diikuti oleh produktivitas yang tinggi, karena produktivitas dipengaruhi oleh banyak faktor lain seperti kondisi fisiologis tanaman dan lingkungan tumbuh (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979).

34

Kondisi ini juga berkaitan dengan fase pertumbuhan tanaman, yaitu TBM (Tanaman Belum Menghasilkan) dan TM (Tanaman Menghasilkan). Pada TBM, nilai NDVI dapat meningkat seiring pertumbuhan vegetasi, meskipun tanaman belum menghasilkan produksi karena kanopi belum sepenuhnya menutup. Sementara itu pada TM, meskipun kanopi sudah rapat dan nilai NDVI tinggi, produktivitas tetap sangat dipengaruhi oleh faktor seperti umur tanaman, pemupukan, pemeliharaan, serta teknik panen. Dengan demikian, NDVI lebih mencerminkan kondisi kanopi dibandingkan output produksi secara langsung (Corley & Tinker, 2016).

Dengan demikian, rendahnya hubungan antara NDVI dan pencapaian produksi menunjukkan bahwa produktivitas di Serbangan Estate lebih dipengaruhi oleh kombinasi berbagai faktor lain yang telah dianalisis pada lima grafik sebelumnya, seperti umur tanaman, manajemen kebun, distribusi kerapatan, serta kondisi lingkungan. Oleh karena itu, NDVI lebih tepat digunakan sebagai indikator kondisi vegetasi secara umum, bukan sebagai satu-satunya parameter dalam mengevaluasi pencapaian produksi (Peneliti, 2025; Campbell & Wynne, 2011).



Gambar 12 Pengaruh NDVI terhadap Produktivitas

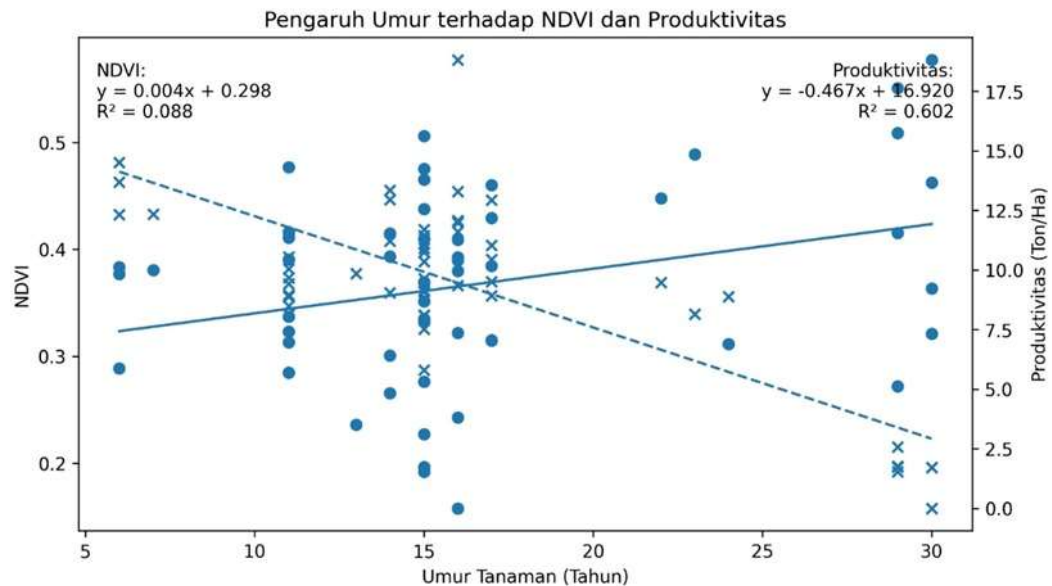
Berdasarkan hasil analisis regresi pada grafik, diperoleh persamaan $y = -16,40x + 14,30$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,102$. Arah hubungan yang

cenderung negatif menunjukkan adanya kecenderungan hubungan yang berlawanan antara NDVI dan produktivitas, namun kekuatan hubungannya masih tergolong lemah. Nilai R^2 sebesar 0,102 mengindikasikan bahwa NDVI hanya mampu menjelaskan sekitar 10,2% variasi produktivitas, sehingga sebagian besar variasi produktivitas dipengaruhi oleh faktor lain di luar NDVI (Jensen, 2007).

Sebaran titik pada grafik yang cukup menyebar dan tidak membentuk pola linear yang kuat menunjukkan bahwa hubungan antara NDVI dan produktivitas tidak bersifat langsung. Meskipun NDVI mencerminkan tingkat kehijauan dan aktivitas fotosintesis tanaman, produktivitas hasil panen tidak hanya ditentukan oleh kondisi vegetasi secara visual. Hal ini terlihat dari adanya nilai NDVI tinggi yang tidak selalu berasosiasi dengan produktivitas tinggi, sehingga menunjukkan adanya variabilitas yang dipengaruhi oleh faktor lain (Rouse *et al.*, 1974; Tucker, 1979).

Jika dikaitkan dengan kondisi tanaman, perbedaan fase TBM (Tanaman Belum Menghasilkan) dan TM (Tanaman Menghasilkan) menjadi salah satu faktor penting. Pada TBM, nilai NDVI dapat meningkat seiring pertumbuhan vegetasi meskipun tanaman belum menghasilkan, karena kanopi belum sepenuhnya menutup dan masih terdapat pengaruh tanah terbuka. Sementara itu pada TM, meskipun kanopi sudah rapat dan nilai NDVI relatif tinggi, produktivitas sangat dipengaruhi oleh umur tanaman, pemeliharaan, pemupukan, serta efektivitas panen. Dengan demikian, NDVI lebih merepresentasikan kondisi kanopi dibandingkan hasil produksi secara langsung (Corley & Tinker, 2016).

Dengan demikian, hubungan yang lemah antara NDVI dan produktivitas menunjukkan bahwa produktivitas di Serbangan Estate lebih dipengaruhi oleh kombinasi berbagai faktor lain yang telah dianalisis pada beberapa grafik sebelumnya, seperti umur tanaman, manajemen kebun, distribusi kerapatan, serta kondisi lingkungan tumbuh. Oleh karena itu, NDVI sebaiknya digunakan sebagai indikator kondisi vegetasi secara umum, bukan sebagai satu-satunya parameter dalam mengevaluasi tingkat produktivitas (Peneliti, 2025; Campbell & Wynne, 2011).



Gambar 13 Pengaruh Umur Tanaman terhadap NDVI dan Produktivitas

Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 13 diperoleh persamaan $y = 0,004x + 0,298$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,088$. Koefisien regresi yang positif menunjukkan adanya hubungan searah antara umur tanaman dan nilai NDVI, namun hubungan tersebut tergolong lemah. Nilai R^2 sebesar 0,088 mengindikasikan bahwa umur tanaman hanya mampu menjelaskan 8,8% variasi NDVI, sedangkan 91,2% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar umur tanaman (Jensen, 2007).

Sebaran titik yang cukup menyebar menunjukkan bahwa peningkatan umur tanaman tidak selalu diikuti oleh peningkatan nilai NDVI. Secara umum, tanaman yang lebih tua cenderung memiliki kanopi yang lebih berkembang sehingga nilai NDVI meningkat, namun kondisi tersebut dipengaruhi pula oleh kesehatan vegetasi, kerapatan tajuk, dan faktor lingkungan lainnya (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979). Pada fase TBM (Tanaman Belum Menghasilkan), peningkatan umur diikuti pertumbuhan vegetasi dan penutupan kanopi secara bertahap sehingga nilai NDVI cenderung meningkat meskipun masih bervariasi. Sebaliknya, pada fase TM (Tanaman Menghasilkan), kanopi umumnya telah berkembang dengan baik sehingga nilai NDVI relatif lebih stabil, tetapi masih dapat dipengaruhi oleh pemeliharaan, pemupukan, serta kondisi fisiologis tanaman (Corley & Tinker, 2016). Dengan demikian, umur tanaman bukan satu-satunya faktor yang

menentukan nilai NDVI sehingga perlu dikombinasikan dengan parameter lain, seperti kerapatan tanaman, kondisi kesehatan, dan manajemen kebun untuk memperoleh gambaran kondisi vegetasi yang lebih akurat (Campbell & Wynne, 2011).

44 Berdasarkan hasil analisis regresi pada Gambar 14 diperoleh persamaan $y = -0,467x + 16,920$ dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,602$. Koefisien regresi yang negatif menunjukkan bahwa semakin bertambah umur tanaman, produktivitas cenderung menurun. Nilai R^2 sebesar 0,602 menunjukkan bahwa 60,2% variasi produktivitas dapat dijelaskan oleh umur tanaman, sedangkan 39,8% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain, seperti kondisi tanah, pemupukan, curah hujan, kepadatan tanaman, dan pengelolaan kebun (Jensen, 2007).

56 Sebaran data memperlihatkan kecenderungan penurunan produktivitas seiring bertambahnya umur tanaman. Secara biologis, produktivitas kelapa sawit meningkat hingga mencapai umur produktif optimum, kemudian menurun akibat berkurangnya kemampuan fisiologis tanaman dalam menghasilkan tandan buah segar (Rouse et al., 1974; Tucker, 1979). Pada fase TBM, pertambahan umur lebih berpengaruh terhadap pembentukan kanopi sehingga produktivitas belum optimal. Sementara itu, pada fase TM, produktivitas mencapai tingkat optimum sebelum akhirnya menurun pada tanaman yang berumur lebih tua akibat penurunan kondisi fisiologis maupun pengelolaan kebun yang kurang optimal (Corley & Tinker, 2016). Oleh karena itu, meskipun umur tanaman berpengaruh cukup besar terhadap produktivitas, analisis produktivitas tetap perlu mempertimbangkan faktor-faktor lain yang memengaruhi kondisi tanaman di lapangan (Campbell & Wynne, 2011).

22

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan, pengolahan, dan pembahasan dari penelitian pemetaan kesehatan kelapa sawit menggunakan ndvi pada citra Sentinel-2 dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai NDVI tanaman kelapa sawit di PT. Bakrie Sumatera Plantation yang berkisar antara 0,16 hingga 0,58 yang mengindikasikan tanaman memiliki kerapatan tinggi dan dalam kondisi yang sehat. Kerapatan tanaman kategori tinggi sebesar 87,30%, kerapatan sedang sebesar 10,20%, dan kerapatan rendah sebesar 2,50%. Sejalan dengan itu, tingkat kesehatan tanaman juga didominasi oleh kategori baik sebesar 87,30%, dengan proporsi kesehatan sedang 12,30% dan kesehatan kurang hanya 0,40%. Tingkat kesehatan tanaman kategori baik sebesar 87,30%, kesehatan sedang sebesar 12,30%, dan kesehatan kurang hanya 0,40%.
2. Hubungan antara NDVI dengan berbagai parameter seperti jumlah janjang, pencapaian produksi, produktivitas, dan umur tanaman menunjukkan kecenderungan hubungan yang lemah. NDVI tidak dapat digunakan untuk memprediksi produktivitas kelapa sawit.

B. Saran

1. Disarankan agar pemanfaatan NDVI tetap digunakan sebagai alat monitoring kondisi vegetasi secara berkala, terutama untuk mengidentifikasi area dengan kerapatan dan kesehatan rendah, sehingga dapat dilakukan tindakan pengelolaan lebih awal seperti pemupukan, penyulaman, atau perbaikan kondisi lahan pada area tersebut.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan variabel lain yang lebih berpengaruh terhadap produktivitas, seperti umur tanaman produktif, jenis tanah, curah hujan, pemupukan, serta manajemen panen, agar diperoleh analisis yang lebih komprehensif dalam menjelaskan hubungan antara kondisi vegetasi dan hasil produksi.
3. Disarankan bagi pihak kebun untuk mengombinasikan data NDVI dengan data lapangan (ground check) secara rutin, sehingga interpretasi kondisi tanaman

58

37

menjadi lebih akurat dan dapat mendukung pengambilan keputusan yang tepat dalam meningkatkan produktivitas kelapa sawit.

