

**THRESHOLD BASED VEGETATION AND NON
VEGETATION CLASSIFICATION USING SENTINEL-2
AND GOOGLE EARTH ENGINE IN SIAK-RIAU**

SKRIPSI



Oleh:

Elvira Nurrahma

2203025022

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR.HAMKA
JAKARTA
2026**

**THRESHOLD BASED VEGETATION AND NON
VEGETATION CLASSIFICATION USING SENTINEL-2
AND GOOGLE EARTH ENGINE IN SIAK-RIAUP**

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik Elektro



Oleh:

Elvira Nurrahma

2203025022

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR.HAMKA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

THRESHOLD BASED VEGETATION AND NON VEGETATION
CLASSIFICATION USING SENTINEL-2 AND GOOGLE EARTH ENGINE
IN SIAK - RIAU

SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik

Oleh:

Elvira Nurrahma

2203025022

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan ke Sidang Ujian Skripsi Program
Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Informatika UHAMKA

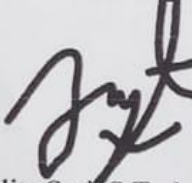
Tanggal, 17 Juli 2026

Pembimbing-1



Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.
NIDN. 0303097006

Pembimbing-2



Inggit Lolita Sari, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 198006192007012003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006

HALAMAN PENGESAHAN

THRESHOLD BASED VEGETATION AND NON VEGETATION
CLASSIFICATION USING SENTINEL-2 AND GOOGLE EARTH ENGINE
IN SIAK - RIAU

SKRIPSI

Oleh:

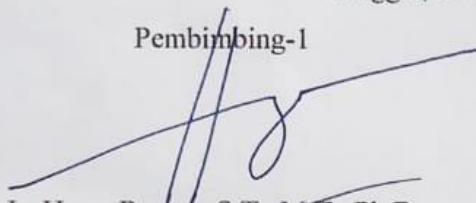
Elvira Nurrahma

2203025022

Telah diuji dan dinyatakan lulus dalam Sidang Ujian Skripsi Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Informatika UHAMKA

Tanggal, 11 Agustus 2026

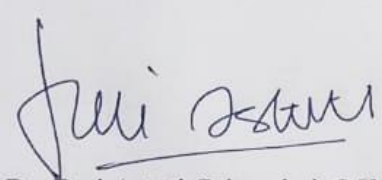
Pembimbing-1


Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006

Pembimbing-2


Inggit Lolita Sari, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 198006192007012003

Penguji-1


Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T.
NIDN. 0323027401

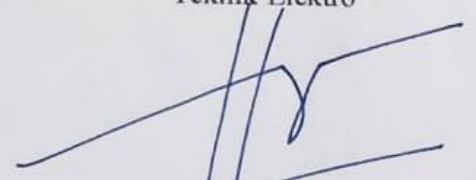
Penguji-2


Dr. Ir. Sofia Pinardi, MT
NIDN. 0330096901

Mengesahkan,
Dekan
Fakultas Teknologi Industri dan
Informatika UHAMKA

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro


Dr. Ir. Dan Mugisidi, S.T., M.Si., IPP
NIDN. 0301126901


Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya, yang membuat pernyataan

Nama : Elvira Nurrahma
NIM : 2203025022
Judul Skripsi : Threshold Based Vegetation and Non Vegetation
Classification Using Sentinel-2 and Google Earth Engine in
Siak-Riau

Menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya saya sendiri (ASLI) dan isi dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademis di suatu institusi pendidikan tinggi mana pun, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan/atau diterbitkan oleh orang lain, KECUALI yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 12 Agustus 2026



Elvira Nurrahma

KATA PENGANTAR

Assallamu'alaikum wa rohmatullahi wa barokaatuh, shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad dan para pengikutnya.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan di Pusat Riset Geoinformatika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Kecamatan Cibinong, Kabupaten Bogor, Republik Indonesia. Penelitian ini tidak akan dapat terlaksana tanpa dukungan, bimbingan, serta inspirasi dari berbagai pihak, terutama seluruh staf peneliti di Pusat Riset Geoinformatika. Mereka telah memberikan wawasan yang sangat berharga mengenai metodologi dan langkah-langkah teknis yang harus diambil selama proses penelitian.

Dengan tulus saya menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Harry Ramza M.T.,Ph.D., MIPM selaku Dosen Pembimbing, atas bimbingan dan nasihatnya selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Ibu Inggit Lolita Sari, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Pembimbing tugas akhir di Pusat Riset Geoinformatika, BRIN Cibinong, atas bimbingan dan nasihatnya selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Orang tua dan keluarga tercinta atas doa, semangat serta kasih sayang yang tidak pernah putus dan menjadi kekuatan utama dalam menyelesaikan studi ini.

Akhir kata, saya berharap skripsi ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dan dosen di lingkungan Fakultas Teknologi Industri dan Informatika Universitas Muhammadiyah Prof. DR.HAMKA dalam menulis karya ilmiah dengan tata tulisan yang standar, sehingga permasalahan dalam tata tulis dapat diminimalisir dan fokus lebih ditujukan pada kualitas isi dari karya ilmiah yang dihasilkan.

Wa billahitaufiq wal hidayah, fastabiqul khoirat, wassalamu'alaikum wa rohmatullahi wa barokaatuh.

PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA), saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: Elvira Nurrahma
NIM	: 2203025022
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyetujui, memberikan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive royalty free right*) kepada Universitas Muhammadiyah Prof. DR.HAMKA (UHAMKA) atas karya ilmiah saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) yang berjudul:

Threshold Based Vegetation and Non Vegetation Classification

Using Sentinel-2 and Google Earth Engine

in Siak-Riau

Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Muhammadiyah Prof. DR HAMKA berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 01 Juli 2026

Elvira Nurrahma

ABSTRAK

Klasifikasi Vegetasi dan Non Vegetasi Berbasis Ambang Batas Menggunakan Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Siak-Riau

Elvira Nurrahma

Perubahan tutupan lahan yang didorong oleh ekspansi perkebunan kelapa sawit telah menjadi isu lingkungan yang kritis di Kabupaten Siak, Provinsi Riau, sehingga memerlukan pemantauan vegetasi secara berkala untuk mendukung pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Penelitian ini menyajikan alur kerja pengolahan citra yang terstruktur untuk klasifikasi vegetasi multitemporal menggunakan citra Sentinel-2 Level-2A tahun 2022 hingga 2024 yang diimplementasikan pada Google Earth Engine. Alur kerja tersebut meliputi pengumpulan data, pra-pemrosesan citra, perhitungan indeks vegetasi (NDVI, EVI, SAVI), klasifikasi berbasis ambang batas, visualisasi spasial menggunakan QGIS, serta penilaian akurasi. Alur kerja ini mengintegrasikan pemrosesan geospasial berbasis cloud dan analisis threshold untuk pemetaan vegetasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah tengah dan timur Kabupaten Siak didominasi oleh vegetasi sedang hingga lebat, sedangkan wilayah barat menunjukkan konversi lahan secara bertahap. Di Kecamatan Koto Gasib, area perkebunan kelapa sawit menurun dari sekitar 741.541 ha pada tahun 2022 menjadi 709.815 ha pada tahun 2024, sementara kelas tutupan lahan non-kelapa sawit dan transisional mengalami peningkatan. Klasifikasi yang dilakukan memperoleh overall accuracy sebesar 84,7% dan koefisien Kappa sebesar 0,79, yang menunjukkan kinerja klasifikasi yang andal. Penelitian ini menunjukkan penerapan Google Earth Engine dan citra Sentinel-2 untuk pemantauan vegetasi multitemporal guna mendukung perencanaan penggunaan lahan.

Kata kunci: Google Earth Engine, Sentinel-2, Indeks Vegetasi, Klasifikasi Multitemporal, Pemantauan Kelapa Sawit, Perubahan Tutupan Lahan

Threshold Based Vegetation and Non Vegetation Classification Using Sentinel-2 and Google Earth Engine in Siak-Riau

Elvira Nurrahma

Land cover change driven by the expansion of oil palm plantations has become a critical environmental issue in Siak Regency, Riau Province, requiring periodic vegetation monitoring to support sustainable land management. This study presents a structured image processing workflow for multitemporal vegetation classification using Sentinel-2 Level-2A imagery from 2022 to 2024 implemented on Google Earth Engine. The workflow includes data collection, image pre-processing, vegetation index computation (NDVI, EVI, SAVI), threshold-based classification, spatial visualization using QGIS, and accuracy assessment. The workflow integrates cloud-based geospatial processing and threshold analysis for vegetation mapping. The results indicate that central and eastern areas of Siak Regency are dominated by moderate to dense vegetation, while western regions show gradual land conversion. In Koto Gasib District, oil palm plantation areas decreased from approximately 741,541 ha in 2022 to 709,815 ha in 2024, while non-oil palm and transitional land cover classes increased. The classification achieved an overall accuracy of 84.7% and a Kappa coefficient of 0.79, indicating reliable classification performance. The study shows the applicability of Google Earth Engine and Sentinel-2 imagery for multitemporal vegetation monitoring to support land use planning.

Keywords: Google Earth Engine, Sentinel-2, Vegetation Index, Multitemporal Classification, Oil Palm Monitoring, Land Cover Change

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	15
1.1 Latar Belakang Masalah	15
1.2 Perumusan Masalah.....	16
1.3 Batasan Masalah.....	17
1.4 Tujuan Penelitian.....	17
1.5 Manfaat Penelitian.....	18
1.6 Sistematika Penulisan.....	18
BAB 2. DASAR TEORI.....	20
2.1 Penginderaan Jauh	20
2.2 Citra Sentinel-2.....	20
2.3 Google Earth Engine	23
2.4 Indeks Vegetasi	23
2.4.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	23
2.4.2 Enhanced Vegetation Index (EVI)	24
2.4.3 Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	25
2.5 Klasifikasi Berbasis <i>Threshold</i>	26
2.6 Penilaian Akurasi.....	26
2.7 Penelitian yang Relevan	28

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Alur Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Material.....	33
3.2.1 Perangkat Keras	33
3.2.2 Perangkat Lunak	33
3.2.3 Material	33
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
3.3.1 Pengumpulan Data	35
3.3.2 Pra-Pemrosesan Citra.....	35
3.3.3 Perhitungan Indeks Vegetasi	36
3.3.4 Klasifikasi Berbasis <i>Threshold</i>	36
3.3.5 Visualisasi Spasial di QGIS	37
3.3.6 Uji Akurasi	37
3.3.7 Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Penelitian.....	39
4.1.1 Batas Administrasi Kabupaten Siak.....	39
4.1.2 Hasil Pengumpulan Data dan Pra-Pengolahan Citra.....	39
4.1.3 Hasil Klasifikasi NDVI.....	44
4.1.4 Hasil Klasifikasi EVI	47
4.1.5 Hasil Klasifikasi SAVI.....	50
4.1.6 Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib (Kelapa Sawit, Non-Kelapa Sawit, dan <i>Land Change</i>)	53
4.1.7 Hasil Penilaian Akurasi.....	56
4.2 Pembahasan	58
4.2.1 Pola Spasial Vegetasi Berdasarkan Tiga Indeks (NDVI, EVI, SAVI)..	58
4.2.2 Dinamika Tutupan Lahan di Kecamatan Koto Gasib	58
4.2.3 Kinerja Akurasi <i>Pipeline</i> Klasifikasi Berbasis Ambang Batas	59
BAB 5. SIMPULAN	61
DAFTAR REFERENSI	63
LAMPIRAN A	66
<i>Source Code</i>.....	66

LAMPIRAN B	71
Hasil Turnitin.....	71
LAMPIRAN C	72
Lembar Bimbingan Skripsi.....	72
LAMPIRAN D.....	73
Dokumentasi.....	73
LAMPIRAN E	74
Daftar Penerbitan.....	74
LAMPIRAN F	75
Lembar Revisi.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Band Spektral Sentinel-2	21
Tabel 2-2 Klasifikasi NDVI	24
Tabel 2-3 Klasifikasi SAVI	25
Tabel 2-4 Penelitian yang Relevan.....	29
Tabel 3-1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	38
Tabel 4-1 Hasil Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	46
Tabel 4-2 Hasil Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	49
Tabel 4-3 Hasil Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	52
Tabel 4-4 <i>Overall Accuracy</i> dan Koefisien Kappa <i>Pipeline</i> Klasifikasi Berbasis Ambang Batas	57
Tabel 4-5 Akurasi Produsen dan Pengguna Per Kelas untuk Tahun 2023 (Tahun dengan Kinerja Terbaik).....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3-1 Kerangka Penelitian	32
Gambar 3-2 Tahapan Prosedur Penelitian	34
Gambar 4-1 Batas Administrasi (SHP) Kabupaten Siak pada GEE	39
Gambar 4-2 Kerangka Kerja Penelitian untuk Pemantauan Vegetasi Multitemporal di Kabupaten Siak (2022-2024) Menggunakan Sentinel-2 pada Google Earth Engine	41
Gambar 4-3 Hasil Klasifikasi pada Google Earth Engine Kabupaten Siak	42
Gambar 4-4 Peta Administrasi Kabupaten Siak Hasil Visualisasi pada QGIS	43
Gambar 4-5 Peta Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	45
Gambar 4-6 Kerangka Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	47
Gambar 4-7 Peta Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	48
Gambar 4-8 Kerangka Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	50
Gambar 4-9 Peta Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	51
Gambar 4-10 Kerangka Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024	53
Gambar 4-11 Peta Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, Tahun 2022-2024	54
Gambar 4-12 Diagram Batang Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, 2022-2024	55
Gambar 4-13 Kerangka Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, 2022-2024	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A <i>Source Code</i>	66
Lampiran B Hasil Turnitin	71
Lampiran C Lembar Bimbingan Skripsi	72
Lampiran D Dokumentasi	73
Lampiran E Daftar Penerbitan	74
Lampiran F Lembar Revisi	75

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan utama yang memberikan kontribusi signifikan bagi perekonomian nasional Indonesia. Provinsi Riau memiliki luas perkebunan kelapa sawit terbesar di Indonesia, mencakup lebih dari 21% dari total nasional (Rafli & Buchori, 2022). Ekspansi perkebunan kelapa sawit yang pesat di wilayah ini seringkali dikaitkan dengan penurunan kerapatan vegetasi alami serta melemahnya fungsi ekosistem dan jasa lingkungan (Rafli & Buchori, 2022). Kondisi ini mendorong kebutuhan akan pemantauan spasial secara berkala untuk mendukung pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Penginderaan jauh telah menjadi pendekatan yang efektif untuk pemantauan tutupan lahan berskala besar. Citra Sentinel-2 Level-2A yang dilengkapi dengan instrumen *MultiSpectral Instrument (MSI)* menyediakan resolusi spasial 10 meter dan siklus kunjungan ulang 5 hari, sehingga menawarkan keunggulan untuk analisis vegetasi multitemporal dibandingkan metode survei lapangan konvensional (Novianti et al., 2024). Indeks vegetasi multispektral seperti *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, *Enhanced Vegetation Index (EVI)*, dan *Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)* telah banyak digunakan untuk menilai kerapatan dan kondisi kesehatan vegetasi secara kuantitatif dalam lingkungan perkebunan tropis (Wardana et al., 2024).

Platform Google Earth Engine memungkinkan pemrosesan data geospasial berskala besar melalui komputasi berbasis *cloud*, sehingga alur analitik yang kompleks dapat dijalankan tanpa penyimpanan data lokal (Sukoco, 2022). Berbagai pendekatan klasifikasi telah diterapkan, termasuk klasifikasi berbasis *threshold* dan metode pembelajaran mesin seperti *Random Forest (RF)* serta *Support Vector Machines (SVM)* (Prasetyo et al., 2022; Tamiminia et al., 2023). Meskipun demikian, studi yang secara khusus mengevaluasi perbandingan antara metode berbasis *threshold* dengan pendekatan berbasis kecerdasan buatan untuk

pemantauan kelapa sawit multitemporal di Kabupaten Siak masih sangat terbatas (Pham et al., 2022).

Klasifikasi berbasis *threshold* tetap banyak digunakan karena efisiensi komputasi, kemudahan interpretasi, dan reproduktibilitasnya (Maxwell et al., 2023; Stehman & Foody, 2023). Terdapat tiga kesenjangan kritis yang belum terpecahkan dalam literatur yang ada. Pertama, studi sebelumnya belum secara sistematis mengkuantifikasi apakah metode *threshold* dapat menyamai akurasi pendekatan berbasis AI (RF, SVM) khusus untuk pemantauan kelapa sawit ketika menggunakan input multi-indeks (NDVI, EVI, dan SAVI). Kedua, untuk mendukung pipeline komputasi yang terstandarisasi dan dapat direproduksi untuk pemantauan kelapa sawit multitemporal di Kabupaten Siak. Ketiga, transparansi dan skalabilitas alur kerja yang ada jarang didokumentasikan, sehingga replikasi antar periode waktu atau wilayah menjadi sulit (Pham et al., 2022; Nurwanda & Honjo, 2023).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan dan melakukan perbandingan kerangka klasifikasi berbasis *threshold* multi-indeks yang dapat direproduksi menggunakan Google Earth Engine untuk analisis perubahan vegetasi multitemporal di Kabupaten Siak selama tahun 2022–2024. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan dan pemantauan lingkungan di wilayah Riau.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan alur kerja klasifikasi vegetasi berbasis *threshold* menggunakan citra Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Kabupaten Siak, Riau?
2. Bagaimana karakteristik spasial dan temporal vegetasi di Kabupaten Siak berdasarkan indeks NDVI, EVI, dan SAVI selama periode 2022–2024?

3. Bagaimana pola perubahan tutupan lahan kelapa sawit dan non-kelapa sawit di Kecamatan Koto Gasib selama periode 2022–2024?
4. Bagaimana tingkat akurasi metode klasifikasi berbasis threshold yang dikembangkan dalam penelitian ini?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan terarah, maka ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Data citra yang digunakan adalah Sentinel-2 Level-2A (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) untuk periode Januari–Desember tahun 2022, 2023, dan 2024.
2. Wilayah studi dibatasi pada Kabupaten Siak, Provinsi Riau, dengan analisis perkebunan kelapa sawit difokuskan pada Kecamatan Koto Gasib.
3. Indeks vegetasi yang digunakan meliputi NDVI, EVI, dan SAVI.
4. Metode klasifikasi yang digunakan adalah klasifikasi berbasis ambang batas (*threshold-based classification*).
5. Platform komputasi yang digunakan adalah Google Earth Engine, sedangkan visualisasi kartografi dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS.
6. Validasi akurasi dilakukan melalui interpretasi visual citra komposit beresolusi tinggi dan peta penggunaan lahan resmi Badan Informasi Geospasial (BIG), tanpa verifikasi lapangan langsung.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan alur kerja klasifikasi vegetasi berbasis *threshold* menggunakan citra Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Kabupaten Siak.
2. Menganalisis karakteristik spasial dan temporal vegetasi di Kabupaten Siak berdasarkan indeks NDVI, EVI, dan SAVI selama periode 2022–2024.

3. Mengidentifikasi dan menganalisis pola perubahan tutupan lahan kelapa sawit dan non-kelapa sawit di Kecamatan Koto Gasib selama periode 2022–2024.
4. Mengevaluasi tingkat akurasi metode klasifikasi berbasis threshold yang dikembangkan menggunakan matriks konfusi, *Overall Accuracy*, dan koefisien Kappa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan maupun penerapannya dalam pengelolaan lingkungan, yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah berupa kerangka klasifikasi vegetasi berbasis *threshold* multi-indeks yang terstandarisasi dan dapat direproduksi menggunakan platform cloud computing Google Earth Engine.
2. Menyediakan informasi spasial berbasis data satelit mengenai dinamika tutupan lahan kelapa sawit di Kabupaten Siak sebagai dasar pengambilan kebijakan perencanaan wilayah dan pengelolaan lingkungan.
3. Membantu pemangku kepentingan perkebunan dalam memantau kondisi dan perubahan lahan perkebunan kelapa sawit secara efisien dan murah biaya.
4. Menjadi acuan metodologis bagi penelitian berikutnya dalam pengembangan teknik klasifikasi perkebunan tropis yang lebih canggih, termasuk integrasi dengan metode *Random Forest* dan data Sentinel-1 SAR.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun secara sistematis agar setiap bab saling berkaitan dan membentuk alur penelitian yang utuh. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab ini

memberikan dasar pemahaman mengenai alasan penelitian dilakukan dan arah yang ingin dicapai pada bab-bab berikutnya.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian, seperti penginderaan jauh, karakteristik citra Sentinel-2, *noise* atmosfer, indeks vegetasi (NDVI, EVI, SAVI), klasifikasi lahan, serta metode median composite. Bab ini menjadi landasan ilmiah bagi metode yang digunakan pada Bab III.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan lokasi penelitian, data dan sumber data, metode pengolahan citra, tahapan reduksi *noise* menggunakan median composite, perhitungan indeks vegetasi, hingga klasifikasi sawit dan non-sawit. Setiap langkah disusun berdasarkan teori yang sudah dijelaskan pada Bab II sehingga membentuk hubungan yang logis antara konsep dan prosedur penelitian.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengolahan citra sebelum dan sesudah reduksi *noise*, perbandingan indeks vegetasi, serta dampaknya terhadap klasifikasi sawit–non sawit. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan hasil tersebut dengan teori pada Bab II dan metode pada Bab III, sehingga menunjukkan relevansi dan konsistensi antar bab.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini merangkum temuan utama penelitian berdasarkan hasil analisis pada Bab IV dan menjawab rumusan masalah pada bab pendahuluan. Selain itu, bab ini memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan metode pada studi yang lebih luas.

BAB 2. DASAR TEORI

2.1 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi mengenai objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh oleh suatu sensor yang tidak berada dalam kontak langsung dengan objek, area, atau fenomena yang dikaji (Jensen, 2015). Dalam konteks pemantauan vegetasi dan tutupan lahan, penginderaan jauh berbasis satelit telah menjadi metode yang paling efisien karena kemampuannya mencakup area yang luas secara berulang dengan biaya yang jauh lebih rendah dibandingkan survei lapangan (Lillesand et al., 2015).

Prinsip dasar penginderaan jauh bergantung pada interaksi antara energi elektromagnetik dengan permukaan bumi. Setiap jenis tutupan lahan, termasuk vegetasi, air, dan lahan terbuka, memiliki karakteristik reflektansi spektral yang khas pada panjang gelombang yang berbeda-beda. Vegetasi yang sehat, misalnya, menunjukkan reflektansi rendah pada pita merah (*Red*) karena penyerapan klorofil dan reflektansi tinggi pada pita inframerah dekat (*Near Infrared/NIR*) akibat hamburan dari struktur sel daun (Campbell & Wynne, 2011). Perbedaan karakteristik spektral inilah yang menjadi dasar bagi penghitungan berbagai indeks vegetasi.

2.2 Citra Sentinel-2

Sentinel-2 adalah misi observasi bumi yang dikembangkan oleh European Space Agency (ESA) sebagai bagian dari Program Copernicus Uni Eropa. Satelit ini dilengkapi dengan *Multispectral Instrument (MSI)* yang mampu merekam data dalam 13 pita spektral, mencakup rentang panjang gelombang dari sinar tampak (*Visible*) hingga inframerah gelombang pendek (*Shortwave Infrared/SWIR*), dengan resolusi spasial yang bervariasi antara 10 meter, 20 meter, dan 60 meter (Delegido et al., 2023).

Sentinel-2 dipilih dalam penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan komparatif dibandingkan sensor lain. Dibandingkan dengan citra Landsat yang

memiliki resolusi spasial 30 meter dan siklus kunjungan ulang 16 hari, atau MODIS dengan resolusi 250–500 meter, Sentinel-2 menawarkan resolusi spasial 10 meter untuk pita-pita utama dan siklus kunjungan ulang 5 hari (Phiri et al., 2022). Keunggulan ini sangat penting untuk mendeteksi perubahan kerapatan kanopi yang halus di perkebunan kelapa sawit tropis. Selain itu, keberadaan pita *Red-Edge* pada Sentinel-2 merupakan keunggulan tambahan karena lebih sensitif terhadap kandungan klorofil dan kondisi stres vegetasi yang tidak tersedia pada sensor generasi sebelumnya (Segarra et al., 2023).

Produk Sentinel-2 Level-2A yang digunakan dalam penelitian ini telah melalui koreksi atmosfer menggunakan algoritma Sen2Cor, sehingga nilai piksel merepresentasikan reflektansi permukaan (*Bottom-of-Atmosphere/BOA*) yang lebih akurat untuk analisis vegetasi dibandingkan reflektansi di atas atmosfer (Immitzer et al., 2022). Rincian karakteristik spektral Sentinel-2 MSI disajikan pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Band Spektral Sentinel-2

No.	Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi	Keterangan
1.	B1	Coastal Aerosol	443	60 m	Deteksi aerosol dan koreksi atmosfer
2.	B2	Blue	490	10 m	Warna alami, batimetri, EVI, dan masking awan
3.	B3	Green	560	10 m	Warna alami dan penilaian kesehatan vegetasi

No.	Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi	Keterangan
4.	B4	Red	665	10 m	NDVI, EVI, SAVI, dan sensitivitas penyerapan klorofil
5.	B5	Red Edge 1	705	20 m	Analisis struktur vegetasi awal
6.	B6	Red Edge 2	740	20 m	Deteksi perubahan vegetasi
7.	B7	Red Edge 3	783	20 m	Analisis biofisika vegetasi
8.	B8	NIR	842	10 m	NDVI, EVI, SAVI, dan pemantauan biomassa vegetasi
9.	B8A	Narrow NIR	865	20 m	Analisis vegetasi spesifik
10.	B9	Water Vapour	945	60 m	Koreksi uap air atmosfer
11.	B11	SWIR 1	1610	20 m	Masking awan, kelembapan tanah, kandungan air vegetasi
12.	B12	SWIR 2	2190	20 m	Masking awan, identifikasi tanah

No.	Band	Nama Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi	Keterangan
					kering, deteksi kebakaran

Sumber: European Space Agency (ESA). (2015). Sentinel-2 User Handbook.

2.3 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) adalah platform komputasi cloud yang dikembangkan oleh Google untuk analisis data geospasial berskala planet (Tamiminia et al., 2023). Platform ini menyediakan akses ke arsip data satelit dan citra penginderaan jauh yang sangat besar, termasuk koleksi lengkap citra Sentinel-2, Landsat, dan MODIS, yang dapat diakses dan diproses secara langsung di server cloud tanpa perlu mengunduh data ke komputer lokal.

Kemampuan GEE dalam memproses data dalam jumlah besar secara efisien menjadikannya alat yang sangat cocok untuk analisis multi-temporal dalam skala besar (Sukoco, 2022). Pengguna dapat menulis skrip JavaScript atau Python untuk melakukan operasi pemrosesan citra, penghitungan indeks spektral, klasifikasi, dan ekspor hasil secara terprogram. Prasetyo et al. (2022) telah mendemonstrasikan bahwa GEE mampu menghasilkan akurasi klasifikasi keseluruhan yang tinggi dalam konteks pemetaan konsesi kelapa sawit di Kalimantan, Indonesia.

2.4 Indeks Vegetasi

2.4.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks vegetasi yang paling banyak digunakan dalam penginderaan jauh. NDVI mengukur kontras spektral antara reflektansi merah (*Red*) dan inframerah dekat (*NIR*), yang mencerminkan penyerapan klorofil pada pita merah dan hamburan kuat dari struktur sel daun pada pita NIR (Al-Doski et al., 2013). NDVI secara luas digunakan dalam pemetaan vegetasi termasuk aplikasi pemantauan kelapa sawit di wilayah

tropis (Wardana et al., 2024). Secara matematis, NDVI pada persamaan 1 dirumuskan sebagai:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai yang lebih tinggi mengindikasikan kerapatan vegetasi yang lebih tinggi. Nilai positif mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang lebat dan sehat, sedangkan nilai mendekati 0 atau negatif mengindikasikan lahan terbuka, badan air, atau lahan tidak bervegetasi yang disajikan pada Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Klasifikasi NDVI

Daerah Pembagian	Nilai NDVI
Non-Vegetasi	$-1 \leq NDVI < 0,2$
Vegetasi Jarang	$0,2 < NDVI < 0,4$
Vegetasi Sedang	$0,4 < NDVI < 0,6$
Vegetasi Rapat	$0,6 NDVI \leq 1$

Sumber : Al-Doski,dkk, 2013

2.4.2 Enhanced Vegetation Index (EVI)

Enhanced Vegetation Index (EVI) dikembangkan untuk mengurangi pengaruh gangguan atmosfer dan efek latar belakang kanopi serta tanah, sehingga memberikan estimasi kondisi vegetasi yang lebih akurat, terutama di area dengan tutupan vegetasi rapat seperti perkebunan kelapa sawit (Matsushita et al., 2022). Berbeda dengan NDVI, EVI mengintegrasikan pita biru (*Blue*) dalam perhitungannya untuk membantu koreksi atmosfer dan menggunakan faktor gain empiris untuk meningkatkan sensitivitas terhadap sinyal vegetasi. Secara matematis, EVI pada persamaan 2 dirumuskan sebagai:

$$EVI = 2.5 \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)} \quad (2)$$

Nilai EVI umumnya berkisar antara -1 hingga +1, dengan vegetasi sehat biasanya memiliki nilai antara 0,20 hingga 0,80. Nilai yang lebih tinggi mengindikasikan vegetasi yang lebih rapat dan produktif.

2.4.3 Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) dirancang untuk mengurangi pengaruh reflektansi tanah, terutama di area dengan tutupan vegetasi jarang. Hal ini sangat relevan dalam konteks perkebunan kelapa sawit, di mana beberapa area di antara kanopi tanaman seringkali masih memperlihatkan tanah terbuka (Huete, 1988). SAVI memperkenalkan faktor koreksi tanah (L), yang dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 0,5 sebagai nilai *default* untuk kondisi vegetasi sedang (Simarmata et al., 2021). Secara matematis, SAVI pada persamaan 2 dinyatakan sebagai:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}(1 + L) \quad (3)$$

Nilai SAVI berkisar dari -1 hingga +1, dengan nilai positif yang tinggi menunjukkan kepadatan vegetasi yang sehat dan kehijauan, sedangkan nilai negatif mewakili area dengan vegetasi minimal atau area yang didominasi oleh pantulan cahaya tanah. Indeks ini dirancang sebagai deskriptor kualitatif untuk meminimalkan pengaruh tanah latar belakang, terutama di area dengan tutupan vegetasi yang jarang, dengan rentang klasifikasi lengkap yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2-3 Klasifikasi SAVI

Kerapatan	Nilai SAVI
Non Vegetasi	-1 - -0.29
Vegetasi Rendah	-0.29 – 0.26
Vegetasi Sedang	0.26 - 0.66
Vegetasi Tinggi	0.66 – 0.99
Vegetasi Sangat Tinggi	0.99 – 1.38

Sumber : hasil pengolahan (2020)

2.5 Klasifikasi Berbasis *Threshold*

Klasifikasi berbasis ambang batas (*threshold-based classification*) adalah metode yang menetapkan kategori tutupan lahan pada setiap piksel berdasarkan apakah nilai indeks vegetasinya berada dalam rentang numerik yang telah ditentukan sebelumnya (Stehman & Foody, 2023). Metode ini efisien secara komputasi, sepenuhnya transparan dalam logika pengambilan keputusannya, dan dapat direproduksi di berbagai dataset tanpa memerlukan data pelatihan berlabel, sehingga sangat cocok untuk aplikasi pemantauan vegetasi operasional (Maxwell et al., 2023).

Meskipun metode pembelajaran mesin seperti *Random Forest* dan SVM sering mencapai akurasi klasifikasi yang lebih tinggi, metode tersebut memerlukan data pelatihan berlabel, sumber daya komputasi yang substansial, dan kurang transparan dalam logika keputusannya. Metode berbasis *threshold* menawarkan *trade-off* antara akurasi dan interpretabilitas yang membuatnya tetap relevan untuk pemantauan operasional (Pham et al., 2022).

2.6 Penilaian Akurasi

Penilaian akurasi dilakukan melalui strategi pengambilan sampel acak bertingkat untuk menghasilkan data referensi kebenaran lapangan untuk peta yang diklasifikasikan. Minimal 50 titik referensi per kelas vegetasi dikumpulkan, didistribusikan secara proporsional terhadap luas kelas menggunakan penempatan acak bertingkat. Label referensi diberikan melalui interpretasi visual citra Google Earth resolusi tinggi dan pengecekan silang terhadap pengetahuan lapangan yang tersedia, suatu prosedur yang konsisten dengan protokol penilaian akurasi penginderaan jauh yang telah ditetapkan (Landis & Koch, 1977).

Berdasarkan matriks kebingungan, beberapa metrik akurasi utama diturunkan, yaitu Akurasi Keseluruhan (OA), Akurasi Produsen (PA), Akurasi Pengguna (UA), dan Koefisien Kappa (κ). Akurasi Keseluruhan (OA) menggambarkan persentase keseluruhan data yang diklasifikasikan dengan benar di semua sampel yang diuji, sehingga memberikan gambaran umum tentang tingkat keberhasilan klasifikasi.

Secara matematis, OA dihitung sebagai rasio jumlah sampel yang benar pada diagonal utama matriks kebingungan terhadap jumlah total sampel.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k X_{ii}}{N} \quad (4)$$

Keterangan:

X_{ii} : Nilai diagonal (klasifikasi yang benar di kelas i)

N : Total semua sampel

k : Jumlah kelas

Akurasi Produsen (PA) digunakan untuk mengukur akurasi dari perspektif data referensi dan terkait dengan kesalahan kelalaian, yaitu jumlah objek aktual dalam kelas yang terdeteksi dengan benar oleh model klasifikasi di mana nilai ini menunjukkan proporsi sampel referensi dalam kelas tertentu yang berhasil diklasifikasikan dengan benar. Secara matematis, PA dirumuskan sebagai:

$$PA_i = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^k X_{ij}} \quad (5)$$

Keterangan:

X_{ii} : Jumlah sampel sejati di kelas i

$\sum X_{ij}$: Total referensi di kelas i

Sebaliknya, Akurasi Pengguna (UA) menunjukkan akurasi dari perspektif hasil peta dan terkait dengan kesalahan komisi, yang merupakan tingkat di mana kita dapat yakin bahwa kelas yang dipetakan benar-benar sesuai dengan kondisi aktual di bidang yang menggambarkan proporsi kebenaran kelas dalam hasil klasifikasi terhadap semua piksel yang dipetakan ke kelas tersebut. Secara matematis, UA dinyatakan sebagai:

$$UA_i = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^k X_{ji}} \quad (6)$$

Keterangan:

X_{ii} : Jumlah sampel sejati di kelas i

$\sum X_{ji}$: Total hasil klasifikasi di kelas i

Selain itu, Koefisien Kappa (κ) juga digunakan untuk mengukur tingkat kesepakatan antara hasil klasifikasi dan data referensi, dengan mempertimbangkan kemungkinan kesepakatan acak. Dengan demikian, nilai Kappa memberikan ukuran akurasi yang lebih kuat daripada hanya menggunakan Akurasi Keseluruhan, yang memperhitungkan kesepakatan aktual dan kesepakatan yang diharapkan secara acak. Secara matematis, Koefisien Kappa dirumuskan sebagai:

$$k = \frac{N \sum X_{ii} - \sum (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum (X_{i+} X_{+i})} \quad (7)$$

Keterangan:

N : Total sampel

X_{ii} : Diagonal utama matriks kebingungan

X_{i+} : Total baris i

X_{+i} : Total kolom i

Ambang penerimaan mengikuti kriteria Landis dan Koch, $OA \geq 80\%$ dan $\kappa \geq 0,60$ diperlukan agar klasifikasi dianggap memuaskan. Jika ambang batas tidak terpenuhi, parameter klasifikasi (ambang indeks, batas kelas) direvisi secara berulang.

2.7 Penelitian yang Relevan

Penelitian relevan di bawah ini merupakan kajian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian ini, mencakup penggunaan citra Sentinel-2, Google Earth Engine, indeks vegetasi, dan klasifikasi tutupan lahan di wilayah tropis. Pemaparan penelitian relevan disajikan pada Tabel 2-4 berikut.

Tabel 2-4 Penelitian yang Relevan

No.	Peneliti & Tahun	Judul	Metode	Hasil Utama
1.	Prasetyo et al. (2022)	Assessing tropical forest cover and carbon stocks using Sentinel-2 for oil palm mapping in Kalimantan	Random Forest, Sentinel-2	OA > 98%, pemetaan konsesi kelapa sawit akurat
2.	Tamiminia et al. (2023)	Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis	Systematic Review, GEE	GEE unggul untuk analisis geospasial berskala besar
3.	Pham et al. (2022)	Improving accuracy of multitemporal vegetation monitoring using NDVI threshold classification	NDVI Threshold + Ensemble ML	Threshold terbukti kompetitif untuk monitoring vegetasi
4.	Nurwanda & Honjo (2023)	Spatiotemporal analysis of vegetation dynamics using NDVI from Sentinel-2	NDVI Time Series, Sentinel-2	Perubahan vegetasi terdeteksi efektif melalui analisis temporal
5.	Wardana et al. (2024)	Perbandingan Indeks Vegetasi NDVI dan SAVI di Kebun Kelapa Sawit pada	NDVI, SAVI	SAVI lebih stabil dari NDVI di kondisi kering

No.	Peneliti & Tahun	Judul	Metode	Hasil Utama
Kondisi El Nino dan La Nina				
6.	Novianti et al. (2024)	Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Kota Semarang Menggunakan Google Earth Engine	GEE, Sentinel-2	GEE efektif untuk analisis perubahan tutupan lahan
7.	Adrian et al. (2023)	Pola Spasial Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan GEE di Kabupaten Majalengka	GEE, Sentinel-2	Deteksi perubahan lahan pertanian dan perkebunan
8.	Phiri et al. (2022)	Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review	Literature Review	Sentinel-2 unggul untuk pemetaan tutupan lahan
9.	Segarra et al. (2023)	Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features	Sentinel-2, Machine Learning	Sentinel-2 sangat cocok untuk pertanian presisi
10.	Gahesa et al. (2025)	Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi Hutan Kab. Lima Puluh Kota Menggunakan Citra Sentinel-2A	NDVI, Sentinel-2A	Deteksi penurunan kerapatan hutan berbasis NDVI

Sumber : Penulis, 2026

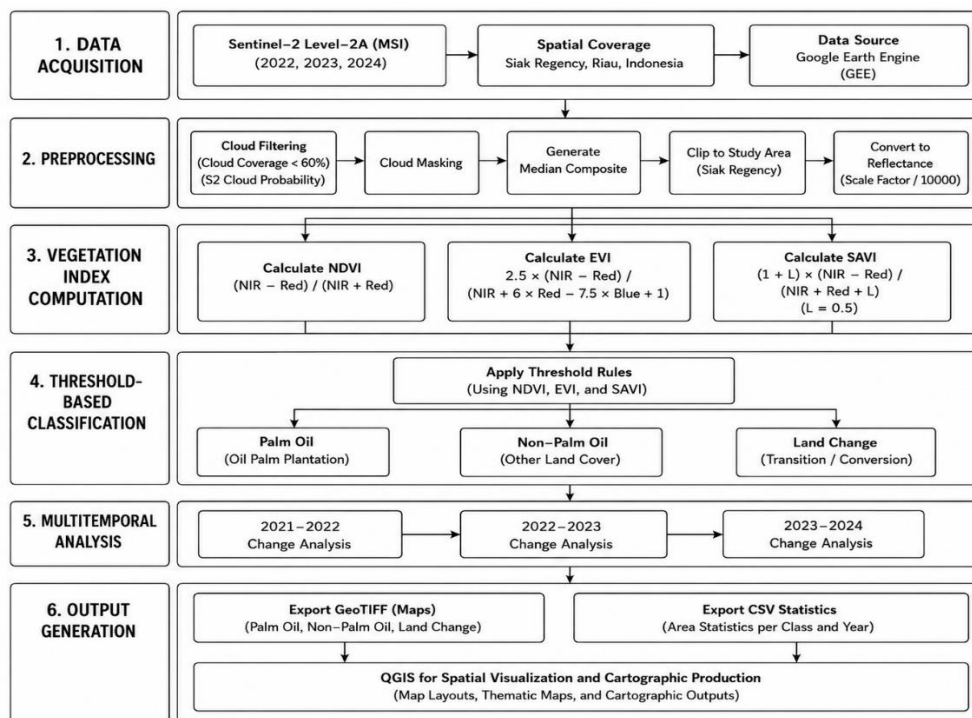
Berdasarkan Tabel 2-4, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Sentinel-2 bersama Google Earth Engine telah terbukti efektif dalam berbagai konteks pemantauan vegetasi dan tutupan lahan. Keunggulan penelitian ini dibandingkan studi-studi sebelumnya terletak pada pengembangan kerangka klasifikasi berbasis threshold multi-indeks (NDVI, EVI, dan SAVI) yang terstandarisasi dan dapat direproduksi untuk pemantauan kelapa sawit multitemporal khususnya di Kabupaten Siak, Riau.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan kerangka pemrosesan dan klasifikasi citra komputasional enam tahap terstruktur untuk menganalisis dinamika vegetasi perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Siak. Kerangka ini mengintegrasikan Google Earth Engine untuk pemrosesan berbasis *cloud* berskala besar dan QGIS untuk visualisasi spasial serta produksi kartografi. Setiap tahap menghasilkan luaran yang menjadi masukan langsung bagi tahap berikutnya, sehingga memastikan rantai analitik yang dapat dilacak dan direproduksi.

Tahapan penelitian secara berurutan adalah sebagai berikut: (1) Pengumpulan Data, (2) Pra-Pemrosesan Citra, (3) Perhitungan Indeks Vegetasi, (4) Klasifikasi Berbasis *Threshold*, (5) Visualisasi Spasial di QGIS, dan (6) Uji Akurasi. Keseluruhan alur penelitian digambarkan pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Kerangka Penelitian

3.2 Alat dan Material

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak, sedangkan material penelitian berupa data citra satelit yang digunakan sebagai sumber utama dalam proses pengolahan dan analisis data. Adapun alat dan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini berupa satu unit laptop yang memiliki spesifikasi minimal prosesor Intel Core i3 generasi ke-8 dengan memori (RAM) sebesar 8 GB, digunakan untuk menjalankan proses pengolahan dan analisis data.

3.2.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan meliputi: (1) Google Earth Engine (GEE) sebagai platform komputasi cloud untuk akuisisi, pra-pemrosesan, penghitungan indeks vegetasi, dan klasifikasi citra; (2) QGIS versi 3.38 sebagai perangkat lunak Sistem Informasi Geografis *open-source* untuk visualisasi spasial, produksi peta kartografi, dan analisis lanjutan; serta (3) browser web Microsoft Edge untuk mengakses antarmuka GEE Code Editor.

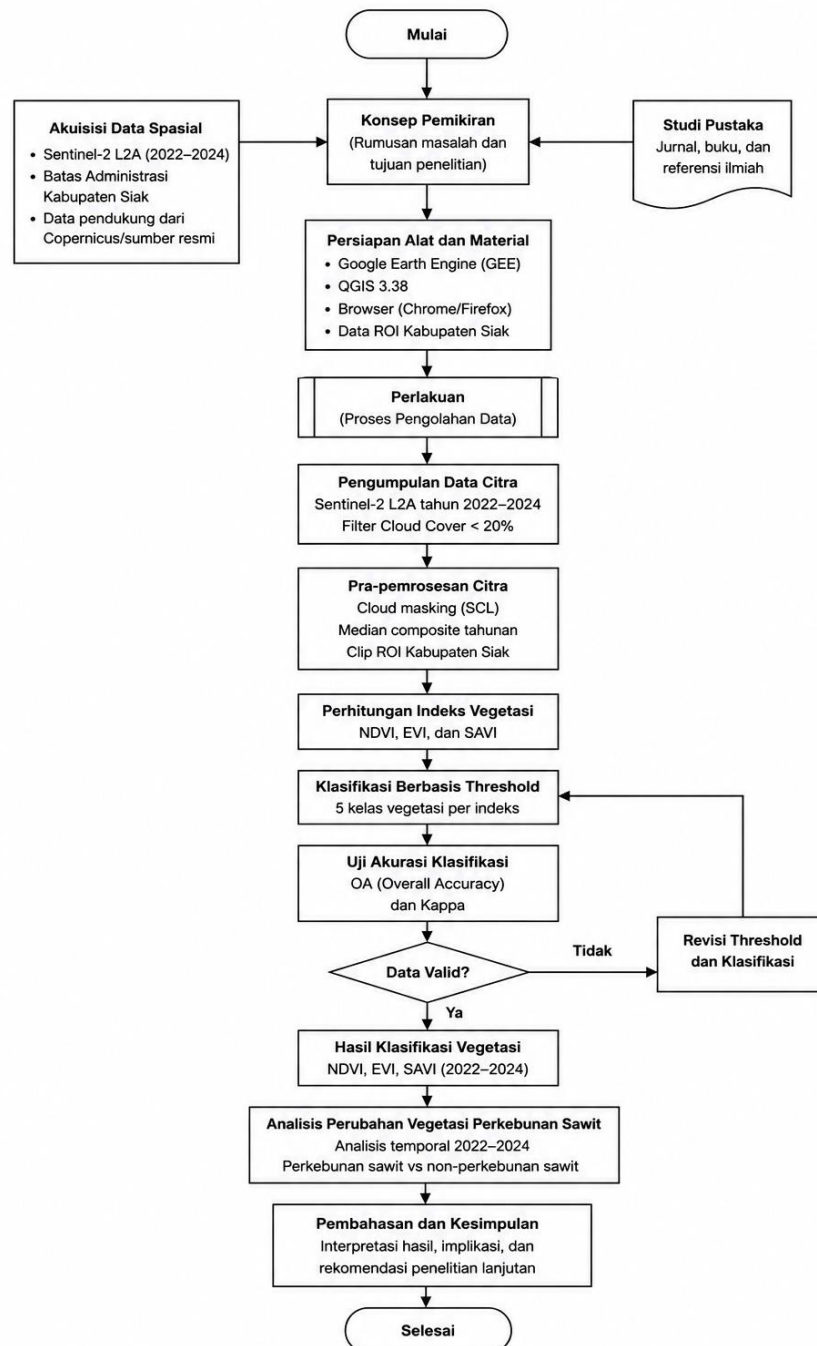
3.2.3 Material

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas: (1) Citra Sentinel-2 Level-2A untuk periode Januari–Desember tahun 2022, 2023, dan 2024; (2) Data *shapefile* batas administrasi Kabupaten Siak dan Kecamatan Koto Gasib; serta (3) Peta penggunaan lahan resmi Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai data referensi uji akurasi

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini disusun berdasarkan metode yang telah ditetapkan untuk mencapai tujuan penelitian dan menjawab rumusan masalah yang diajukan. Tahapan penelitian meliputi studi pustaka, akuisisi data, pengolahan data citra, perhitungan indeks vegetasi, klasifikasi vegetasi, analisis hasil, hingga penarikan

kesimpulan. Alur pelaksanaan penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Tahapan Prosedur Penelitian

3.3.1 Pengumpulan Data

Tahap pertama penelitian dimulai dengan mendefinisikan batas wilayah studi menggunakan *shapefile* administrasi Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Data vektor ini diunggah ke Google Earth Engine sebagai aset dan digunakan sebagai batas spasial utama sepanjang proses analisis. Dengan pendekatan ini, seluruh proses pengumpulan data citra dibatasi secara ketat pada wilayah studi, sehingga meningkatkan efisiensi komputasi dan menjaga konsistensi spasial antar waktu.

Data utama yang digunakan adalah citra Sentinel-2 Level-2A (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED) yang telah melalui koreksi atmosfer menggunakan algoritma Sen2Cor. Citra ini memiliki keunggulan resolusi spasial tinggi (10–20 m), cakupan spektral lebar (13 pita), dan waktu kunjungan ulang yang relatif cepat (± 5 hari), sehingga sangat cocok untuk pemantauan dinamika vegetasi tropis yang berubah cepat seperti perkebunan kelapa sawit (Phiri et al., 2022). Data difilter berdasarkan periode tahunan (Januari–Desember) untuk tahun 2022, 2023, dan 2024, dengan penyaringan awal tutupan awan $\leq 20\%$ menggunakan metadata CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE.

3.3.2 Pra-Pemrosesan Citra

Pada tahap pra-pemrosesan, masking awan dilakukan menggunakan pita *Scene Classification Layer (SCL)* dari produk Sentinel-2 Level-2A. SCL menyediakan klasifikasi piksel berdasarkan kondisi permukaan dan atmosfer. Dalam penelitian ini, piksel dengan kelas 3 (bayangan awan), 8 (awan kemungkinan sedang), 9 (awan kemungkinan tinggi), dan 10 (awan cirrus) dihilangkan dari analisis karena potensinya dalam mendistorsi nilai reflektansi permukaan.

Setelah *masking*, komposit tahunan dibentuk menggunakan metode median *reducer* pada semua citra yang telah difilter untuk setiap periode Januari–Desember (2022–2024). Metode median dipilih karena lebih robust terhadap outlier seperti sisa awan, bayangan, dan fenomena temporal ekstrem (misalnya banjir atau kebakaran). Pendekatan ini menghasilkan representasi spektral yang stabil dan lebih merepresentasikan kondisi rata-rata permukaan lahan dalam satu tahun.

pengamatan. Proses ini diimplementasikan menggunakan fungsi `ee.Reducer.median()` di Google Earth Engine. Hasil akhir tahap ini adalah citra komposit tahunan bebas awan untuk tahun 2022, 2023, dan 2024, yang kemudian dipotong sesuai batas wilayah studi dan diproyeksikan ulang ke sistem koordinat UTM (EPSG:32748/32749) dengan resolusi spasial 10 meter.

3.3.3 Perhitungan Indeks Vegetasi

Tiga indeks vegetasi diturunkan dari citra komposit median tahunan untuk mengkarakterisasi kondisi vegetasi dari perspektif spektral yang berbeda. Kombinasi NDVI, EVI, dan SAVI memberikan representasi kondisi vegetasi yang lebih komprehensif dengan menangkap variasi kehijauan, kepadatan biomassa, dan pengaruh latar belakang tanah. Seluruh penghitungan dilakukan di dalam Google Earth Engine menggunakan operasi aritmetika pita standar. Hasil berupa raster multipita yang berisi lapisan NDVI, EVI, dan SAVI diekspor dari Google Earth Engine ke Google Drive dalam format GeoTIFF dengan resolusi spasial 10 meter.

3.3.4 Klasifikasi Berbasis *Threshold*

Klasifikasi berbasis *threshold* menetapkan kategori tutupan lahan pada setiap piksel berdasarkan apakah nilai indeks vegetasinya berada dalam rentang numerik yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai *threshold* yang diterapkan dalam penelitian ini mengacu pada literatur indeks vegetasi yang diadaptasi untuk kondisi perkebunan kelapa sawit tropis. Untuk klasifikasi biner kelapa sawit vs. non-kelapa sawit di Kecamatan Koto Gasib, $\text{threshold NDVI} \geq 0,5$ digunakan sebagai diskriminan utama untuk identifikasi kanopi kelapa sawit, konsisten dengan profil spektral yang didokumentasikan untuk kelapa sawit matang di kondisi tropis.

Implementasi JavaScript GEE mengodekan klasifikasi sebagai serangkaian operasi citra kondisional (`ee.Image.where()`), menghasilkan raster teklasifikasi diskrit sebagai keluaran. Pipeline algoritmik ini dapat direproduksi sepenuhnya dari kode yang terdokumentasi.

3.3.5 Visualisasi Spasial di QGIS

Raster GeoTIFF yang diekspor dari Google Earth Engine kemudian diimpor ke perangkat lunak QGIS untuk produksi peta (kartografi). Pada tahap ini, setiap lapisan raster diverifikasi terlebih dahulu untuk sistem referensi koordinatnya (CRS) guna memastikan semua data berada dalam proyeksi yang konsisten. Simbologi setiap raster disesuaikan menggunakan *color ramp* yang merepresentasikan kelas vegetasi secara visual: merah untuk non-vegetasi, oranye untuk vegetasi sangat jarang, kuning untuk vegetasi jarang, hijau muda untuk vegetasi sedang, dan hijau tua untuk vegetasi rapat. Peta akhir dikompilasi menggunakan modul *Print Layout* di QGIS, yang memungkinkan integrasi sistematis berbagai elemen kartografi.

3.3.6 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan melalui strategi pengambilan sampel acak terstratifikasi untuk menghasilkan data ground truth referensi bagi peta teklasifikasi. Minimum 50 titik referensi per kelas vegetasi dikumpulkan, didistribusikan secara proporsional terhadap luas kelas menggunakan penempatan acak terstratifikasi. Label referensi ditetapkan melalui interpretasi visual citra komposit Google Earth beresolusi tinggi dan pengecekan silang dengan pengetahuan lapangan yang tersedia, konsisten dengan protokol uji akurasi penginderaan jauh yang baik.

Berdasarkan matriks konfusi, beberapa metrik akurasi utama diturunkan, meliputi *Overall Accuracy (OA)*, *Producer's Accuracy (PA)*, *User's Accuracy (UA)*, dan Koefisien Kappa (κ). Penerimaan hasil klasifikasi mengikuti kriteria Landis & Koch (1977): $OA \geq 80\%$ dan $\kappa \geq 0,60$ diperlukan agar klasifikasi dianggap memuaskan. Apabila threshold tidak terpenuhi, parameter klasifikasi (*threshold* indeks, batas kelas) direvisi secara iteratif.

3.3.7 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Riset Geoinformatika BRIN, Cibinong, Kabupaten Bogor. Analisis data dilaksanakan secara komputasional menggunakan

platform Google Earth Engine dan QGIS. Waktu pelaksanaan penelitian disajikan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Oktober	November	Desember	Januari	Februari	Maret
1.	Studi Literatur & Pengumpulan Data	✓					
2.	Pra-Pemrosesan Citra		✓				
3.	Perhitungan Indeks Vegetasi		✓	✓			
4.	Klasifikasi Threshold			✓	✓		
5.	Visualisasi QGIS & Pemetaan				✓	✓	
6.	Uji Akurasi & Analisis					✓	✓
7.	Penyusunan Laporan Skripsi					✓	✓

Sumber: Penulis, 2026

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Batas Administrasi Kabupaten Siak

Batas administrasi Kabupaten Siak dalam format *shapefile* (SHP) berhasil diunggah ke Google Earth Engine sebagai asset dan diverifikasi terhadap data batas resmi yang diterbitkan melalui Quantum Geographic Information System untuk memastikan kesesuaian spasial dan akurasi geometrik wilayah kajian. Wilayah kajian mencakup area dengan total luas kurang lebih 841.798 hektar dan meliputi 14 kecamatan di Kabupaten Siak. Tampilan batas administrasi yang telah terintegrasi pada lingkungan Google Earth Engine disajikan pada Gambar 4-1.

Asset details: BATAS_ADMINISTRASI_AR (Table) [DELETE](#) [SHARE](#) [IMPORT](#) ☐ Edit

DESCRIPTION		FEATURES				PROPERTIES	
Feature Index	KAB_KOTA (String)	KECAMATAN (String)	KELURAHAN (String)	PROV (String)	SUMBER (String)	luas (Float)	system:index (String)
0	SIK	Bunga Raya	Kampung Tuah Indrapura	RIAU	Bappeda Kab. Siak Prov. Riau	3268.36	
1	SIK	Bunga Raya	Kampung Jaya Pura	RIAU	Bappeda Kab. Siak Prov. Riau	1022.45	
2	SIK	Bunga Raya	Kampung Buntan Lestari	RIAU	Bappeda Kab. Siak Prov. Riau	1180.6	
3	SIK	Bunga Raya	Kampung Kemuning Muda	RIAU	Bappeda Kab. Siak Prov. Riau	913.387	
		Bunga	Kampung		Bappeda Kab. Siak		

Gambar 4-1 Batas Administrasi (SHP) Kabupaten Siak pada Google Earth Engine

4.1.2 Hasil Pengumpulan Data dan Pra-Pengolahan Citra

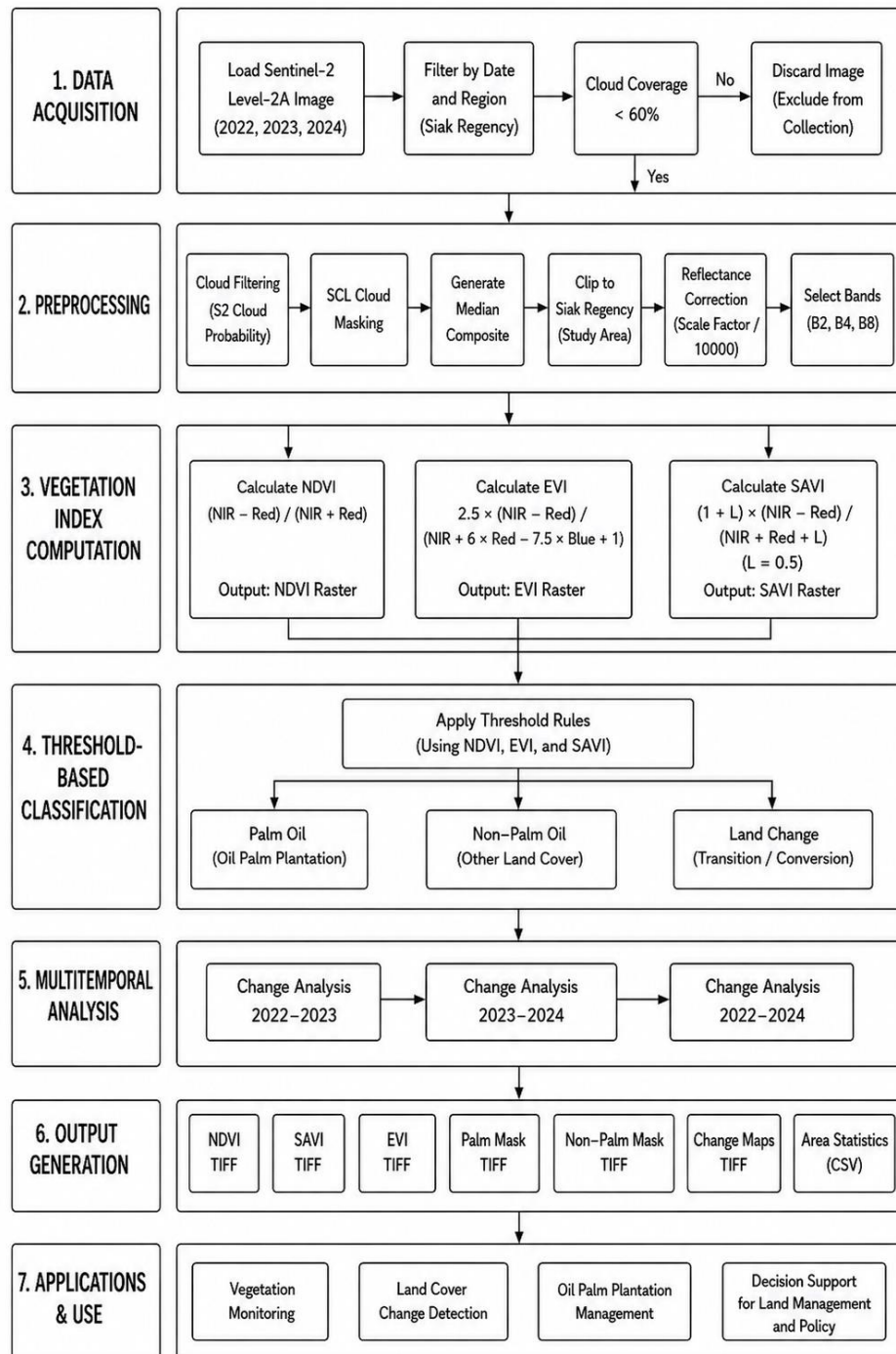
Koleksi citra Sentinel-2 Level-2A tahunan yang difilter untuk periode 2022, 2023, dan 2024 serta dipotong sesuai batas *region of interest* (ROI), menghasilkan masing-masing 387 scene (2022), 412 scene (2023), dan 398 scene (2024) sebelum

dilakukan pemfilteran awan. Data tersebut menunjukkan ketersediaan citra yang cukup padat untuk analisis deret waktu (time series).

Setelah dilakukan pemfilteran berdasarkan ambang batas tutupan awan $\leq 20\%$, jumlah citra yang digunakan dalam analisis berkurang karena hanya scene dengan kualitas spasial baik yang dipertahankan. Proses ini memastikan data yang digunakan untuk komposit memiliki gangguan awan yang minimal sehingga lebih andal untuk analisis selanjutnya. Tahap pra-pengolahan dimulai dengan masking awan menggunakan band *Scene Classification Layer* (SCL) pada data Sentinel-2 Level-2A, di mana piksel yang termasuk kelas 3 (bayangan awan), 8 (awan probabilitas sedang), 9 (awan probabilitas tinggi), dan 10 (awan cirrus tipis) dihilangkan dari dataset. Proses ini dilakukan pada setiap citra dalam koleksi tahunan, sehingga hanya piksel dengan kondisi optik yang jernih yang dipertahankan untuk analisis lebih lanjut.

Hasil proses masking menunjukkan bahwa sekitar 12-18% piksel pada setiap stack citra tahunan berhasil dihilangkan, dengan jumlah yang bervariasi tergantung kondisi klimatologi awan setiap tahun. Pada tahun 2022, frekuensi tutupan awan tertinggi tercatat khususnya di Kecamatan Tualang dan Kandis bagian barat. Kondisi ini menyebabkan masih tersisanya sedikit artefak bayangan awan pada beberapa lokasi tertentu meskipun telah dilakukan masking berbasis SCL.

Untuk mengatasi gangguan yang masih tersisa tersebut, tahapan berikutnya dalam kerangka kerja penelitian adalah pembentukan komposit temporal menggunakan metode median *compositing*, sebagaimana digambarkan pada Gambar 4-2. Pada tahap ini, seluruh citra yang telah di-*masking* digabungkan menjadi satu citra representatif tahunan dengan menghitung nilai median untuk setiap piksel. Pendekatan ini efektif dalam mengurangi *outlier*, termasuk yang disebabkan oleh bayangan awan residual dan variasi vegetasi musiman akibat banjir atau kekeringan.

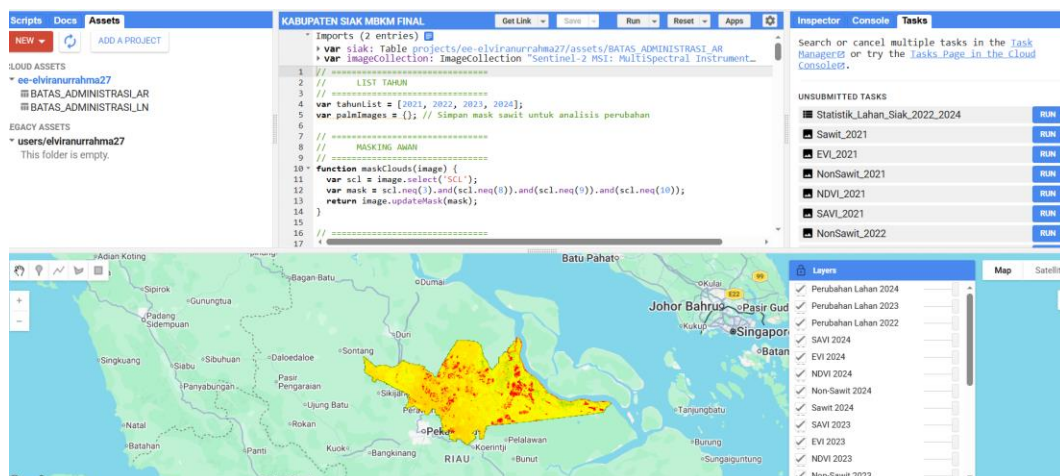


Gambar 4-2 Kerangka Kerja Penelitian untuk Pemantauan Vegetasi Multitemporal di Kabupaten Siak (2022-2024) Menggunakan Sentinel-2 pada Google Earth Engine

Hasil dari proses ini adalah citra komposit median tahunan yang stabil, konsisten secara radiometrik, dan relatif bebas awan untuk setiap tahun penelitian (2022, 2023, dan 2024). Konsistensi radiometrik ini sangat penting karena

memastikan nilai reflektansi antar piksel dapat dibandingkan secara valid pada analisis selanjutnya, khususnya dalam perhitungan indeks vegetasi. Selanjutnya, citra komposit yang telah diproses diekspor dalam format GeoTIFF dengan resolusi spasial 10 meter ke Google Drive. Data inilah yang kemudian digunakan untuk menghitung indeks vegetasi (NDVI, EVI, dan SAVI) sesuai dengan kerangka kerja penelitian.

Hasil akhir dari tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4-3, yang menunjukkan hasil pemrosesan dan klasifikasi berdasarkan citra komposit pada lingkungan Google Earth Engine. Gambar tersebut menampilkan distribusi spasial hasil klasifikasi setelah melalui tahapan masking awan dan komposit median, sehingga menghasilkan peta yang lebih bersih dan representatif untuk analisis selanjutnya.

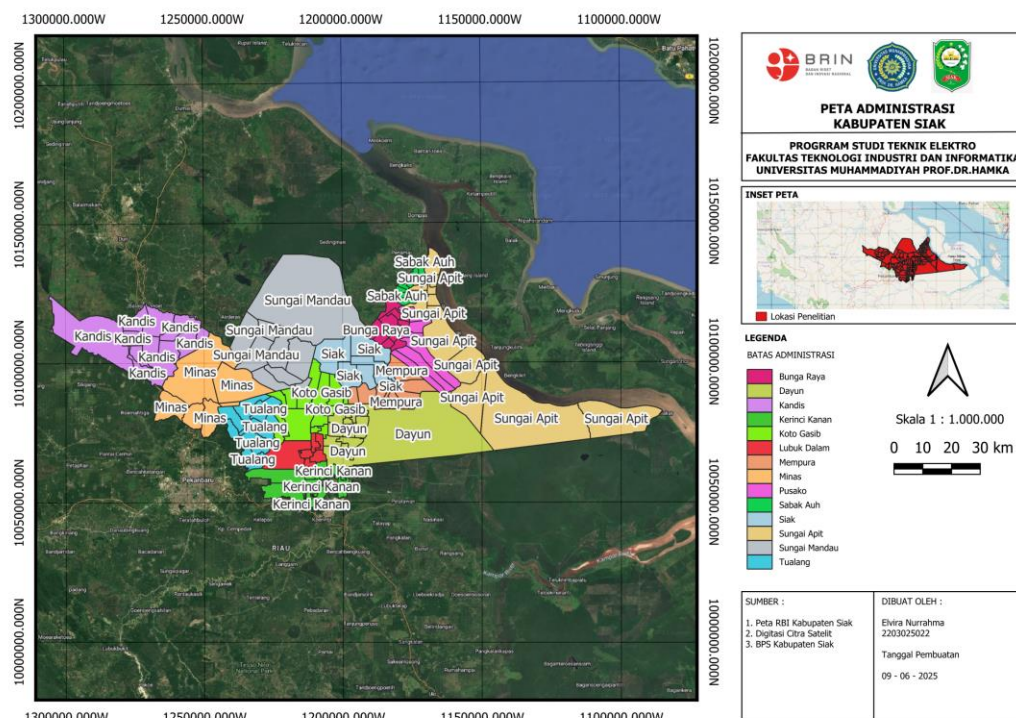


Gambar 4-3 Hasil Klasifikasi pada Google Earth Engine Kabupaten Siak

Indeks vegetasi dihitung pada level piksel (per pixel) untuk seluruh citra komposit tahunan yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya. Artinya, setiap piksel pada citra dianalisis secara individual untuk memperoleh nilai indeks vegetasi berdasarkan nilai reflektansi spektralnya. Raster NDVI, EVI, dan SAVI yang dihasilkan kemudian disimpan dan diekspor dalam format GeoTIFF multiband, sehingga ketiga indeks tersebut terdapat dalam satu file raster yang sama dan dapat dianalisis secara simultan di QGIS. Statistik ringkasan untuk setiap indeks vegetasi yang dihasilkan, seperti nilai minimum, maksimum, dan distribusi

nilai, disajikan pada subbab klasifikasi berikutnya sebagai dasar penentuan ambang batas klasifikasi.

Raster indeks vegetasi yang dihasilkan menunjukkan kontras spektral yang kuat antara area dengan vegetasi rapat di bagian tengah dan timur Kabupaten Siak, seperti Dayun, Lubuk Dalam, dan Koto Gasib, dengan area di bagian barat seperti Tualang, Minas, dan Kandis yang didominasi oleh penggunaan lahan campuran industri dan permukiman. Pola ini konsisten dengan kondisi penggunaan lahan yang telah diketahui sebelumnya di wilayah tersebut. Seluruh indeks vegetasi (NDVI, EVI, dan SAVI) dihitung di dalam Google Earth Engine menggunakan operasi aritmetika band standar, seperti perbandingan antara band near-infrared (NIR), *Red* dan *Blue*. Hasilnya kemudian divalidasi dengan membandingkan distribusi nilai piksel yang dihasilkan terhadap profil spektral terpublikasi untuk vegetasi tropis dan perkebunan kelapa sawit, guna memastikan nilai indeks yang diperoleh berada dalam rentang yang wajar dan konsisten dengan karakteristik vegetasi yang sebenarnya.



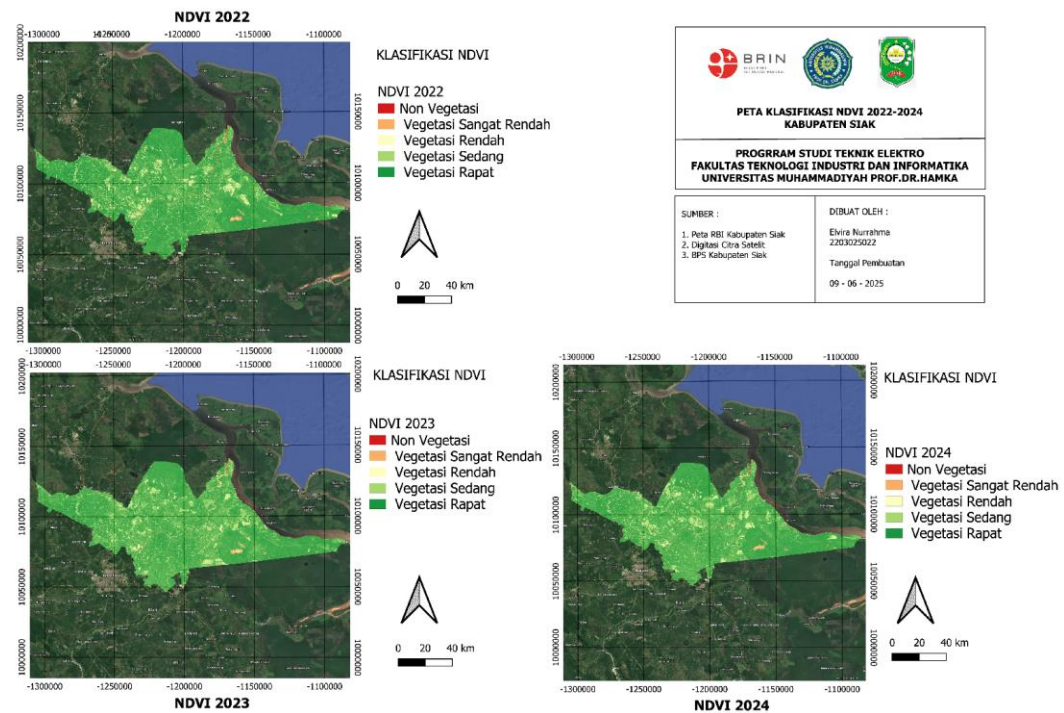
Gambar 4-4 Peta Administrasi Kabupaten Siak Hasil Visualisasi pada QGIS

Hasil ekspor raster GeoTIFF dari platform *cloud computing* kemudian dilanjutkan dengan tahap visualisasi dan analisis spasial lanjutan menggunakan perangkat lunak QGIS, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4-4 di atas. Peta administrasi Kabupaten Siak, Provinsi Riau, disajikan pada sistem koordinat geografis dengan skala 1:1.000.000 dan pembagian warna yang berbeda untuk memudahkan identifikasi visual terhadap 14 kecamatan, mulai dari Bunga Raya hingga Tualang. Secara geografis, wilayah ini dicirikan oleh aliran dominan Sungai Siak di bagian tengah dan dilengkapi peta inset yang menunjukkan posisi relatif lokasi penelitian dalam konteks keseluruhan Provinsi Riau.

4.1.3 Hasil Klasifikasi NDVI

Analisis spasial untuk periode 2022-2024 mengidentifikasi lima kelas kerapatan vegetasi, mulai dari non-vegetasi hingga vegetasi rapat, dengan dominasi konsisten kelas vegetasi sedang hingga rapat pada bagian tengah dan timur Kabupaten Siak (Gambar 4.5). Wilayah ini meliputi Kecamatan Dayun, Lubuk Dalam, Koto Gasib, dan sebagian Sungai Apit yang secara fungsional merupakan perkebunan kelapa sawit, hutan produksi, serta area dengan vegetasi alami yang masih terjaga.

Sementara itu, vegetasi sangat rendah hingga non-vegetasi umumnya tersebar di wilayah barat dan barat daya, seperti Kecamatan Tualang, Kandis, dan sebagian Minas, yang didominasi oleh permukiman padat, aktivitas industri, dan land clearing. Antara tahun 2022 dan 2023 terdeteksi peningkatan signifikan dari kelas vegetasi rendah menjadi sedang atau rapat, yang dipengaruhi oleh pertumbuhan perkebunan kelapa sawit baru, pemulihan vegetasi sekunder, atau pola curah hujan. Namun pada tahun 2024 terjadi penurunan kembali kualitas vegetasi di wilayah barat akibat aktivitas land clearing baru, konversi lahan, serta faktor musiman seperti kekeringan panjang selama periode akuisisi data satelit.



Gambar 4-5 Peta Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

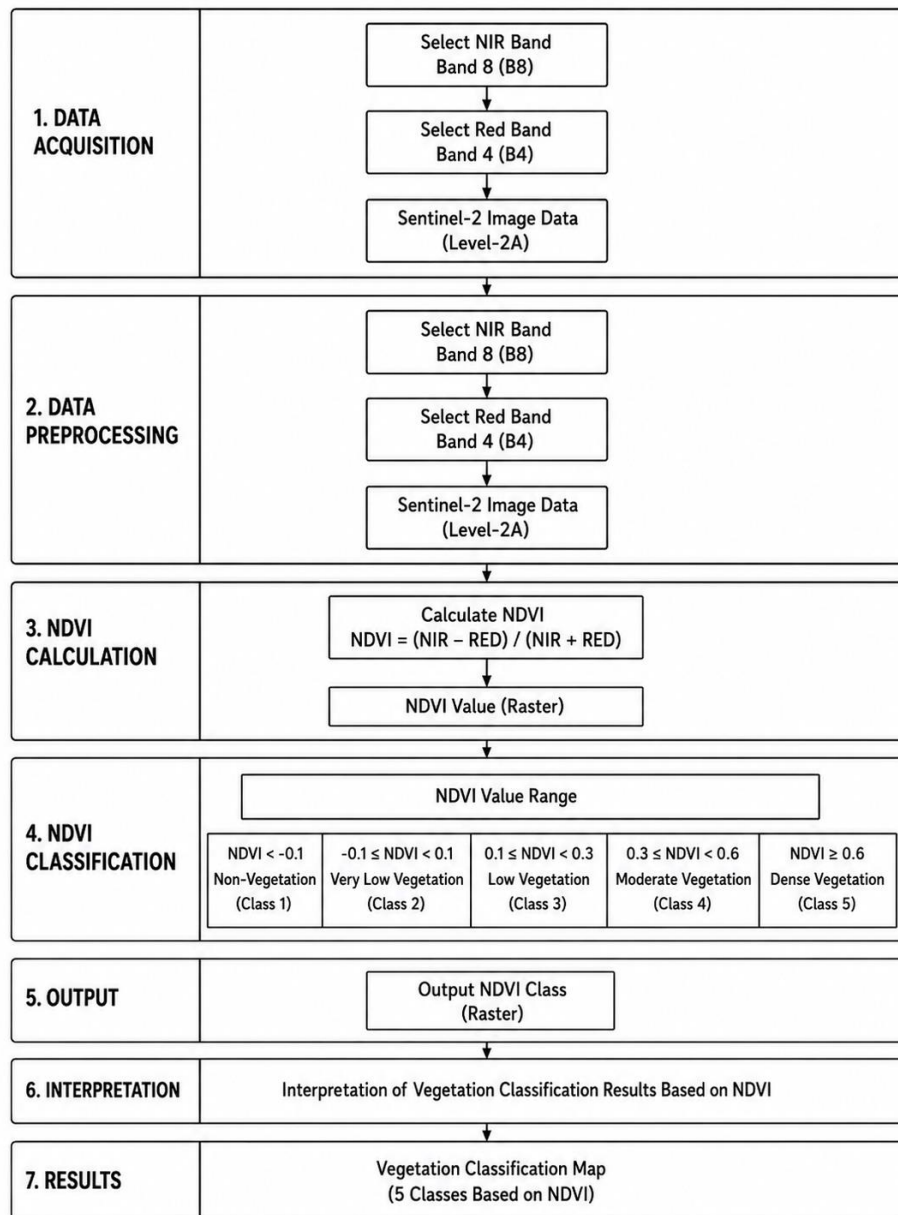
Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4-1, hasil klasifikasi NDVI menunjukkan fluktuasi kondisi vegetasi di Kabupaten Siak selama periode 2022-2024. Pada tahun 2022, nilai NDVI tertinggi mencapai $>0,916$ (vegetasi rapat) yang mendominasi wilayah tengah dan timur, sedangkan nilai terendah $-0,422$ (non-vegetasi) terkonsentrasi pada area industri dan permukiman seperti Tualang dan Minas. Pada tahun 2023, terjadi peningkatan batas atas nilai NDVI menjadi $>0,926$ yang mengindikasikan pertumbuhan kelapa sawit atau regenerasi vegetasi, sementara nilai minimum menurun menjadi $-0,585$ akibat perluasan lahan terbuka atau area tergenang air. Memasuki tahun 2024, nilai maksimum sedikit menurun menjadi $>0,912$, disertai pergeseran batas bawah pada kelas vegetasi rendah dan sedang, yang mengindikasikan adanya dinamika perubahan dan penurunan kerapatan vegetasi secara lokal di beberapa area.

Tabel 4-1 Hasil Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

Klasifikasi NDVI	Tahun 2022	Tahun 2023	Tahun 2024
Non Vegetasi	-0,422 – -0,087	-0,585 – -0,207	-0,553 – -0,186
Vegetasi Sangat Rendah	-0,087 – 0,246	-0,207 – 0,170	-0,186 – 0,179
Vegetasi Rendah	0,246 – 0,581	0,170 – 0,548	0,179 – 0,546
Vegetasi Sedang	0,581 – 0,916	0,548 – 0,926	0,546 – 0,912
Vegetasi Rapat	>0,916	>0,926	>0,912

Sumber : Penulis, 2026

Kerangka kerja penelitian dan proses klasifikasi secara keseluruhan yang digunakan untuk menghasilkan kelas vegetasi berbasis NDVI digambarkan pada Gambar 4-6. Kerangka kerja ini merangkum tahapan berurutan mulai dari akuisisi data, pra-pengolahan, perhitungan NDVI, klasifikasi berbasis ambang batas, hingga interpretasi tingkat kerapatan vegetasi, di mana setiap tahapan saling terhubung secara sistematis sehingga konsistensi analisis klasifikasi vegetasi tetap terjaga.

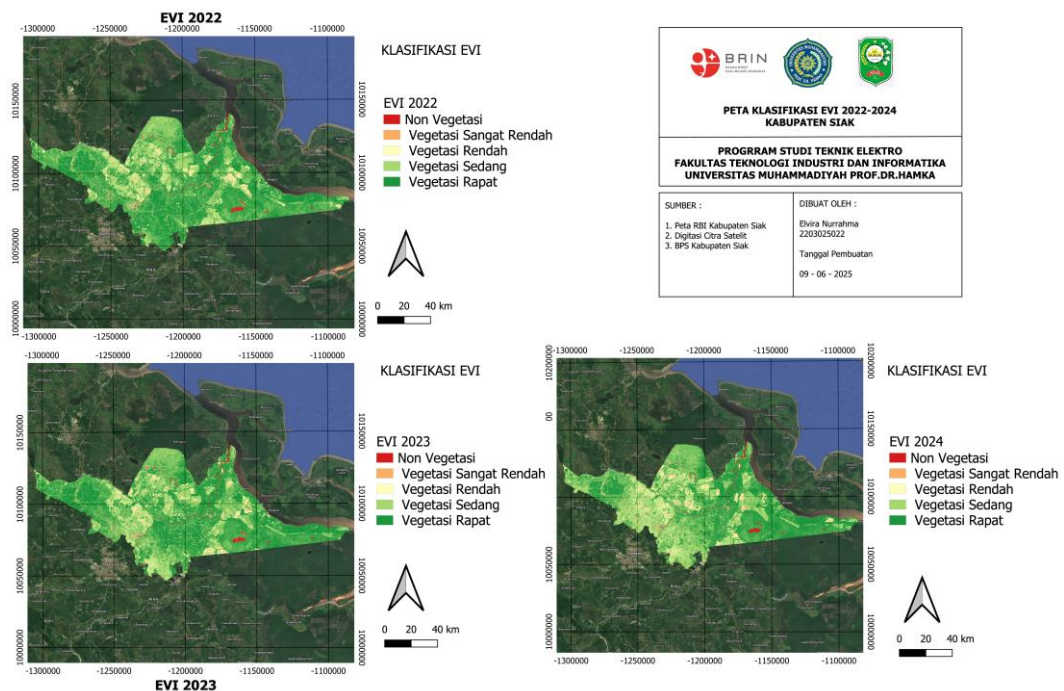


Gambar 4-6 Kerangka Klasifikasi NDVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

4.1.4 Hasil Klasifikasi EVI

Klasifikasi *Enhanced Vegetation Index (EVI)* dalam penelitian ini dibagi ke dalam lima tingkat kerapatan vegetasi, yaitu non-vegetasi hingga vegetasi rapat, yang divisualisasikan melalui gradasi warna dari merah ke hijau tua untuk memudahkan analisis spasial. Berdasarkan Gambar 4-7, wilayah tengah dan timur Kabupaten Siak, seperti Kecamatan Dayun, Lubuk Dalam, dan Koto Gasib, didominasi oleh kelas vegetasi sedang hingga rapat yang menunjukkan tutupan

vegetasi tinggi dan stabil selama tiga tahun, sedangkan wilayah Tualang, Kandis, dan sebagian Minas didominasi oleh kelas vegetasi sangat rendah hingga non-vegetasi akibat aktivitas industri, pembangunan, atau lahan terbuka.



Gambar 4-7 Peta Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

Kemudian, tahun 2022 ke 2023 kerapatan vegetasi meningkat di beberapa area akibat pertumbuhan tanaman atau restorasi lahan, namun pada tahun 2024 terjadi penurunan di bagian barat dan tenggara yang dipicu oleh *land clearing* atau faktor cuaca kering pada saat pengambilan citra. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa meskipun vegetasi di Kabupaten Siak relatif stabil, fluktuasi tahunan masih terjadi akibat interaksi antara faktor lingkungan dan aktivitas manusia.

Berdasarkan Tabel 4-2, rentang nilai klasifikasi EVI pada tahun 2022 berada pada kisaran -0,021 hingga lebih dari 0,605, dengan kategori non-vegetasi pada rentang -0,021 hingga -0,135, vegetasi sangat rendah -0,135 hingga 0,292, vegetasi rendah 0,292-0,448, vegetasi sedang 0,448-0,605, dan vegetasi rapat di atas 0,605. Pada tahun 2023, pola klasifikasi menunjukkan sedikit pergeseran nilai batas, dengan non-vegetasi pada rentang -0,015 hingga 0,139, vegetasi sangat rendah

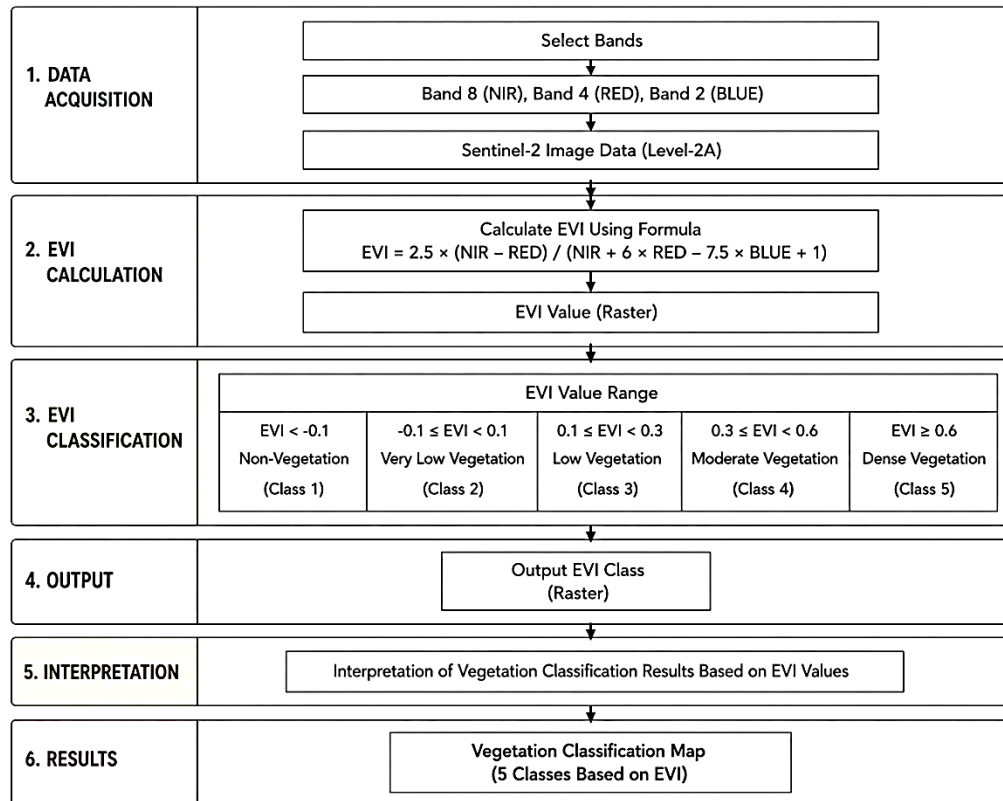
0,139 hingga 0,295, vegetasi rendah 0,295-0,450, vegetasi sedang 0,450-0,605, dan vegetasi rapat tetap berada di atas 0,605. Sementara itu, pada tahun 2024 terjadi penyesuaian kembali nilai batas akibat fluktuasi faktor cuaca dan musim tanam, dengan non-vegetasi pada rentang -0,016 hingga 0,143, vegetasi sangat rendah 0,143-0,302, vegetasi rendah 0,302-0,462, vegetasi sedang 0,462-0,622, dan vegetasi rapat berada di atas 0,622.

Tabel 4-2 Hasil Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022 – 2024

Klasifikasi EVI	Tahun 2022	Tahun 2023	Tahun 2024
Non Vegetasi	-0,021 – -0,135	-0,015 – 0,139	-0,016 – 0,143
Vegetasi Sangat Rendah	-0,135 – 0,292	0,139 – 0,295	0,143 – 0,302
Vegetasi Rendah	0,292 – 0,448	0,295 – 0,450	0,302 – 0,462
Vegetasi Sedang	0,448 – 0,605	0,450 – 0,605	0,462 – 0,622
Vegetasi Rapat	> 0,605	> 0,605	> 0,622

Sumber : Penulis, 2026

Pada Gambar 4-8 menyajikan kerangka kerja penelitian yang diadopsi untuk analisis vegetasi berbasis EVI di Kabupaten Siak. Kerangka kerja ini menguraikan urutan proses terstruktur, mulai dari penyiapan data Sentinel-2, dilanjutkan dengan perhitungan EVI dan klasifikasi vegetasi menggunakan nilai ambang batas yang telah ditentukan, hingga menghasilkan peta tematik akhir. Integrasi tahapan-tahapan ini memungkinkan pendekatan yang sistematis dan reproduktif untuk mengidentifikasi pola kerapatan vegetasi di seluruh wilayah penelitian.



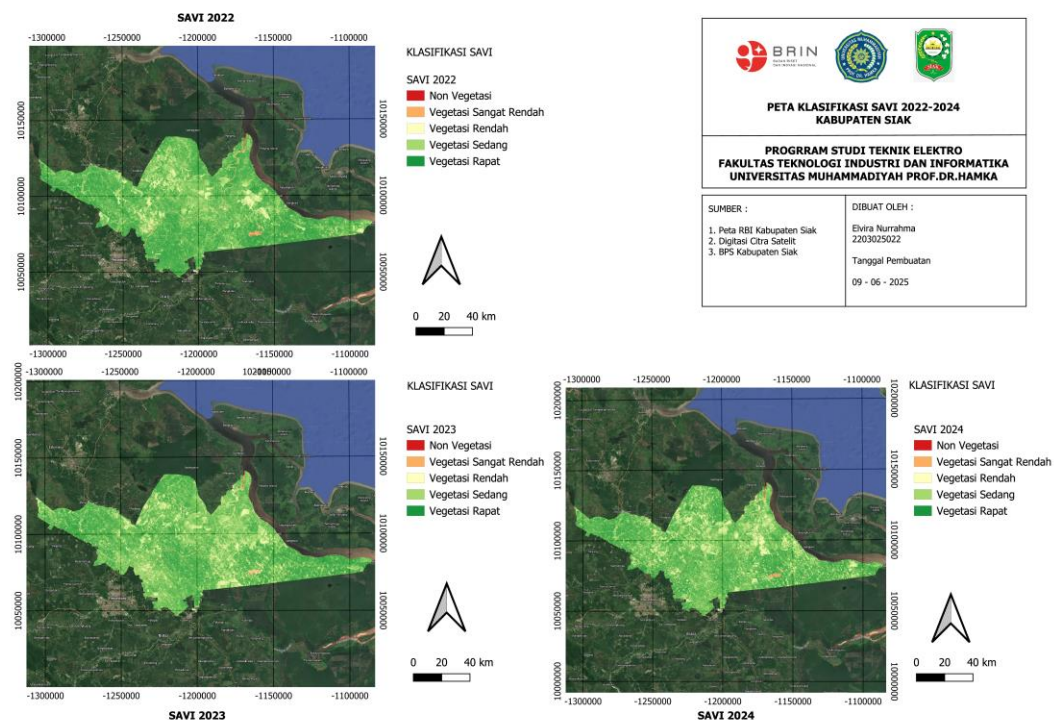
Gambar 4-8 Kerangka Klasifikasi EVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

4.1.5 Hasil Klasifikasi SAVI

Analisis spasial menggunakan klasifikasi *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)* untuk periode 2022 hingga 2024 menunjukkan distribusi temporal vegetasi yang konsisten di Kabupaten Siak. Pada tahun 2022, wilayah tengah dan timur, seperti Kecamatan Dayun, Koto Gasib, dan Lubuk Dalam, didominasi oleh vegetasi sedang hingga rapat. Pada tahun 2023, vegetasi sedang meluas di beberapa area dengan kerapatan rendah, yang mengindikasikan perkembangan kanopi, sementara vegetasi rapat tetap stabil di bagian tengah wilayah, dan vegetasi kerapatan rendah terkonsentrasi di sekitar area permukiman dan lahan terbuka, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-9.

Memasuki tahun 2024, pola vegetasi rapat tetap bertahan di sebagian besar wilayah tengah dan timur, meskipun terjadi penurunan menjadi tingkat rendah hingga sangat rendah di wilayah barat dan barat daya, seperti Kecamatan Tualang dan Kandis, akibat potensi land clearing atau faktor musiman. Area non-vegetasi

dan vegetasi sangat rendah secara konsisten terkonsentrasi pada wilayah dengan kepadatan penduduk dan aktivitas industri tinggi, termasuk Tualang, Minas, dan Kandis, yang didominasi oleh lahan terbuka dan bangunan. Fenomena ini juga menunjukkan keunggulan indeks SAVI dalam merepresentasikan secara akurat kondisi vegetasi pada area dengan tutupan lahan campuran yang memiliki pantulan tanah tinggi.



Gambar 4-9 Peta Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

Berdasarkan Tabel 4-3, nilai SAVI untuk kelas non-vegetasi pada tahun 2022 berada pada rentang -0,588 hingga -0,107, kemudian menurun menjadi -0,658 pada tahun 2023 dan -0,684 pada tahun 2024, yang mengindikasikan keberadaan piksel tanpa tutupan vegetasi yang signifikan. Kelas vegetasi sangat rendah mengalami penyesuaian nilai batas setiap tahun namun tetap konsisten menggambarkan area dengan tutupan tipis. Kelas vegetasi sedang berada pada rentang 0,85-1,33 pada tahun 2022 dengan sedikit fluktuasi, meningkat pada tahun 2023, dan menurun pada tahun 2024. Kelas vegetasi rapat secara konsisten dicirikan oleh nilai SAVI di atas 1,334 pada tahun 2022, 1,336 pada tahun 2023, dan 1,318 pada tahun 2024, yang

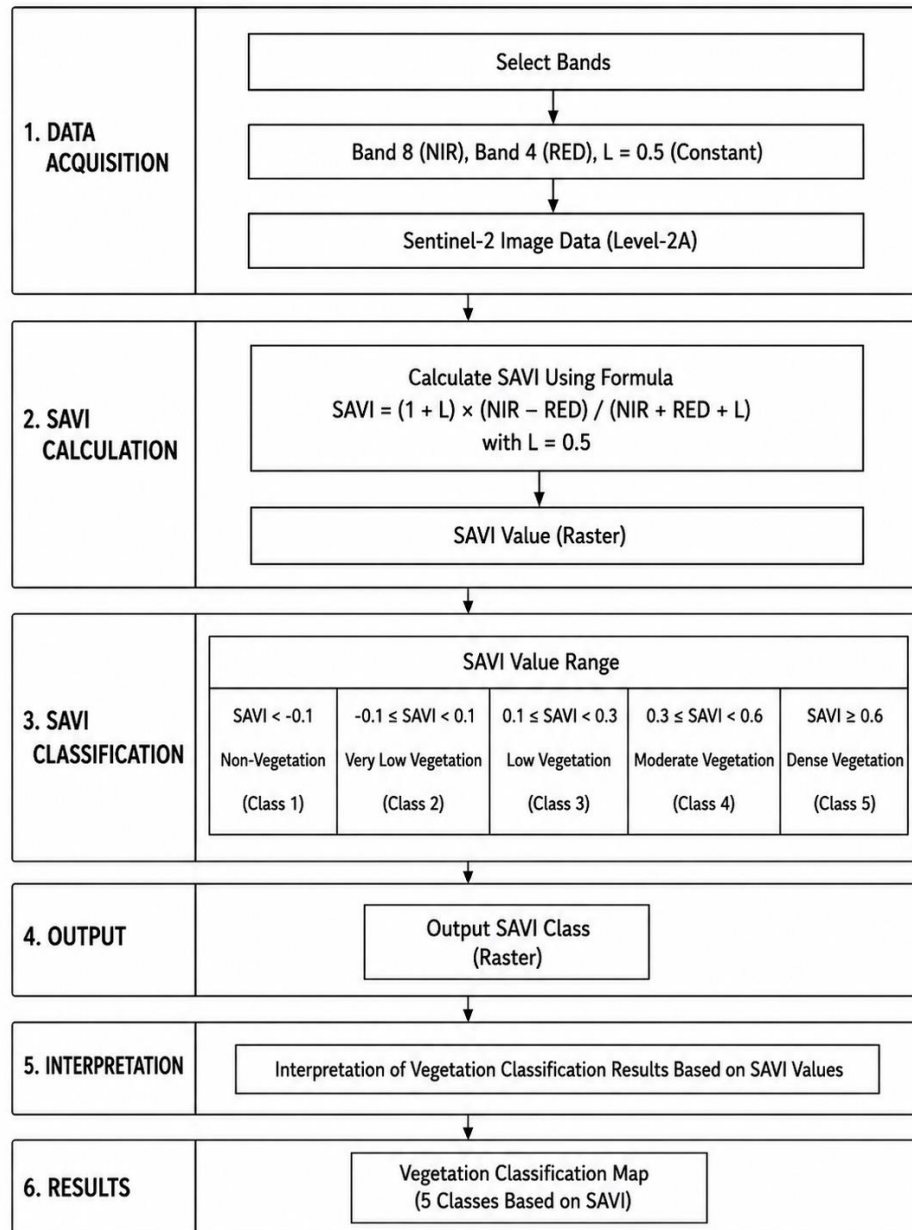
merefleksikan kondisi area dengan vegetasi tinggi dan rapat seperti area hutan atau perkebunan kelapa sawit produktif di Kabupaten Siak.

Tabel 4-3 Hasil Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022 – 2024

Klasifikasi SAVI	Tahun 2022	Tahun 2023	Tahun 2024
Non Vegetasi	-0,588 – -0,107	-0,658 – -0,159	-0,684 – -0,183
Vegetasi Sangat Rendah	-0,107 – 0,373	-0,159 – 0,338	-0,183 – 0,317
Vegetasi Rendah	0,373 – 0,854	0,338 – 0,837	0,317 – 0,818
Vegetasi Sedang	0,854 – 1,334	0,837 – 1,336	0,818 – 1,318
Vegetasi Rapat	> 1,334	> 1,336	> 1,318

Sumber : Penulis, 2026

Gambar 4-10 menunjukkan kerangka klasifikasi vegetasi berbasis SAVI yang terdiri dari beberapa tahapan pengolahan terintegrasi yang dirancang untuk mengevaluasi kondisi vegetasi di Kabupaten Siak. Prosedur ini dimulai dari penyiapan citra Sentinel-2, dilanjutkan dengan ekstraksi indeks SAVI dan pengelompokan vegetasi berdasarkan rentang ambang batas yang telah ditetapkan. Tahap akhir menghasilkan peta vegetasi terklasifikasi yang digunakan untuk merepresentasikan variasi spasial kerapatan vegetasi di seluruh area penelitian.

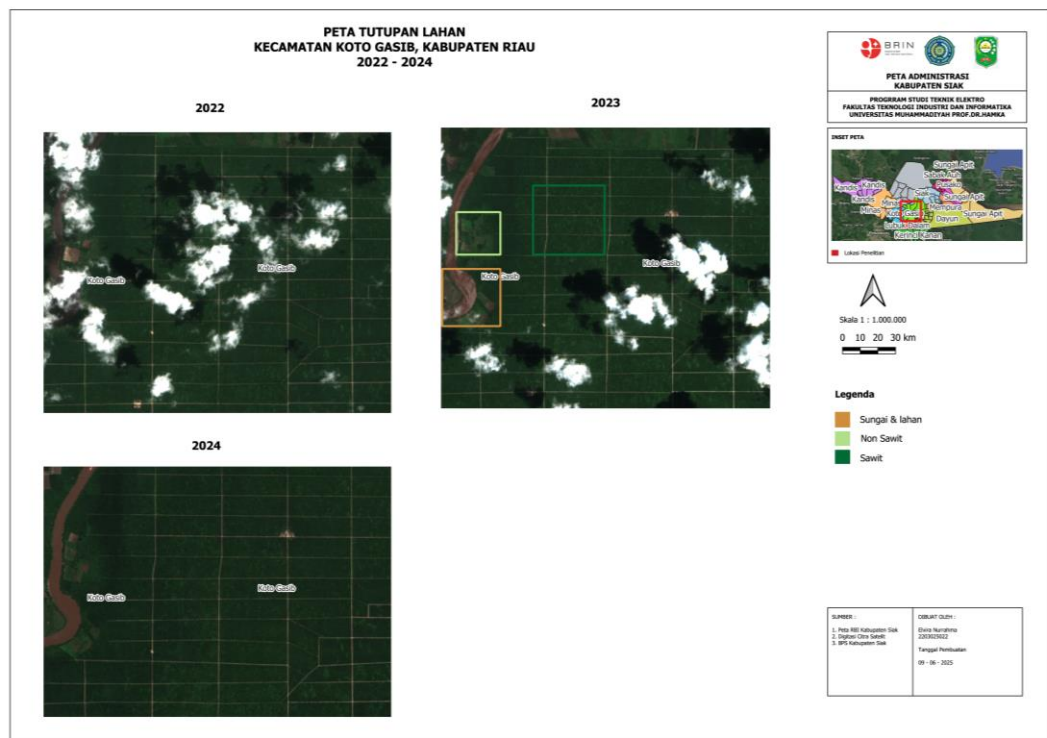


Gambar 4-10 Kerangka Klasifikasi SAVI Kabupaten Siak Tahun 2022-2024

4.1.6 Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib (Kelapa Sawit, Non-Kelapa Sawit, dan *Land Change*)

Peta tutupan lahan pada Gambar 4-11 menyajikan hasil klasifikasi citra Sentinel-2 di Kecamatan Koto Gasib sebagai wilayah sampel penelitian untuk periode 2022, 2023, dan 2024. Perubahan tutupan lahan di Kecamatan Koto Gasib dari tahun 2022 hingga 2024 didominasi oleh perkebunan kelapa sawit yang direpresentasikan dengan warna hijau tua. Meskipun pada tahun 2022 interpretasi

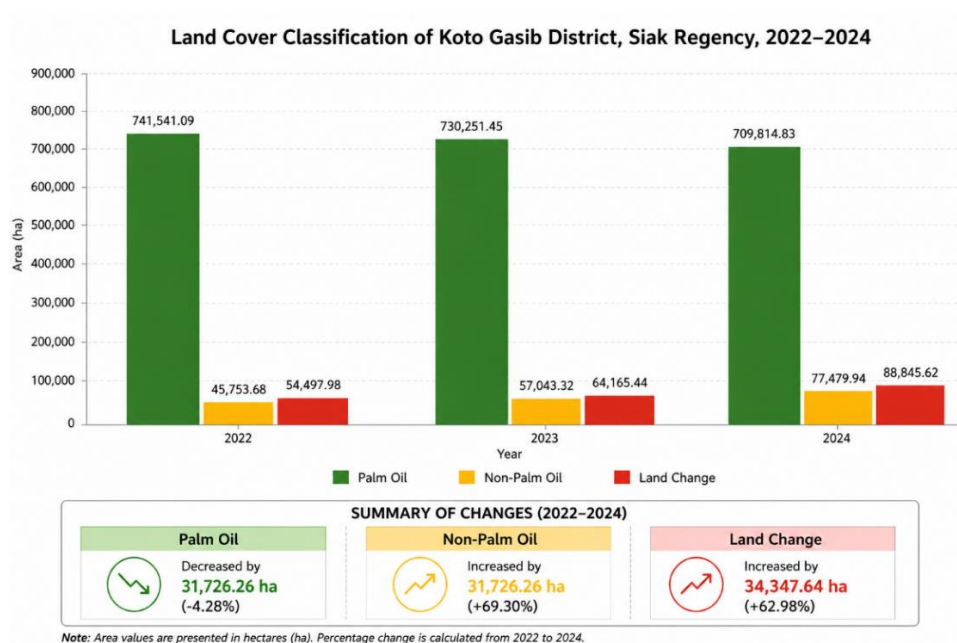
visual terhambat oleh tutupan awan di beberapa titik, area tersebut secara umum diklasifikasikan sebagai lahan kelapa sawit yang cakupannya terus meluas hingga tahun 2023. Peningkatan area berwarna hijau tua yang diiringi dengan menyusutnya lahan non-kelapa sawit (hijau muda), serta identifikasi spesifik pada kotak *highlight* peta, mengindikasikan adanya proses konversi lahan yang signifikan atau perluasan perkebunan kelapa sawit di wilayah tersebut. Memasuki tahun 2024, hampir seluruh area pada citra didominasi oleh perkebunan kelapa sawit dengan distribusi yang merata dan lahan non-kelapa sawit yang minimal, yang merefleksikan peningkatan aktivitas perkebunan di Koto Gasib selama tiga tahun terakhir.



Gambar 4-11 Peta Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, Tahun 2022-2024

Berdasarkan diagram batang pada Gambar 4-12, klasifikasi tutupan lahan di Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, menunjukkan perubahan yang nyata selama periode 2022-2024. Luas area perkebunan kelapa sawit secara konsisten menurun dari 741.541,09 ha pada tahun 2022 menjadi 730.251,45 ha pada tahun 2023, dan terus menurun menjadi 709.814,83 ha pada tahun 2024. Tren penurunan ini mengindikasikan adanya pengurangan tutupan lahan yang didominasi kelapa

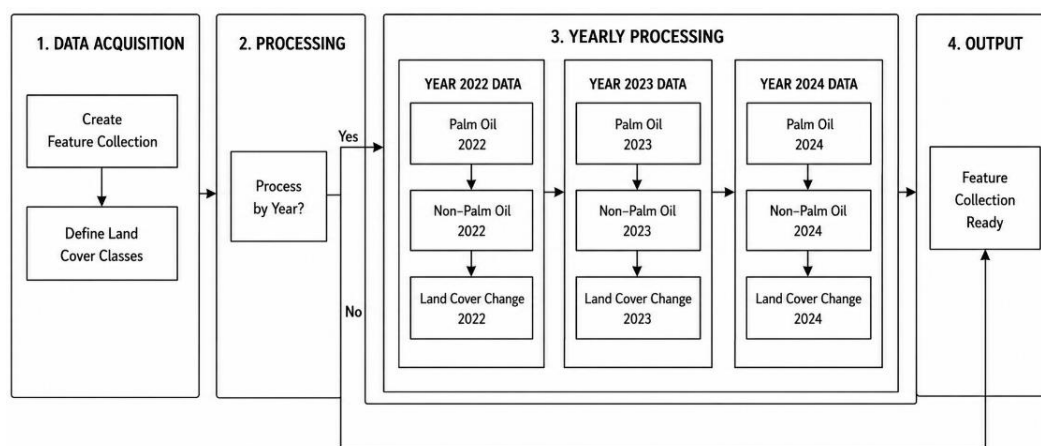
sawit, yang dapat dikaitkan dengan konversi lahan, suksesi vegetasi, atau perluasan jenis penggunaan lahan lain. Sebaliknya, kategori tutupan lahan non-kelapa sawit mengalami peningkatan yang stabil pada periode yang sama, yaitu dari 45.753,68 ha pada tahun 2022 menjadi 57.043,32 ha pada tahun 2023 dan mencapai 77.479,94 ha pada tahun 2024. Peningkatan ini menunjukkan semakin meningkatnya keberadaan jenis vegetasi selain kelapa sawit, seperti semak, lahan terbuka, perkebunan campuran, atau lahan pertanian.



Gambar 4-12 Diagram Batang Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, 2022-2024

Demikian pula, kategori *land change* juga menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, dari 54.497,98 ha pada tahun 2022 menjadi 64.165,44 ha pada tahun 2023 dan mencapai 88.845,62 ha pada tahun 2024. Peningkatan pada kategori ini merefleksikan proses transformasi tutupan lahan yang terus berlangsung di wilayah kajian. Secara keseluruhan, diagram batang menunjukkan bahwa Kecamatan Koto Gasib mengalami dinamika tutupan lahan yang cukup besar selama tiga tahun pengamatan, yang ditandai dengan menurunnya luas area kelapa sawit serta meningkatnya luas area non-kelapa sawit dan *land change*.

Kerangka klasifikasi vegetasi yang diterapkan di Kecamatan Koto Gasib telah dijelaskan pada subbab metodologi, sedangkan urutan keseluruhan proses pengolahan dan tahapan analisis dirangkum pada Gambar 4-13. Kerangka ini menggambarkan empat tahap utama, yaitu akuisisi data (pembuatan feature collection dan definisi kelas tutupan lahan), pemrosesan, pemrosesan tahunan untuk masing-masing kelas (kelapa sawit, non-kelapa sawit, dan land change) pada tahun 2022, 2023, dan 2024, serta keluaran akhir berupa feature collection yang siap digunakan untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 4-13 Kerangka Klasifikasi Tutupan Lahan Kecamatan Koto Gasib, Kabupaten Siak, 2022-2024

4.1.7 Hasil Penilaian Akurasi

Penilaian akurasi kuantitatif terhadap pipeline klasifikasi spektral berbasis ambang batas dilakukan untuk masing-masing dari tiga keluaran klasifikasi tahunan (2022, 2023, dan 2024) menggunakan titik sampel *stratified random*. Label referensi divalidasi terhadap komposit *true-colour* dan *false-colour* Sentinel-2 serta dilakukan *cross-check* dengan peta penggunaan lahan resmi yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Verifikasi lapangan (*ground truth*) tidak dilakukan karena adanya kendala akses, sehingga hal ini menjadi salah satu keterbatasan pada pendekatan validasi penelitian ini. Hasil analisis matriks konfusi dirangkum pada Tabel 4-4 dan Tabel 4-5.

Tabel 4-4 *Overall Accuracy* dan Koefisien Kappa *Pipeline* Klasifikasi Berbasis Ambang Batas

Tahun	Overall Accuracy (OA)	Kappa Coefficient (κ)
2022	84.3%	0.79
2023	86.1%	0.81
2024	83.7%	0.78
Rata – Rata	84.7%	0.79

Sumber : Penulis, 2026

Tabel 4-5 Akurasi Produsen dan Pengguna Per Kelas untuk Tahun 2023 (Tahun dengan Kinerja Terbaik)

Kelas Vegetasi	Producer's Accuracy (PA)	User's Accuracy (UA)
Non-Vegetasi	88.2%	85.4%
Vegetasi Sangat Rendah	81.0%	79.6%
Vegetasi Rendah	82.4%	84.1%
Vegetasi Sedang	87.3%	88.9%
Vegetasi Rapat	89.6%	91.2%

Sumber : Penulis, 2026

Pipeline klasifikasi berbasis ambang batas mencapai rata-rata *Overall Accuracy* (OA) sebesar 84,7% dan rata-rata Koefisien Kappa (κ) sebesar 0,79 selama tiga tahun penelitian, yang menunjukkan tingkat kesepakatan substansial antara hasil klasifikasi dan data referensi. Kinerja terbaik dicapai pada tahun 2023 (OA = 86,1%, κ = 0,81), yang berkorelasi dengan tahun yang memiliki batas atas median NDVI tertinggi (>0,926), sehingga mencerminkan separabilitas spektral yang lebih jelas antar kelas vegetasi pada periode tersebut. Akurasi yang sedikit lebih rendah pada tahun 2024 (OA = 83,7%, κ = 0,78) konsisten dengan penurunan kualitas vegetasi yang teramati di wilayah barat, di mana aktivitas land *clearing* dan kekeringan musiman dapat menghasilkan tanda spektral campuran pada batas-batas kelas, khususnya antara kelas non-vegetasi dan vegetasi sangat rendah.

Kelas vegetasi rapat memperoleh *User's Accuracy* (UA) tertinggi sebesar 91,2%, yang merefleksikan tanda spektral yang khas dari perkebunan kelapa sawit dewasa dan hutan produksi pada kecamatan-kecamatan bagian tengah dan timur Kabupaten Siak. Sementara itu, kelas vegetasi sangat rendah mencatat kinerja terendah (PA = 81,0%, UA = 79,6%), yang disebabkan oleh tumpang tindih spektral pada batas antara vegetasi jarang dan tanah terbuka, sebuah keterbatasan umum pada *classifier* berbasis ambang batas di lanskap tropis yang heterogen.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pola Spasial Vegetasi Berdasarkan Tiga Indeks (NDVI, EVI, SAVI)

Hasil klasifikasi NDVI, EVI, dan SAVI yang diperoleh dari citra komposit median Sentinel-2 menunjukkan kontras spektral yang kuat antara area dengan vegetasi rapat di bagian tengah dan timur Kabupaten Siak, seperti Dayun, Lubuk Dalam, dan Koto Gasib, dengan area di bagian barat seperti Tualang, Minas, dan Kandis yang didominasi oleh penggunaan lahan campuran industri dan permukiman. Pola ini konsisten dengan kondisi penggunaan lahan yang telah diketahui sebelumnya di wilayah tersebut, sehingga memperkuat validitas hasil pengolahan citra yang dilakukan dalam penelitian ini, sejalan dengan temuan terkait pemanfaatan Sentinel-2 untuk pemetaan tutupan lahan pada wilayah perkebunan tropis.

Penggunaan kombinasi tiga indeks vegetasi memberikan representasi yang lebih komprehensif terhadap kondisi vegetasi dibandingkan jika hanya menggunakan satu indeks tunggal. NDVI memiliki keterbatasan pada area dengan biomassa tinggi karena nilai indeks cenderung mengalami saturasi, sehingga kurang sensitif dalam membedakan variasi kerapatan vegetasi yang tinggi, sebagaimana dilaporkan dalam studi sensitivitas EVI dan NDVI terhadap kondisi vegetasi rapat. EVI mengatasi keterbatasan tersebut dengan melibatkan band biru untuk koreksi atmosfer dan faktor penguatan empiris, sehingga lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi vegetasi pada area dengan tutupan rapat seperti perkebunan kelapa sawit. Sementara itu, SAVI berperan dalam mengurangi pengaruh pantulan tanah melalui faktor koreksi tanah ($L = 0,5$), yang sangat relevan pada konteks perkebunan kelapa sawit dengan area antar kanopi yang masih menampakkan tanah terbuka, sejalan dengan konsep dasar SAVI sebagai indeks vegetasi terkoreksi tanah.

4.2.2 Dinamika Tutupan Lahan di Kecamatan Koto Gasib

Hasil klasifikasi tutupan lahan di Kecamatan Koto Gasib menunjukkan tren penurunan luas area kelapa sawit secara konsisten dari 741.541,09 ha pada tahun 2022 menjadi 730.251,45 ha pada tahun 2023, dan terus menurun menjadi

709.814,83 ha pada tahun 2024. Tren penurunan ini mengindikasikan adanya proses konversi lahan, suksesi vegetasi, atau perluasan jenis penggunaan lahan lain di wilayah tersebut. Sebaliknya, kategori tutupan lahan non-kelapa sawit mengalami peningkatan yang stabil dari 45.753,68 ha pada tahun 2022 menjadi 57.043,32 ha pada tahun 2023 dan mencapai 77.479,94 ha pada tahun 2024, yang mengindikasikan keberadaan jenis vegetasi selain kelapa sawit seperti semak, lahan terbuka, perkebunan campuran, atau lahan pertanian.

Kategori *land change* juga menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, dari 54.497,98 ha pada tahun 2022 menjadi 64.165,44 ha pada tahun 2023 dan mencapai 88.845,62 ha pada tahun 2024, yang merefleksikan proses transformasi tutupan lahan yang terus berlangsung di wilayah kajian. Temuan ini sejalan dengan kondisi umum di Provinsi Riau, di mana ekspansi perkebunan kelapa sawit sering dikaitkan dengan penurunan kerapatan vegetasi dan penurunan jasa lingkungan. Dengan demikian, dinamika tutupan lahan di Koto Gasib dapat menjadi indikator awal bagi pemangku kebijakan untuk mengevaluasi keberlanjutan pengelolaan lahan di wilayah tersebut.

4.2.3 Kinerja Akurasi *Pipeline* Klasifikasi Berbasis Ambang Batas

Berdasarkan hasil pengujian akurasi, *pipeline* klasifikasi berbasis ambang batas mencapai rata-rata *Overall Accuracy (OA)* sebesar 84,7% dan rata-rata Koefisien Kappa (κ) sebesar 0,79 selama tiga tahun penelitian, yang menurut kriteria Landis dan Koch tergolong dalam tingkat kesepakatan substansial (*substantial agreement*) dan memenuhi ambang batas keberterimaan ($OA \geq 80\%$ dan $\kappa \geq 0,60$). Kinerja terbaik dicapai pada tahun 2023, yang berkorelasi dengan tahun dengan batas atas median NDVI tertinggi, sehingga mencerminkan separabilitas spektral yang lebih jelas antar kelas vegetasi pada periode tersebut. Akurasi yang sedikit lebih rendah pada tahun 2024 konsisten dengan penurunan kualitas vegetasi yang teramati di wilayah barat, di mana aktivitas land clearing dan kekeringan musiman dapat menghasilkan tanda spektral campuran pada batas-batas kelas.

Sebagai konteks pembandingan, *classifier Random Forest* dan *SVM* yang diterapkan pada dataset Sentinel-2 yang setara di lingkungan perkebunan tropis umumnya melaporkan *overall accuracy* sebesar 88-95%. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis ambang batas mencapai kinerja yang kompetitif sekaligus memberikan transparansi dan reproduktifitas komputasi yang jauh lebih besar dibandingkan pendekatan *machine learning* yang memerlukan data pelatihan berlabel dan sumber daya komputasi yang lebih besar. *Trade-off* antara akurasi dan interpretabilitas ini merupakan kontribusi utama dari kerangka kerja yang dikembangkan dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, metrik akurasi yang diperoleh mengonfirmasi bahwa *pipeline* berbasis ambang batas multi-indeks menghasilkan peta tutupan lahan yang reliabel dan tervalidasi secara kuantitatif, sehingga sesuai digunakan untuk analisis perubahan vegetasi multitemporal di lingkungan perkebunan tropis, khususnya karena pendekatan ini tidak memerlukan data pelatihan berlabel, suatu keunggulan praktis dalam konteks pemantauan tropis yang sering mengalami kelangkaan data.

BAB 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Kerangka kerja klasifikasi berbasis ambang batas multi-indeks (NDVI, EVI, dan SAVI) menggunakan citra Sentinel-2 yang diimplementasikan pada Google Earth Engine berhasil diterapkan secara reproduktif untuk mendukung pemantauan vegetasi multitemporal di Kabupaten Siak selama periode 2022-2024.
2. Hasil analisis menunjukkan penurunan konsisten luas area perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Koto Gasib, dari 741.541,09 ha pada tahun 2022 menjadi 709.814,83 ha pada tahun 2024, yang disertai peningkatan luas kategori non-kelapa sawit dan *land change*, mencerminkan adanya transformasi tutupan lahan yang aktif di wilayah kajian.
3. *Pipeline* klasifikasi berbasis ambang batas yang dikembangkan mencapai *Overall Accuracy* rata-rata sebesar 84,7% dan Koefisien Kappa sebesar 0,79, yang berdasarkan kriteria Landis dan Koch tergolong dalam tingkat kesepakatan substansial dan memenuhi ambang batas keberterimaan ($OA \geq 80\%$ dan $\kappa \geq 0,60$).
4. Pendekatan berbasis ambang batas terbukti mampu menghasilkan akurasi yang kompetitif dibandingkan metode *machine learning* seperti *Random Forest* dan SVM (88-95%), sekaligus menawarkan keunggulan berupa efisiensi komputasi, transparansi logika keputusan, dan reproduktifitas tanpa memerlukan data pelatihan berlabel.
5. Kelas vegetasi rapat menunjukkan akurasi pemetaan tertinggi (UA = 91,2%), sedangkan kelas vegetasi sangat rendah menunjukkan akurasi terendah (PA = 81,0%; UA = 79,6%) akibat tumpang tindih spektral antara vegetasi jarang dan tanah terbuka, yang menjadi keterbatasan utama pendekatan berbasis ambang batas pada lanskap tropis yang heterogen.

6. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan rentang ambang batas tetap yang belum mampu menangkap variabilitas spektral pada zona tutupan lahan transisi secara penuh, serta validasi akurasi yang masih mengandalkan interpretasi visual citra komposit spektral tanpa data ground truth lapangan.
7. Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk mengintegrasikan klasifikasi Random Forest dengan input multi-indeks yang sama guna memperjelas trade-off antara akurasi dan interpretabilitas, serta mengintegrasikan data Sentinel-1 SAR untuk mengurangi ketergantungan terhadap tutupan awan dan meningkatkan kestabilan analisis multitemporal pada periode curah hujan tinggi.

DAFTAR REFERENSI

- Adrian, A., Widiatmaka, W., Munibah, K., & Firmansyah, I. (2023). Pola Spasial Perubahan Tutupan Lahan/Penggunaan Lahan Menggunakan Google Earth Engine di Kabupaten Majalengka. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 19(4), 447–463. <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i4.46254>
- Al-Doski, J., Mansor, S. B., & Shafri, H. Z. M. (2013). NDVI differencing and post-classification to detect vegetation changes in Halabja city, Iraq. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 1(2), 1–8.
- Bao, N., Li, W., Gu, X., & Liu, Y. (2023). Biomass estimation for semiarid vegetation and mine rehabilitation using Worldview-2 and EVI-based methods. *Remote Sensing*, 15(5), 1384. <https://doi.org/10.3390/rs15051384>
- Baret, F., & Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35(2–3), 161–173. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90009-U)
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (5th ed.). Guilford Press.
- Delegido, J., Verrelst, J., Rivera, J. P., Ruiz-Verdú, A., & Moreno, J. (2023). Brown and green LAI mapping through spectral indices and inversion of the PROSAIL model from Sentinel-2 and Sentinel-3 data. *Remote Sensing of Environment*, 295, 113659. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113659>
- European Space Agency (ESA). (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. Issue 1, Revision 2.
- Faizah, R., et al. (2020). Identification of oil palm plantations using Sentinel-2 imagery and vegetation indices. *Indonesian Journal of Geography*, 52(1), 1–12. <https://doi.org/10.22146/ijg.45885>
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Gahesa, T., Arini, D., Fajrin, F., Marsiska Driptufany, D., & Armi, I. (2025). Analisis Perubahan Kerapatan Area Tutupan Vegetasi Pada Kawasan Hutan Kabupaten Lima Puluh Kota Menggunakan Citra Sentinel-2A. *Jurnal Sosial Dan Sains*, 5(3), 351–364. <https://doi.org/10.59188/jurnalsosains.v5i3.32068>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Immitzer, M., Neuwirth, M., Böck, S., Brenner, H., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2022). Optimal input features for tree species classification in Central

- Europe based on multi-temporal Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 14(8), 1891. <https://doi.org/10.3390/rs14081891>
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). Wiley.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2022). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to topographic effects. *Remote Sensing*, 14(5), 1145. <https://doi.org/10.3390/rs14051145>
- Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Guillén, L. A. (2023). Accuracy assessment in convolutional neural network-based deep learning remote sensing studies — part 2: Recommendations for best practices. *Remote Sensing*, 15(3), 808. <https://doi.org/10.3390/rs15030808>
- Novianti, T. C., Sanjoto, T. B., & Juhadi, J. (2024). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2013–2022 di Kota Semarang Menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Tekno Global*, 13(1), 1–10.
- Nurwanda, A., & Honjo, T. (2023). Spatiotemporal analysis of vegetation dynamics using NDVI time series from Sentinel-2 imagery in tropical land use change areas. *International Journal of Remote Sensing*, 44(8), 2631–2655. <https://doi.org/10.1080/01431161.2023.2196038>
- Pham, T. D., Yokoya, N., Nguyen, T. T. T., Le, N. N., Ha, N. T., Cao, D. T., & Bui, D. T. (2022). Improving accuracy of multitemporal vegetation monitoring using NDVI threshold-based classification and ensemble machine learning. *Remote Sensing of Environment*, 270, 112855. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112855>
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2022). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Prasetyo, L. B., Setiawan, Y., Condro, A. A., Kustiyo, K., Prasetyo, F. A., Efendi, M., & Purnomo, H. (2022). Assessing tropical forest cover and carbon stocks using Sentinel-2 multispectral imagery for oil palm concession mapping in Kalimantan, Indonesia. *Remote Sensing*, 14(8), 1836. <https://doi.org/10.3390/rs14081836>
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>

- Rafli, M., & Buchori, I. (2022). Dampak Ekspansi Kebun Kelapa Sawit Terhadap Kondisi Jasa Lingkungan Provinsi Riau. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 18(2). <https://doi.org/10.14710/pwk.v18i2.21229>
- Segarra, J., Buchailot, M. L., Araus, J. L., & Kefauver, S. C. (2023). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 13(3), 641. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030641>
- Simarmata, M. M. T., Pribadi, C. B., & Hamdy, O. (2021). Land use change analysis using NDVI and SAVI vegetation indices in Palangka Raya City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1), 012011.
- Stehman, S. V., & Foody, G. M. (2023). Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111199. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.018>
- Sukoco. (2022). Kajian Pemanfaatan Teknologi Google Earth Engine untuk Bidang Penginderaan Jauh. *Jurnal Penelitian Geografi (JPG)*, Universitas Lampung.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2023). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Wardana, D. A. S., Yuniasih, B., & Wirianata, H. (2024). Perbandingan Indeks Vegetasi NDVI dan SAVI di Kebun Kelapa Sawit pada Kondisi El Nino dan La Nina. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 7(2), 118–125. <https://doi.org/10.55180/agi.v7i2.584>

LAMPIRAN A

Source Code

```
// =====
//      LIST TAHUN
// =====
var tahunList = [2021, 2022, 2023, 2024];
var palmImages = {}; // Simpan mask sawit untuk analisis perubahan

// =====
//      MASKING AWAN
// =====
function maskClouds(image) {
  var scl = image.select('SCL');
  var mask = scl.neq(3).and(scl.neq(8)).and(scl.neq(9)).and(scl.neq(10));
  return image.updateMask(mask);
}

// =====
//      PERULANGAN PER TAHUN
// =====
tahunList.forEach(function(tahun) {
  var S2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
    .filterBounds(siak)
    .filterDate(tahun + '-01-01', tahun + '-12-31')
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 60))
    .map(maskClouds);

  var medianImage = S2.median().clip(siak);

  // Koreksi reflektansi (bagi 10000)
  var image = medianImage.select(['B2', 'B4', 'B8']).divide(10000);

  // Hitung indeks vegetasi
  var ndvi = image.expression('((NIR - RED) / (NIR + RED))', {
    NIR: image.select('B8'),
    RED: image.select('B4')
  }).rename('NDVI');

  var evi = image.expression(
    '2.5 * ((NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1))', {
    NIR: image.select('B8'),
    RED: image.select('B4'),
    BLUE: image.select('B2')
  }).rename('EVI');
```

```

var savi = image.expression(
  '((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) * (1 + L)', {
    NIR: image.select('B8'),
    RED: image.select('B4'),
    L: 0.5
  }).rename('SAVI');

// Masking sawit dan non-sawit
var palmMask = ndvi.gt(0.4).and(savi.gt(0.2)).rename('Sawit');
var nonPalmMask = ndvi.gt(0.2).and(palmMask.not()).rename('NonSawit');

palmImages[tahun] = palmMask;

// Tampilkan di peta
Map.addLayer(palmMask.updateMask(palmMask), {palette: ['#800080']}, 'Sawit ' +
tahun);
Map.addLayer(nonPalmMask.updateMask(nonPalmMask), {palette: ['#00FF00']}, 'Non-
Sawit ' + tahun);
Map.addLayer(ndvi, {min: -0.2, max: 1, palette: ['red', 'orange', 'yellow'
,'green']}, 'NDVI ' + tahun);
Map.addLayer(evi, {min: -0.2, max: 1, palette: ['red', 'orange', 'yellow'
,'green']}, 'EVI ' + tahun);
Map.addLayer(savi, {min: -0.2, max: 1, palette: ['red', 'orange', 'yellow'
,'green']}, 'SAVI ' + tahun);

// Ekspor: semua layer dengan tipe dan skala yang benar
var region = siak.geometry();
var scale = 10;

Export.image.toDrive({
  image: palmMask.updateMask(palmMask).uint8(),
  description: 'Sawit_' + tahun,
  folder: 'GEE_Export',
  scale: scale,
  region: region,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13
});

Export.image.toDrive({
  image: nonPalmMask.updateMask(nonPalmMask).uint8(),
  description: 'NonSawit_' + tahun,
  folder: 'GEE_Export',
  scale: scale,
  region: region,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13
});

```

```

});

Export.image.toDrive({
  image: ndvi.toFloat(),
  description: 'NDVI_' + tahun,
  folder: 'GEE_Export',
  scale: scale,
  region: region,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13
});

Export.image.toDrive({
  image: evi.toFloat(),
  description: 'EVI_' + tahun,
  folder: 'GEE_Export',
  scale: scale,
  region: region,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13
});

Export.image.toDrive({
  image: savi.toFloat(),
  description: 'SAVI_' + tahun,
  folder: 'GEE_Export',
  scale: scale,
  region: region,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  maxPixels: 1e13
});
});

// =====
//      PERUBAHAN LAHAN
// =====
function hitungPerubahan(tahun1, tahun2) {
  var palm1 = palmImages[tahun1];
  var palm2 = palmImages[tahun2];

  if (!palm1 || !palm2) return;

  var perubahan = palm1.neq(palm2).rename('Perubahan_Lahan_' + tahun2);
  Map.addLayer(perubahan.updateMask(perubahan), {palette: ['red']}, 'Perubahan
Lahan ' + tahun2);

  Export.image.toDrive({

```

```

        image: perubahan.uint8(),
        description: 'Perubahan_Lahan_' + tahun2,
        folder: 'GEE_Export',
        scale: 10,
        region: siak.geometry(),
        fileFormat: 'GeoTIFF',
        maxPixels: 1e13
    });

    return perubahan;
}

hitungPerubahan(2021, 2022);
hitungPerubahan(2022, 2023);
hitungPerubahan(2023, 2024);

// =====
//      EKSPOR CSV STATISTIK
// =====
var listStatistik = [];

function hitungLuas(mask, label, tahun) {
    var areaHa = ee.Image.pixelArea().divide(10000).updateMask(mask);
    var total = areaHa.reduceRegion({
        reducer: ee.Reducer.sum(),
        geometry: siak,
        scale: 10,
        maxPixels: 1e13
    }).get('area');

    return ee.Feature(null, {
        'Tahun': tahun,
        'Kelas': label,
        'Luas_ha': total
    });
}

[2022, 2023, 2024].forEach(function(tahun) {
    var sawit = palmImages[tahun];
    var nonSawit = sawit.not();

    listStatistik.push(hitungLuas(sawit, 'Sawit', tahun));
    listStatistik.push(hitungLuas(nonSawit, 'Non-Sawit', tahun));
});

[[2021, 2022], [2022, 2023], [2023, 2024]].forEach(function(pair) {
    var p1 = palmImages[pair[0]];

```

```

var p2 = palmImages[pair[1]];
if (p1 && p2) {
  var perubahan = p1.neq(p2);
  listStatistik.push(hitungLuas(perubahan, 'Perubahan_Sawit', pair[1]));
}
});

Export.table.toDrive({
  collection: ee.FeatureCollection(listStatistik),
  description: 'Statistik_Lahan_Siak_2022_2024',
  folder: 'GEE_Export',
  fileFormat: 'CSV'
});

```

LAMPIRAN B

Hasil Turnitin

44 44

ELVIRA NURRAHMA-THRESHOLD BASED VEGETATION CLASSIFICATION USING SENTINEL-2 AND GOOGLE EARTH E...

10/8/2026

Document Details

Submission ID
trn:oid::3618:147832010

Submission Date
Aug 10, 2026, 2:08 PM GMT+7

Download Date
Aug 10, 2026, 2:18 PM GMT+7

File Name
ELVIRA NURRAHMA_TEKNIK ELEKTRO_TURNITIN KE-2 - Elvira Nurrahma.pdf

File Size
11.6 MB

48 Pages
8,829 Words
54,519 Characters



Page 1 of 57 - Cover Page

Submission ID trn:oid::3618:147832010



Page 2 of 57 - Integrity Overview

Submission ID trn:oid::3618:147832010

18% Overall Similarity

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

Top Sources

11% Internet sources
6% Publications
15% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

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.

LAMPIRAN C

Lembar Bimbingan Skripsi

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
Jl. Terakreditasi No. 8 & 10, Rumbutan, Cileunyi, Bandung Timur, Telp. (021) 8440041, Fax. (021) 87502739
 Website: h.khamka.ac.id E-mail: h.k@h.khamka.ac.id

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Elhira Nurrahima
 NIM : 2203025022
 Program Studi : Teknik Elektro
 Judul : Threshold Based Vegetation Classification Using Sentinel-2 and
 Pembimbing : Google Earth Engine M Gint-Kiani
 Ir. Harry Permaza, S.T., M.T., Ph.D.

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	12 Jan 2024	Studi literatur & konsultasi mengenai judul skripsi & pembahasan topik penelitian	/s/
2.	27 Jan 2024	Revisi judul serta penyusunan rumusan masalah & tujuan penelitian	/s/
3.	10 Feb 2024	Pembahasan latar belakang penelitian & penyusunan BAB I	/s/
4.	24 Feb 2024	Konsultasi mengenai pustaka & penambahan referensi	/s/
5.	10 Mar 2024	Pembahasan kerangka pemikiran & hipotesis penelitian	/s/
6.	24 Mar 2024	Konsultasi metode penelitian & teknik pengumpulan data	/s/
7.	7 Apr 2024	Revisi BAB I, BAB II, BAB III sesuai masukan dosen pembimbing	/s/
8.	21 Apr 2024	Pembahasan instrumen penelitian & teknik analisis data	/s/
9.	5 Mei 2024	Konsultasi hasil pengumpulan data & pembahasan hasil sementara	/s/

MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
Jl. Terakreditasi No. 8 & 10, Rumbutan, Cileunyi, Bandung Timur, Telp. (021) 8440041, Fax. (021) 87502739
 Website: h.khamka.ac.id E-mail: h.k@h.khamka.ac.id

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
10.	19 Mei 2024	Pembahasan hasil penelitian pada BAB IV	/s/
11.	26 Mei 2024	Revisi BAB IV & V	/s/
12.	5 Juni 2024	Pemeriksaan final keseluruhan & konsultasi persiapan sidang skripsi	/s/

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

/s/

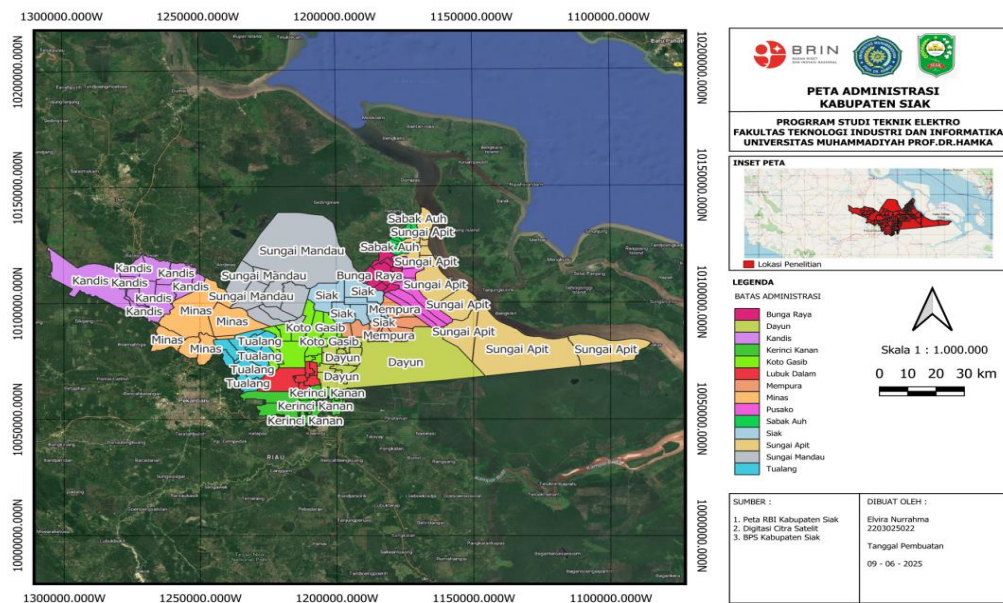
NIDN. 0303097006

Mahasiswa

/s/

NIM. 2203025022

LAMPIRAN D Dokumentasi



LAMPIRAN E

Daftar Penerbitan

1. E. Nurrahma., F. A. Supriatna., I. L. Sari., E. Roza., H. Ramza., “*Analysis of Vegetation Changes in Siak Regency’s Oil Palm Plantations*” .(2026). *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang*, 14(1), 24-46.
<https://doi.org/10.21063/jtif.2026.V14.1.24-46>
2. F. A. Supriatna., E. Nurrahma., I. L. Sari., E. Roza., H. Ramza., “*Random Forest-Based Vegetation and Non-Vegetation Classification in Siak Regency Using Landsat 8 and Google Earth Engine*”. .(2026). *Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang* Volume 14 (2) Oktober 2026.

LAMPIRAN F

Lembar Revisi

LEMBAR REVISI SIDANG SKRIPSI TEKNIK ELEKTRO (PENGUJI-I) FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

Nama Mahasiswa
NIM
Hari Tanggal Sidang
Nama Pembimbing Skripsi
Judul Skripsi

ELVIRA NURRAHMA
2203025022
Jumat, 7 Agustus 2026
Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.
Threshold Based Vegetation Classification Using Sentinel-2 And Google Earth Engine In Suk-Riau

Catatan

1	
2	
3	
4	
5	
6	

VALIDASI REVISI	NAMA DOSEN	TANGGAL REVISI	PARAF
(Ketua Sidang) Penguji-1	Dr. Dwi Asnati Cahyasiswi, S.T., M.T.	10/8-2026	
Penguji-2	Dr. Ir. Sofia Pinardi, MT.	10/8-2026	
Pembimbing-1	Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.	10/8/2026	
Pembimbing-2	Inggir Lolita Sari, S.T., M.Sc., Ph.D.	10-8-2026	

Selanjutnya, yang bersangkutan harus segera menyelesaikan permasalahan sehubungan dengan skripsi ini, selambat-lambatnya 7 (tujuh) hari setelah tanggal pelaksanaan sidang.

- ü Apabila revisi telah selesai dan mendapatkan approval (penguji, pembimbing, Kaprodi dan Dekan), maka tulisan (Skripsi, Jurnal) dan Program dikumpulkan di spsa uhamka.ac.id atau Google Drive (Fakultas/Perpustakaan, Pembimbing dan Program Studi)
- ü Berkas disusun sesuai petunjuk dan tanda tangan setiap berkas Asli (hh/bb/mtt)
- ü Batas Akhir Revisi: (hh/bb/mtt)
- ü Batas Akhir Pengumpulan Berkas Skripsi dan Jurnal/Resume (hh/bb/mtt)

Wassalamu alaikum wa Rohmatullahi wa Barokatah.

Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Catatan: Daftar revisi ini diserahkan kepada mahasiswa untuk acuan revisi bagi Dosen Pembimbing

LEMBAR REVISI SIDANG SKRIPSI TEKNIK ELEKTRO (PENGUJI-2)
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA UHAMKA

Nama Mahasiswa	: ELVIRA NURRAHMA
NIM	: 2203025022
Hari Tanggal Sidang	: Jumat, 7 Agustus 2026
Nama Pembimbing Skripsi	: Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.
Judul Skripsi	: Threshold Based Vegetation Classification Using Sentinel-2 And Google Earth Engine In Siak-Riau

Catatan

1	
2	
3	
4	
5	
6	

VALIDASI REVISI	NAMA DOSEN	TANGGAL REVISI	PARAF
(Ketua Sidang) Penguji-1	Dr. Dwi Astuti Cahyaniwi, S.T., M.T.	10/8-2026	
Penguji-2	Dr. Ir. Sofis Pinardi, MT.	10/8-2026	
Pembimbing-1	Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.	10/8/2026	
Pembimbing-2	Inggil Lolita Sari, S.T., M.Sc., Ph.D.	10-8-2026	

Selanjutnya, yang bersangkutan harus segera menyelesaikan permasalahan sehubungan dengan skripsi ini, selambat-lambatnya 7 (tujuh) hari setelah tanggal pelaksanaan sidang.

- ii Apabila revisi telah selesai dan mendapatkan approval (penguji, pembimbing, Kaprodi dan Dekan), maka tulisan (Skripsi, Jurnal) dan Program dikumpulkan di spsi uhamka.ac.id atau Google Drive (Fakultas/Perpustakaan, Pembimbing dan Program Studi)
- ii Berkas disusun sesuai petunjuk dan tanda tangan setiap berkas Asli
- ii Batas Akhir Revisi (hh/bb/ttt)
- ii Batas Akhir Pengumpulan Berkas Skripsi dan Jurnal/Resume (hh/bb/ttt)

Wassalamu'alaikum wa Rohmatullahi wa Barokaatuh,

Ir. Harry Ramza, ST., MT., Ph.D.
Ketua Program Studi Teknik Elektro

Catatan: Daftar revisi ini diserahkan kepada mahasiswa untuk acuan revisi bagi Dosen Pembimbing