

**ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN
TERHADAP KUALITAS LAHAN DI KECAMATAN PADANG
TUALANG BERDASARKAN NDVI, BSI, NDWI, DAN NBRI**

**OLEH
SANDY ANUGRAH**

218210006



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 9/3/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)9/3/26

**ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN
TERHADAP KUALITAS LAHAN DI KECAMATAN PADANG
TUALANG BERDASARKAN NDVI, BSI, NDWI, DAN NBRI**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Medan Area*

**OLEH
SANDY ANUGRAH
218210006**

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 9/3/26

Access From (repository.uma.ac.id)9/3/26

HALAMAN PENGESAHAN

JUDULSKRIPSI : ANALISIS PERUBAHAN PENGGUNAAN
LAHAN TERHADAP KUALITAS
LINGKUNGAN DI KECAMATAN PADANG
TUALANG BERDASARKAN NDVI, BSI,
NDWI,DAN NBRI

NAMA : SANDY ANUGRAH

NPM : 218210006

FAKULTAS : PERTANIAN




Dr. Siswa Panjang Hernosa, SP, M.Si

Dekan

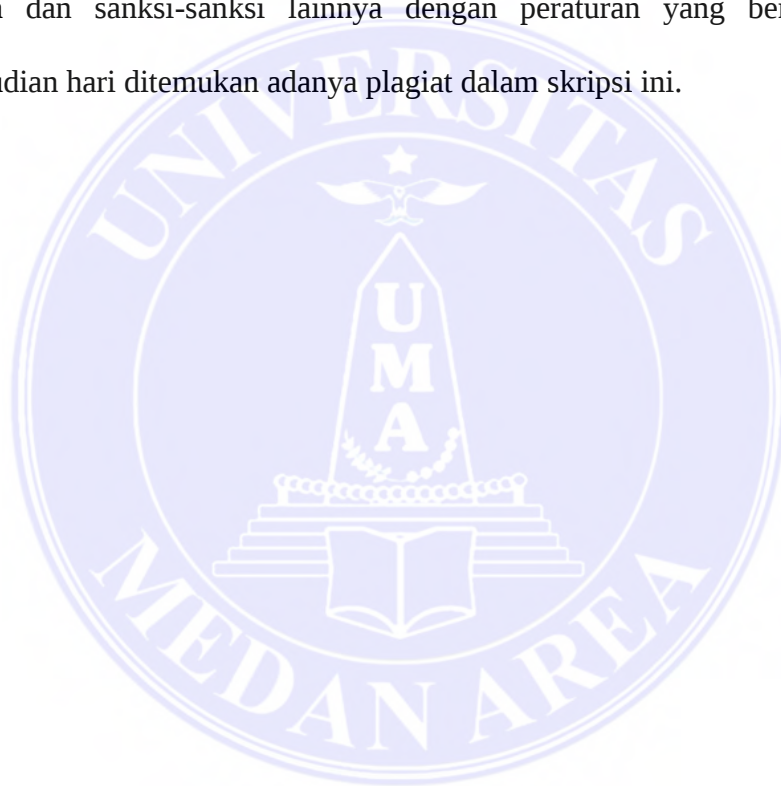

Angga Ade Sahfitra, SP.,M.Sc

Ketua Program Studi

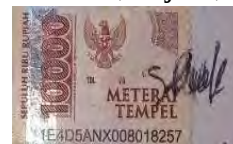
Tanggal Lulus : 30 Juli 2025

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



Medan, 5 juni, 2025



Sandy Anugrah

218210006

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Sandy Anugrah
NPM	: 218210006
Program Studi	: Agroteknologi
Fakultas	: Pertanian
Jenis Karya	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non- exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul **Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Lahan Di Kecamatan Padang Tualang Berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, Dan NBRI**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat : Medan
Pada Tanggal : 5 Juni 2025
Yang menyatakan



Sandy Anugrah

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan di Kecamatan Padang Tualang selama beberapa tahun terakhir menunjukkan adanya dampak terhadap kondisi lingkungan, khususnya pada Kecamatan Padang Tualang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dan dampaknya Terhadap kualitas lahan menggunakan pendekatan indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), BSI (*Bare Soil Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), dan NBRI (*Normalized Burn Ratio Index*). Data yang digunakan berasal dari citra satelit Sentinel-2 untuk tahun 2017, 2020, dan 2024. Parameter yang diamati meliputi kerapatan vegetasi, tingkat tanah terbuka, Badan air, dan tingkat keparahan kebakaran. Metode yang digunakan berupa analisis perubahan spasial dan temporal melalui sistem informasi geografis (SIG) serta klasifikasi indeks vegetasi dan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai NDVI dan NDWI pada tahun 2020 yang mengindikasikan berkurangnya vegetasi dan kelembapan lahan, sedangkan nilai BSI meningkat yang menunjukkan perluasan area tanah terbuka. Pada tahun 2024, sebagian wilayah mengalami pemulihan vegetasi, namun nilai NBRI masih menunjukkan adanya area yang terdampak kebakaran dengan tingkat keparahan sedang hingga tinggi. Kombinasi analisis indeks tersebut mengidentifikasi bahwa perubahan penggunaan lahan untuk pertanian dan permukiman berkontribusi terhadap penurunan kualitas lahan. Disarankan agar pengelolaan lahan dilakukan secara berkelanjutan dan berbasis konservasi vegetasi untuk mengurangi risiko kebakaran serta menjaga kualitas ekosistem pada Kecamatan Padang Tualang.

Kata kunci; Perubahan Penggunaan Lahan, NDVI, BSI, NDWI, NBRI, Citra Sentinel-2, Kualitas Lahan, Sistem Informasi Geografis (SIG), Kecamatan Padang Tualang

ABSTRAK

Land use change in Padang Tualang Subdistrict over the past few years has shown an impact on environmental conditions, especially in Padang Tualang Subdistrict. This study aims to analyze land cover changes and their impact on environmental quality using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), BSI (Bare Soil Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), and NBRI (Normalized Burn Ratio Index) approaches. The data used comes from Sentinel-2 satellite imagery for the years 2017, 2020, and 2024. The parameters observed include vegetation density, level of bare soil, water bodies, and fire severity level. The method used was spatial and temporal change analysis through a Geographic Information System (GIS) and classification of vegetation and land indices. The results of the study show that there was a decrease in NDVI and NDWI values in 2020, indicating a reduction in vegetation and soil moisture, while BSI values increased, indicating an expansion of bare land areas. In 2024, some areas experienced vegetation recovery, but NBRI values still indicated areas affected by fires with moderate to high severity. The combination of these index analyses identified that land use changes for agriculture and settlements contributed to the decline in environmental quality. It is suggested that land management be carried out sustainably and based on vegetation conservation to reduce the risk of fires and maintain the ecosystem quality in Padang Tualang Subdistrict.

Keywords: *Land Use Change, NDVI, BSI, NDWI, NBRI, Sentinel-2 Imagery, Environmental Quality, Geographic Information System (GIS), Padang Tualang Subdistrict.*

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 19 November 2003 di Tanjung Langkat, Kecamatan Salapian, Provinsi Sumatra Utara. Anak dari ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Sutarno dan Almh Karianta Br Sembiring meliala. Pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 050628 Tanjung Langkat dan Sekolah Menengah Pertama Di SMP Negeri 1 Salapian. Selanjutnya Pendidikan di sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Salapian, menjadi mahasiswa pada Fakultas Pertanian Universitas Medan Area pada Program Studi Agroteknologi. Selama mengikuti perkuliahan, Penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT Buana Estate, Penulis pernah menjadi Asisten Dosen Dasar Ilmu Tanah dan Fisiologi Tumbuhan pada semester 7 pada tahun ajaran 2024/2025.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur saya ucapkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan banyak kesempatan, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan Judul “Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Kualitas Lahan Di Kecamatan Padang Tualang Berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, Dan NBRI ”

Proposal ini merupakan salah satu syarat untuk melakukan penelitian tugas akhir di Fakultas Pertanian Universitas Medan Area, Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya selaku penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dengan tulus dan ikhlas kepada :

1. Bapak Dr. Siswa Panjang Hernosa, S.P, M.SI Selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Medan Area.
2. Bapak Angga Ade Sahfitra, S.P.,M.Sc Selaku Ketua Kaprodi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Medan Area dan Komisi Pembimbing yang telah memberikan saran, bimbingan, dan masukan dalam penyusunan proposal ini.
3. Seluruh Bapak dan Ibu selaku dosen Fakultas Pertanian Universitas Medan Area yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat selama pendidikan di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Medan Area.
5. Kedua Orang Tua yang sangat saya sayangi dan keluarga yang selalu memberikan doa, dan dukungan baik dalam hal moril dan materil

sehingga saya dapat menyelesaikan gelar sarjana Pertanian saya di Universitas Medan Area.

6. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Agroteknologi Stambuk 2021 Fakultas Pertanian Universitas Medan Area yang telah memberikan dukungan kepada saya.
7. Teman Terdekat yang telah mendengarkan keluhan saya dari suka maupun duka, memberikan saran, dan ikut serta membantu dalam penelitian ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, sehingga penulis secara terbuka menerima saran dan kritik positif dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat menjadi referensi yang baik bagi pembaca khususnya mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Medan Area, Akhir kata penulis ucapkan terimakasih.

Medan, 20 Agustus 2025



Sandy Anugrah

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Penggunaan Lahan.....	8
2.2 Penginderaan jauh	10
2.3. Citra Satelit dan Kegunaannya	15
2.3.1. Indeks Vegetasi <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).	18
2.3.2. Indeks Tanah <i>Bare Soil Index</i> (BSI).....	21
2.3.3. <i>Normalized Difference Water Index</i> (NDWI)	23
2.3.4. <i>Normalized Burn Ratio Index</i> (NBRI).....	25
2.3.5. Komposit Band	28
2.4. Sistem Informasi Geografis (SIG)	28
2.4.1. ArcGIS sebagai Platform Sistem Informasi Geografis	30
2.5. Interpretasi Citra	32
III. METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	36
3.2.1 Alat	36
3.2.2 Bahan.....	36
3.3. Struktur Kegiatan	37
3.4. Metode Penelitian	38
3.4.1. Pengumpulan Data.....	38
3.4.2. Preprocessing Citra.....	39
3.4.3. Pemilihan Band dan Komposit	39
3.4.4. Penghitungan <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	42
3.4.5. Penghitungan <i>Bare Soil Index</i> (BSI)	42
3.4.6. Penghitungan <i>Normalized Difference Water Index</i> (NDWI)	43
3.4.7. Penghitungan <i>Normalized Burn Ratio Index</i> (NBRI).....	44

3.5. Analisis Nilai	45
3.5.1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).....	45
3.5.2. <i>Bare Soil Index</i> (BSI)	46
3.5.3. <i>Normalized Difference Water Index</i> (NDWI).....	46
3.5.4. <i>Normalized Burn Ratio Index</i> (NBRI).....	47
3.6. Perbandingan Antar Periode	48
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Klasifikasi Tingkat Vegetasi	49
4.1.1. Luas NDVI	51
4.1.2. Persentase NDVI	53
4.1.3. Grafik Pertumbuhan NDVI.....	56
4.2. Klasifikasi Tingkat Tanah Terbuka	61
4.2.1. Luas <i>Bare Soil Index</i> (BSI)	63
4.2.2. Persentase BSI.....	66
4.2.3. Grafik Pertumbuhan BSI	67
4.3. Klasifikasi Tingkat Badan Air.....	71
4.3.1. Luas <i>Normalized Difference Water Index</i> (NDWI).....	72
4.3.2. Persentase NDWI	76
4.3.3. Grafik Pertumbuhan NDWI.....	78
4.4. Klasifikasi Tingkat Area Kebakaran	81
4.4.1. Luas <i>Normalized Burn Ratio Index</i> (NBRI).....	85
4.4.2. Persentase NBRI.....	87
4.4.3. Grafik Pertumbuhan NBRI.....	89
4.5. Interpretasi Citra	95
V. KESIMPULAN	102
5.1. Kesimpulan.....	102
5.2. Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN	116

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spektrum gelombang elektromagnetik	14
Tabel II.2 Spesifikasi band Sentinel 2	17
Tabel IV.1 Hasil Luas NDVI tahun 2017	51
Tabel IV.2 Hasil Luas NDVI tahun 2020	52
Tabel IV.3 Hasil Luas NDVI tahun 2024	52
Tabel IV.4 Hasil Luas BSI tahun 2017	64
Tabel IV.5 Hasil Luas BSI tahun 2020	64
Tabel IV.6 Hasil Luas BSI tahun 2024	65
Tabel IV.7 Hasil Luas NDWI tahun 2017	74
Tabel IV.8 Hasil Luas NDWI tahun 2020	75
Tabel IV.9 Hasil Luas NDWI tahun 2024	75
Tabel IV.10 Hasil Luas NBRI tahun 2017	85
Tabel IV.11 Hasil Luas NBRI tahun 2020	86
Tabel IV.12 Hasil Luas NBRI tahun 2024	86
Tabel IV.13 Hasil Data Sampel 2017	96
Tabel IV.14 Hasil Data Sampel 2020	98
Tabel IV.15 Hasil Data Sampel 2024	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Mekanisme penginderaan jauh.....	11
Gambar II.2 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	14
Gambar II.3 Karakteristik pola respon spektral obyek.....	19
Gambar III.1 Titik pengambilan sampel.....	35
Gambar III.2 Struktur kegiatan.....	37
Gambar IV.1 Hasil persebaran NDVI tahun 2017.....	49
Gambar IV.2 Hasil persebaran NDVI tahun 2020.....	50
Gambar IV.3 Hasil persebaran NDVI tahun 2024.....	50
Gambar IV.4 Hasil persentase NDVI pada tahun 2017-2024	54
Gambar IV.5 Grafik Pertumbuhan luas lahan tidak bervegetasi 2017- 2024.....	56
Gambar IV.6 Grafik Pertumbuhan luas kehijaan sangat rendah 2017-2024.....	57
Gambar IV.7 Grafik Pertumbuhan luas kehijauan rendah tahun 2017-2024	58
Gambar IV.8 Grafik Pertumbuhan luas kehijauan Sedang tahun 2017-2024	59
Gambar IV.9 Grafik Pertumbuhan luas kehijauan Tinggi tahun 2017-2024.....	60
Gambar IV.10 Hasil persebaran BSI tahun 2017	61
Gambar IV.11 Hasil persebaran BSI tahun 2020	62
Gambar IV.12 Hasil persebaran BSI tahun 2024	63
Gambar IV.13 Hasil persentase BSI pada tahun 2017-2024.....	66
Gambar IV.14 Grafik Pertumbuhan luas vegetasi lebat tahun 2017-2024.....	68
Gambar IV.15 Grafik Pertumbuhan luas vegetasi sedang tahun 2017-2024 .	69
Gambar IV.16 Grafik Pertumbuhan luas vegetasi sedikit tahun 2017-2024....	69
Gambar IV.17 Grafik Pertumbuhan luas vegetasi berkurang 2017-2024	70
Gambar IV.18 Hasil persebaran NDWI tahun 2017.....	72
Gambar IV.19 Hasil persebaran NDWI tahun 2020.....	72
Gambar IV.20 Hasil persebaran NDWI tahun 2024.....	73
Gambar IV.21 Hasil persentase NDWI pada tahun 2017-2024	77
Gambar IV.22 Grafik Pertumbuhan luas kekeringan sedang 2017-2024.....	79
Gambar IV.23 Grafik Pertumbuhan luas permukaan non air 2017-2024.....	79
Gambar IV.24 Grafik Pertumbuhan luas kelembapan tahun 2017-2024	80
Gambar IV.25 Grafik Pertumbuhan luas permukaan Air 2017-2024.....	81
Gambar IV.26 Hasil persebaran NBRI tahun 2017	82
Gambar IV.27 Hasil persebaran NBRI tahun 2020	83
Gambar IV.28 Hasil persebaran NBRI tahun 2024	84
Gambar IV.29 Hasil persentase NBRI pada tahun 2017-2024.....	88
Gambar IV.30 Grafik Pertumbuhan luas pertumbuhan tinggi 2017-2024	90
Gambar IV.31 Grafik Pertumbuhan luas pertumbuhan rendah 2017-2024.....	91
Gambar IV.32 Grafik Pertumbuhan luas tidak terbakar 2017-2024	91
Gambar IV.33 Grafik Pertumbuhan Tingkat keparahan rendah 2017-2024	92
Gambar IV.34 Grafik Pertumbuhan luas moderat rendah 2017-2024.....	92
Gambar IV.35 Grafik Pertumbuhan keparahan moderat tinggi 2017-2024	93

Gambar IV.36 Grafik Pertumbuhan luas keparahan tinggi 2017-2024.....	93
Gambar IV.37 interpretasi Citra	95



Daftar Lampiran

Lampiran 1. Peta Dasar Penelitian	116
Lampiran 2. Lokasi Sampel pada Google map 1-12	116
Lampiran 3. Interpretasi Citra	118
Lampiran 4. Foto Di Lokasi Penelitian.....	119



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan lahan selalu mengalami perubahan seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia. Lahan pertanian adalah salah satu jenis lahan yang paling sering dialihfungsikan menjadi permukiman. Lapatandau et al. (2017) melaporkan bahwa alih fungsi lahan pertanian tidak hanya menurunkan produksi pangan, tetapi juga dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang memengaruhi keseimbangan ekosistem. Jika konversi lahan ini terus berlangsung, produksi pangan nasional akan terus menurun, impor bahan pangan akan meningkat, dan ketahanan pangan nasional akan sulit dicapai.

Perkembangan manusia terancam oleh kebakaran dan lahan yang sering terjadi. banyak Faktor-faktor, baik secara ekologis maupun ekonomis, secara langsung dipengaruhi oleh ancaman kebakaran hutan dan lahan. Dari segi ekonomi, kebakaran hutan mempengaruhi kerugian finansial dari kerusakan keanekaragaman hayati dan pembakaran produk hutan serta perkebunan. Dampak dari kebakaran hutan dan lahan antara lain hal-hal termasuk gangguan terhadap kesehatan manusia, hilangnya fungsi ekologis, dan kerugian pada industri perjalanan dan pariwisata akibat berkurangnya aktivitas yang berkaitan dengan perjalanan dan transportasi (Ulya & Yunardy, 2006).

Berdasarkan informasi dari (Badan Pusat Statistik, 2024), lokasi penelitian terletak pada koordinat Lintang Utara 03°41'28" hingga 03°54'48" dan Bujur Timur 98°14'00" sampai 98°25'30", yang mencakup area dengan ketinggian sekitar 11 meter di atas permukaan laut. Posisi geografis ini memberikan karakteristik wilayah yang cukup spesifik, terutama dalam hal topografi dan iklim mikro yang mungkin

memengaruhi kondisi lingkungan. Luas keseluruhan wilayah yang dicakup oleh penelitian ini mencapai 22.114 hektar atau setara dengan 221,14 kilometer persegi, yang menjadikannya area yang cukup luas untuk melakukan berbagai analisis lingkungan dan penggunaan lahan. Data ini sangat penting dalam mendukung penelitian terkait perubahan penggunaan lahan, kerapatan vegetasi, serta faktor-faktor lingkungan lainnya.

Wilayah Padang Tualang tidak hanya dikenal karena keindahan alamnya, tetapi juga memiliki peran penting dalam konteks penggunaan lahan, potensi risiko, serta berbagai peluang lainnya yang dapat dimaksimalkan. Penggunaan lahan di sekitar danau, terutama untuk kegiatan pertanian, perkebunan, dan pemukiman, membawa dampak signifikan terhadap ekosistem alami dan stabilitas lingkungan. Alih fungsi lahan untuk keperluan pertanian intensif atau perkebunan dapat menyebabkan degradasi lahan, hilangnya tutupan hutan, serta erosi tanah.

Deteksi longsor dan inventarisasi longsor telah lama menjadi topik diskusi di kalangan ilmuwan. Metode yang digunakan bervariasi, mulai dari survei geomorfologis di lapangan dan analisis visual citra udara, hingga pendekatan berbasis penginderaan jauh seperti citra satelit (Mohan *et al.*, 2020). Teknik penginderaan jauh ini juga mencakup penggunaan pembelajaran mendalam (*Deep Learning*) dan pembelajaran mesin (*Machine Learning*), yang semakin menjanjikan dalam beberapa tahun mendatang (Mohan *et al.*, 2020).

Penginderaan jauh memiliki peran penting dalam mengidentifikasi daerah-daerah yang terdampak daerah rawan kebakaran dan memperkirakan tingkat keparahan dari peristiwa kebakaran tersebut. Dalam kegiatan pemetaan terhadap area pembakaran dan estimasi tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan,

pendekatan dapat dilaksanakan secara langsung maupun tidak langsung. Pengukuran luas bekas kebakaran secara langsung di lapangan memerlukan waktu yang relatif panjang. Kemudahan dalam menjangkau lokasi bekas kebakaran juga membutuhkan biaya cukup tinggi. Oleh karena itu, solusi paling efektif dalam melakukan pengukuran area terdampak kebakaran adalah dengan menggunakan pendekatan tidak langsung melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh berbasis data citra. Metode *Normalized Burn Ratio* (NBR) merupakan pendekatan yang efektif untuk mendeteksi area bekas kebakaran menggunakan citra Sentinel-2. Indeks ini dihitung dengan memanfaatkan saluran *Near Infrared* (NIR) dan *Shortwave Infrared* (SWIR), di mana nilai NBR yang tinggi menunjukkan keberadaan vegetasi sehat, sedangkan nilai NBR yang rendah mengindikasikan tanah kosong atau area yang telah terbakar (*NBR Index-Based Fire Detection Using Sentinel-2 Images and GIS*, 2023). Integrasi analisis NBR dengan sistem informasi geografis (GIS) memungkinkan pemetaan spasial area terdampak kebakaran secara lebih akurat dan efisien.

Meningkatnya ketersediaan data Observasi Bumi (EO) dari program seperti Copernicus membuka peluang baru untuk mengembangkan aplikasi deteksi perubahan, inventarisasi longsor, serta penerapan Kecerdasan Buatan. Klasifikasi citra dan otomatisasi alur kerja menjadi metode yang efektif dalam mendeteksi perubahan pada tutupan lahan. Algoritma yang akan digunakan pada citra Sentinel-2A meliputi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), dan *Bare Soil Index* (BSI) untuk mengetahui tingkat kerapatan vegetasi di Kecamatan Padang Tualang, Provinsi Sumatera Utara. Perbedaan utama dari kedua algoritma ini terletak pada pemanfaatan band atau

saluran spektral, dimana setiap algoritma memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri (Fan, Weng, & Wang, 2020; Phiri et al., 2020). Karena vegetasi sangat sensitif terhadap band Near Infrared (NIR) yang dikenal juga inframerah dekat, maka diasumsikan bahwa penerapan band inframerah dekat pada sebuah algoritma untuk ekstraksi informasi vegetasi akan menghasilkan nilai akurasi yang tinggi.

Mempertimbangkan perubahan tersebut, Indeks Tanah Terbuka (*Differential Bare Soil Index*) merupakan indikator yang banyak digunakan dalam studi yang memetakan area terdampak kekeringan atau permukiman yang sedang mengalami urbanisasi (Li & Chen, 2014; Ma et al., 2016; Nguyen et al., 2021). Kecerahan tanah yang tinggi dan rendahnya tutupan vegetasi membantu mengidentifikasi area tanah terbuka yang bisa jadi merupakan akibat dari longsor (Ma et al., 2016). Sangat penting untuk mendeteksi perubahan semacam ini secara andal, dengan memperhatikan resolusi temporal dari citra yang digunakan. Perubahan tiba-tiba pada permukaan dan tutupan lahan merupakan cara efektif untuk mendeteksi kejadian longsor.

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah salah satu indeks vegetasi yang berfungsi untuk memantau fase pertumbuhan tanaman dan memprediksi produktivitasnya, dengan cara mengevaluasi tingkat kepadatan, kehijauan, serta kondisi vegetasi di suatu area menggunakan citra satelit. Indeks vegetasi ini dihitung dengan mengombinasikan band NIR dan band merah (Red). Penggunaan NDVI sangat efektif dalam mengamati fase pertumbuhan tanaman karena tidak memerlukan survei lapangan langsung, melainkan memanfaatkan citra satelit yang dapat diakses dengan mudah. Dengan demikian, proses pengambilan data menjadi lebih cepat dan tidak bergantung pada lembaga seperti Badan

Penyuluh Pertanian yang biasanya memakan waktu lama dan cakupannya terbatas.

Menurut Ekaputra *et al.* (2020), penggunaan citra satelit memungkinkan pengambilan data yang cepat dengan cakupan wilayah yang luas dan berkelanjutan.

Setiap lahan memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang berbeda, tergantung pada jenis penggunaannya. NDVI merupakan metode standar untuk membandingkan tingkat kehijauan vegetasi pada citra satelit dan dapat digunakan sebagai indikator biomassa, tingkat kehijauan relatif, serta untuk menentukan kesehatan dan kerapatan vegetasi (Lufilah *et al.*, 2017).

NDWI dapat merujuk ke salah satu dari setidaknya dua indeks turunan penginderaan jauh yang terkait dengan objek air, terutama untuk memantau perubahan terkait kandungan air dalam badan air, menggunakan panjang gelombang hijau dan NIR (inframerah dekat). Secara desain, NDWI juga bervariasi antara -1 dan +1. Nilai -1 hingga 0 merupakan vegetasi atau tanpa kandungan air. Sedangkan lebih dari 0 merupakan objek air.

NDWI (*Normalized Difference Water Index*) sering digunakan untuk mengidentifikasi daerah basah dan lahan rawa yang memiliki kandungan air yang lebih tinggi. Pereira *et al.* (2018) membandingkan berbagai metode NDWI dan menunjukkan efektivitas indeks ini dalam mendeteksi keberadaan air di area basah. Mereka juga menyoroti penggunaan band tertentu dalam pemrosesan citra untuk mengidentifikasi perubahan-perubahan terkait air, seperti banjir.

Daerah-daerah ini biasanya memiliki kepadatan vegetasi yang tinggi karena ketersediaan air yang memadai. Hasil NDWI menunjukkan sensitivitas terhadap keberadaan air, yang dapat melengkapi analisis NDVI, terutama pada lahan basah.

Sehingga dapat digunakan untuk menilai produktivitas dan pengelolaan di lahan basah

Penelitian ini fokus pada analisis kondisi Tutupan Lahan dalam Penilaian Kerapatan Vegetasi dan Produktivitas di Kecamatan Padang Tualang menggunakan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) , NDWI (*Normalized Difference Water Index*) BSI (*Bare Soil Index*) dan untuk memahami perubahan lingkungan yang terjadi menggunakan NBRI (*Normalized Burn Ratio Index*) . Masalah utama yang akan diidentifikasi adalah perubahan kerapatan tanaman yang mempengaruhi ekosistem, serta dampak perubahan ini terhadap lingkungan sekitar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dinamika perubahan kondisi tutupan lahan di Kecamatan Padang Tualang berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI pada rentang 2017-2024?
2. Bagaimana perubahan kualitas lahan di Kecamatan Padang Tualang dapat diidentifikasi menggunakan NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI?
3. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi perubahan kualitas lahan di Kecamatan Padang Tualang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perubahan tutupan lahan di Kecamatan Padang Tualang berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI.
2. Untuk mengidentifikasi perubahan kualitas lahan di Kecamatan Padang Tualang berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI.

3. Untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan kualitas lahan di Kecamatan Padang Tualang menggunakan NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi di Fakultas Pertanian Universitas Medan Area.
2. Menjadi referensi dalam memahami kondisi dan perubahan tutupan lahan dan kualitas lahan di DAS Wampu dengan memahami kondisi dan perubahan tutupan lahan dan kualitas lahan berdasarkan NDVI, BSI, NDWI, dan, NBRI

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan segala bentuk intervensi manusia terhadap sumber daya alam maupun sumber daya buatan dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan fisik dan non-fisik. Berdasarkan pendapat Ovchinnikova dkk. (2021), penerapan pendekatan metodologis yang efektif dalam pengelolaan lahan sangat penting untuk memastikan pemanfaatan sumber daya alam secara optimal tanpa membahayakan keberlanjutan lingkungan.

Menurut Kusumaningrat (2017), pemanfaatan lahan dapat dipahami sebagai bentuk intervensi manusia terhadap kombinasi sumber daya alam dan buatan yang dikenal sebagai lahan. Intervensi ini dapat bersifat menetap maupun berlangsung secara berkala, dengan tujuan utama untuk memenuhi kebutuhan manusia, baik dalam aspek material maupun spiritual, atau bahkan keduanya secara bersamaan.

Urbanisasi secara global telah menjadi pendorong utama perubahan penggunaan lahan, mengakibatkan perluasan kawasan terbangun dan berkurangnya lahan pertanian serta ekosistem alami. Nuissl dan Siedentop (2021) menyatakan bahwa proses urbanisasi tidak hanya mengubah struktur fisik lanskap, tetapi juga membawa konsekuensi serius terhadap keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan perencanaan wilayah yang proaktif dan terintegrasi untuk meminimalkan dampak negatif dari perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali.

Penggunaan lahan pertanian memainkan peran penting dalam produksi pangan dan bahan baku industri, serta memiliki kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem. Bański dan Mazur (2021) menjelaskan bahwa pola

penggunaan lahan pertanian sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor alami seperti iklim, kualitas tanah, dan topografi, serta faktor sosial-ekonomi seperti kebijakan agraria dan urbanisasi. Mereka juga menyoroti bahwa konversi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, seperti perumahan dan industri, dapat mengancam ketahanan pangan dan menurunkan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan lahan yang berkelanjutan untuk mengatasi dampak-dampak negatif yang ditimbulkan.

Klasifikasi penutupan lahan dalam era data besar dan data terbuka merupakan suatu pendekatan yang melibatkan pemanfaatan data lokal dan pemilihan data pelatihan yang tepat untuk meningkatkan hasil pemetaan penutupan lahan. Hermosilla et al. (2022) menjelaskan bahwa optimasi implementasi lokal sangat penting dalam meningkatkan akurasi pemetaan, terutama ketika menghadapi tantangan dalam pengolahan citra penginderaan jauh dengan data yang sangat besar. Proses klasifikasi ini berfungsi sebagai pedoman utama dalam interpretasi citra penginderaan jauh, untuk memetakan jenis penutupan lahan secara lebih akurat dan relevan dengan kebutuhan lokal

Menurut Nepomnyashchikh, Lazareva, dan Artemyev (2019), pengelolaan sumber daya lahan saat ini semakin mengandalkan dukungan teknologi geoinformasi untuk meningkatkan efektivitas kontrol internal dalam sistem manajemen. Pemanfaatan data spasial melalui sistem informasi geografis (GIS) memungkinkan pengumpulan, analisis, dan visualisasi informasi lahan secara lebih akurat. Dengan pendekatan ini, evaluasi terhadap efisiensi penggunaan lahan dapat dilakukan secara sistematis dan objektif. Penelitian mereka juga mengembangkan model berbasis kubus untuk menilai kinerja penggunaan lahan berdasarkan

berbagai kriteria. Integrasi data geospasial dalam manajemen perusahaan dinilai penting untuk memperbaiki proses pengambilan keputusan strategis. Oleh karena itu, teknologi geoinformasi menjadi komponen kunci dalam mendukung pengelolaan sumber daya lahan yang berkelanjutan

2.2 Penginderaan jauh

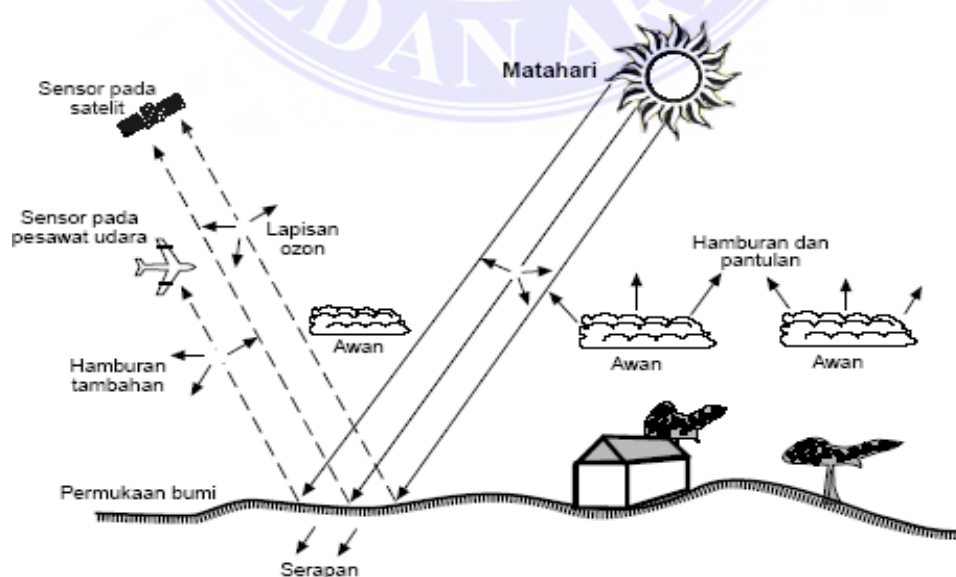
Penginderaan jauh adalah teknik untuk memperoleh informasi mengenai kondisi fisik objek tanpa kontak langsung. Coops dan Tooke (2017) menjelaskan bahwa penginderaan jauh memanfaatkan sensor untuk mengukur radiasi elektromagnetik yang dipantulkan oleh permukaan Bumi. Teknik ini sangat berguna dalam memetakan tutupan lahan dan memantau perubahan ekosistem. Dengan menggunakan data citra satelit, penginderaan jauh membantu dalam perencanaan dan manajemen sumber daya alam.

Penginderaan jauh merupakan teknik akuisisi data permukaan bumi melalui sensor yang mendeteksi radiasi pantulan atau pancaran, menggunakan platform seperti satelit dan pesawat udara, sehingga memungkinkan pemetaan serta pemantauan kondisi lingkungan secara efisien dan berkesinambungan (Beasley & Barnhart, 2017).

Data penginderaan jauh adalah berupa citra. Citra adalah gambaran obyek yang terekam oleh kamera atau sensor lainnya. Citra penginderaan jauh memiliki beberapa bentuk yaitu foto udara ataupun citra satelit. Data penginderaan jauh tersebut adalah hasil rekaman obyek muka bumi oleh sensor. Data penginderaan jauh ini dapat memberikan banyak informasi setelah dilakukan proses interpretasi terhadap data tersebut. Interpretasi citra adalah upaya pengenalan obyek yang terpetakan pada citra dan penilaian arti penting obyek. Interpretasi visual adalah

interpretasi yang dasarnya tidak semata-mata kepada nilai kecerahan, tetapi konteks keruangan pada daerah yang dikaji juga ikut dipertimbangkan. Peranan interpreter dalam mengontrol hasil klasifikasi menjadi sangat dominan pada interpretasi visual ini sehingga hasil klasifikasi yang diperoleh relatif lebih masuk akal.

Melalui penginderaan jauh dapat diketahui informasi tentang suatu wilayah tanpa kontak langsung dengan daerah yang dikaji. Untuk teknik penginderaan jauh lebih praktis dan efisien dalam mengumpulkan informasi mengenai suatu daerah. Menggunakan citra satelit dapat menghemat waktu dan tenaga serta lebih murah dibandingkan dengan pengamatan langsung di lapangan. Namun demikian untuk menjaga akurasi data yang dihasilkan, pekerjaan lapangan harus tetap dilakukan (Khosyi'ah dkk., 2017). Dalam Lubis dkk. (2017), Suwargana (2013) menjelaskan bahwa karakter utama citra (image) dalam penginderaan jauh adalah adanya rentang kanal (band) panjang gelombang elektromagnetik yang dimilikinya. Beberapa radiasi yang dapat dideteksi dengan sistem penginderaan seperti radiasi cahaya matahari yang dapat terdeteksi melalui medium gelombang elektromagnetik.



Gambar II. 1 Mekanisme penginderaan jauh (Danoedoro, 1996).

Citra dalam penginderaan jauh memiliki karakter utama berupa rentang panjang gelombang elektromagnetik (band) yang mampu dideteksi. Radiasi yang terdeteksi dalam sistem penginderaan jauh, termasuk cahaya matahari, dapat dipantulkan melalui gelombang elektromagnetik.

(Menurut Jensen (2005), Radiasi elektromagnetik berasal dari cahaya matahari yang dipancarkan ke permukaan bumi dan mengenai obyek-obyek yang berbeda, obyek tersebut memiliki daya tangkap yang berbeda-beda tergantung dengan jenisnya berdasarkan ketinggian obyek, vegetasi, dan lahan kosong yang kemudian dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh sensor satelit. Sensor satelit mengubah energi pancaran radiasi dari obyek menjadi sebuah data yang berbentuk digital number. Energi gelombang tersebut bergerak dari sumber cahaya matahari menuju permukaan obyek yang menyebabkan terjadinya interaksi antara sensor dengan atmosfer. Interaksi ini terjadi dua kali karena setelah itu energi bergerak dari sasaran menuju sensor sehingga terjadi hamburan atmosferik pada radiasi energi. Ketika mengenai obyek, energi tersebut berinteraksi dengan obyek bergantung pada sifat-sifat obyek dan energi radiasinya. Setelah energi dipancarkan oleh obyek, sensor akan mengumpulkan dan sekaligus akan merekam radiasi elektromagnetiknya dari jauh tanpa ada kontak dengan obyek. Kemudian sensor melakukan perekaman, informasi dikirimkan dan diolah menjadi sebuah data citra digital (Aggarwal, 2009).

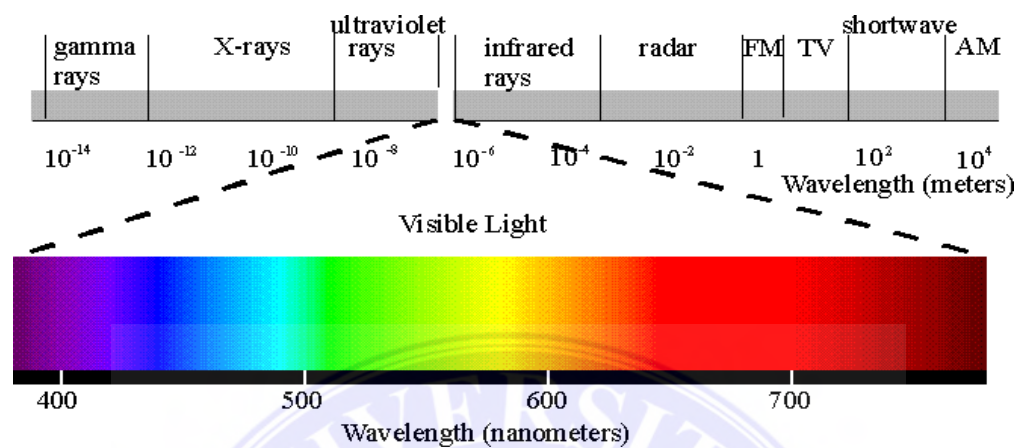
menjelaskan bahwa penginderaan jauh adalah teknik pengumpulan data yang efisien, karena dapat menghemat waktu dan tidak memerlukan kehadiran fisik di lokasi (Foong et al., 2019; Pohl et al., 2016; Zaitunah et al., 2018). Dalam

penginderaan jauh, sensor dari satelit atau drone menangkap pantulan gelombang elektromagnetik dari objek di permukaan bumi (Kaban & Darmawan, 2020).

Kemajuan teknologi penginderaan jauh berkembang pesat sebagai respons terhadap kebutuhan aplikasi yang terus meningkat dalam menjawab berbagai tantangan pembangunan. Citra penginderaan jauh mampu memberikan gambaran objek, wilayah, dan fenomena di permukaan bumi dengan akurasi yang tinggi, serta menampilkan bentuk dan posisi objek yang mirip dengan kondisi aslinya. Citra satelit memiliki banyak keunggulan, seperti cakupan wilayah yang luas dan data yang selalu diperbarui, sehingga penggunaan citra tersebut menjadi lebih efisien. Gelombang elektromagnetik berasal dari sumber cahaya matahari yang dipancarkan dan masuk kedalam atmosfer bumi. Interaksi antara gelombang

elektromagnetik dengan atmosfer akan menimbulkan adanya hamburan dan penyerapan energi gelombang elektromagnetik oleh berbagai partikel atmosfer. Jendela atmosfer merupakan bagian-bagian spektrum elektromagnetik yang dapat melalui atmosfer dan mencapai permukaan bumi. Gelombang elektromagnetik terbagi menjadi beberapa frekuensi dan panjang gelombang yang sering dikenal dengan spektrum elektromagnetik (Pain, 2005). Spektrum elektromagnetik adalah rentang semua radiasi dari gelombang elektromagnetik yang dapat dijelaskan melalui panjang gelombang, frekuensi dan energi. Spektrum gelombang elektromagnetik merupakan bagian penting dengan ilmu penginderaan jauh. Data penginderaan jauh berasal dari hasil pantulan spektrum gelombang elektromagnetik. Semakin panjang gelombang elektromagnetik maka akan semakin tinggi frekuensinya serta energinya juga semakin tinggi (Schott, 2007). Pantulan gelombang elektromagnetik atau refleksi adalah peristiwa pengembalian

seluruh atau sebagian energi dari sumber cahaya matahari yang dipancarkan ke permukaan bumi menuju satelit bumi.



Gambar II. 2 Spektrum gelombang elektromagnetik (Pain, 2005)

Tabel 1. Spektrum gelombang elektromagnetik

Gelombang	Panjang Gelombang	Frekuensi
Radio	1 – 1000	$10^8 - 10^5 \text{ Hz}$
Mikro	0.3 – 300 <i>cm</i>	$10^{11} - 10^8 \text{ Hz}$
Infrared	0.7 – 1000 μm	$4,3 \times 10^{14} - 10^{11} \text{ Hz}$
Tampak	0.04 μm – 0.7 μm	$7,5 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$
Ultraviolet	3 <i>nm</i> – 0.4 μm	$10^{16} - 10^{15} \text{ Hz}$
Sinar-X	0.03 <i>nm</i> – 3 <i>nm</i>	$10^{20} - 10^{15} \text{ Hz}$
Sinar Gamma	< 0.03 <i>nm</i>	$10^{25} - 10^{20} \text{ Hz}$

(Sumber: Crawford, 1968).

Gelombang elektromagnetik dapat diterapkan pada sistem penginderaan jauh. Metode pengumpulan data dalam penginderaan jauh dilakukan dari jarak jauh dengan menggunakan sensor satelit. Oleh karena itu, diperlukan suatu energi

penghubung yang membawa informasi berupa data tentang suatu obyek ke permukaan bumi. Data tersebut diperoleh dan direkam melalui distribusi daya, distribusi gelombang bunyi dan distribusi gelombang elektromagnetik.

2.3 Citra Satelit dan Kegunaannya

Citra penginderaan jauh (citra satelit) merupakan sumber data yang berharga untuk mengamati bumi, seperti membantu mengamati perubahan yang terjadi pada permukaan bumi. Citra ini bersumber dari satelit pengamatan bumi yang telah banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti kehutanan, pertanian, geologi, bencana alam, dll. (Zhao dkk., 2022). Berkat kemajuan teknologi pengamatan bumi, volume dan resolusi citra satelit meningkat secara drastis, serta menghasilkan sumber informasi yang sangat besar. Salah satu cara untuk mengekstrak informasi dalam citra satelit yaitu dengan metode klasifikasi. Klasifikasi citra merupakan suatu teknik untuk mengkategorikan suatu piksel, objek, atau potongan gambar ke dalam kelas tertentu. Salah satu kegunaan klasifikasi pada citra satelit adalah untuk memetakan perubahan tutupan/penggunaan lahan. Pemanfaatan citra multi-temporal Sentinel-2 dalam penginderaan jauh menjadi pendekatan yang efektif untuk meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan. Dengan menggabungkan informasi dari berbagai waktu pengambilan citra, variasi kondisi permukaan seperti perubahan vegetasi dan kelembapan tanah dapat terdeteksi lebih akurat. Yuhendra (2019) menunjukkan bahwa penggunaan data multi-temporal memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap dinamika tutupan lahan, sehingga dapat memperbaiki hasil klasifikasi dibandingkan dengan penggunaan data tunggal.

Pada awal tahun 1970-an, klasifikasi tutupan lahan umumnya dilakukan secara manual dengan cara menginterpretasi citra udara cetak yang berformat hitam putih atau band tunggal. Pendekatan ini sangat bergantung pada kemampuan visual manusia karena keterbatasan teknologi pemrosesan citra saat itu. Seiring dengan perkembangan teknologi pengolahan citra, Ratajczak et al. (2019) mengembangkan metode otomatis untuk merekonstruksi tutupan lahan dari citra udara historis, dengan mengevaluasi berbagai teknik ekstraksi fitur tekstur dan algoritma klasifikasi.

Pesatnya perkembangan tersebut bersama dengan kemampuan teknologi penginderaan jauh yang semakin canggih, melahirkan tiga paradigma metode klasifikasi tutupan/penggunaan lahan, yaitu berbasis piksel/sub-piksel, berbasis objek, dan berbasis pemandangan (Cheng dkk., 2020; Mehmood dkk., 2022).

Nurmalasari dan Santosa (2016) menjelaskan bahwa citra Sentinel-2 adalah satelit pencitraan optik yang diluncurkan oleh Eropa pada tahun 2015. Satelit ini merupakan bagian dari program Copernicus yang dikelola oleh European Space Agency (ESA). Banyak peneliti yang memanfaatkan citra ini karena ketersediaannya secara gratis melalui situs web ESA. Selain itu, citra yang dihasilkan memiliki resolusi multispektral dengan 13 saluran yang mencakup sensor tampak, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek. Resolusi spasialnya juga cukup tinggi, yakni 10 meter untuk band merah, biru, hijau, dan inframerah dekat.

Tabel 2. Spesifikasi *band* Sentinel 2

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

(Sumber : <https://www.satimagingcorp.com>)

Salah satu citra satelit yang sering digunakan adalah Sentinel-2, yang merupakan citra multispektral dengan resolusi sedang, dapat digunakan untuk memantau tutupan lahan seperti vegetasi, tanah, dan air. Sentinel-2 memiliki 4 band dengan resolusi spasial 10 meter, 6 band dengan resolusi 20 meter, dan 3 band dengan resolusi 60 meter (Kurniawan et al., 2021).

Sentinel-2 adalah satelit penginderaan jauh yang dilengkapi dengan sensor pasif. Satelit ini memiliki 13 band spektral: band 2, 3, 4, dan 8 dengan resolusi spasial 10 m; band 5, 6, 7, 8a, 11, dan 12 dengan resolusi 20 m; serta band 1, 9, dan 10 dengan resolusi 60 m (Esa, 2013). Citra dari Sentinel-2 sering digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis isu-isu lingkungan, perencanaan kota, deteksi perubahan penggunaan lahan, pemetaan risiko bencana, dan berbagai aplikasi lainnya (Clerici, Valbuena Calderón & Posada, 2017; Tavares et al., 2019; Lopes et al., 2020)

Citra satelit Sentinel-2 memiliki karakteristik yang sangat cocok untuk penelitian ini, karena jenis satelit ini dilengkapi dengan kamera multispektral beresolusi tinggi yang mencakup 13 saluran spektral (Liu et al., 2020; Putri, Sukmono, & Sudarsono, 2018; Topaloğlu et al., 2016). Selain itu, salah satu kelebihan utama dari citra ini adalah ketersediaannya yang gratis dan terbuka untuk publik melalui portal data Copernicus, sehingga sangat mudah diakses oleh peneliti, pemerintah, serta organisasi lain yang membutuhkan data tersebut.

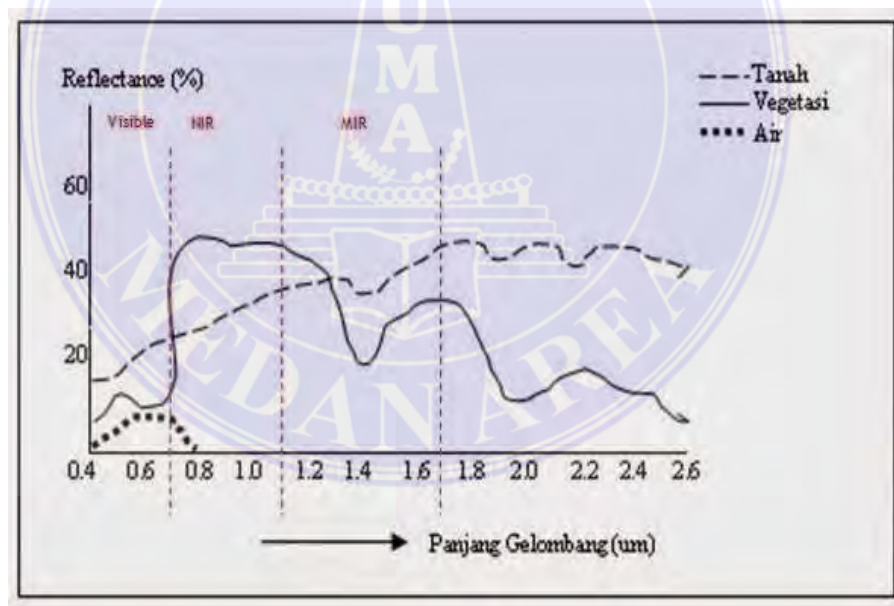
Sifat sistematis dari akuisisi citra ini, yang berlangsung selama beberapa tahun hingga dekade, memungkinkan investigasi deret waktu dengan resolusi temporal yang belum pernah terjadi sebelumnya. Sementara program satelit Sentinel-2 pada awalnya dirancang untuk memantau proses yang berubah seiring waktu pada satu momen tertentu (artinya pengamatan statis yang dapat berubah seiring waktu), tidak diperkirakan bahwa satelit Sentinel-2 dapat digunakan untuk mengamati fitur fisik dinamis yang bersifat instan, seperti propagasi fitur (Kudryavtsev et al., 2017; Yurovskaya et al., 2019; Bergsma et al., 2019).

2.3.1. Indeks Vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Penginderaan jauh merupakan alternatif untuk mengoptimalkan sumber daya dan waktu dalam mengidentifikasi dan mengukur perubahan yang disebabkan oleh berbagai gangguan alam atau manusia pada hutan (Schultz et al., 2016; Senf et al., 2017; Bullock et al., 2020). Saat ini, terdapat berbagai citra satelit dengan resolusi spasial tinggi yang tersedia secara gratis dan dapat diakses secara terbuka di seluruh dunia (Zhu et al., 2019). Di sisi lain, pita spektral dan indeks vegetasi, yang dapat diekstraksi dari citra satelit seperti *normalized difference vegetation index* (NDVI), merupakan pendekatan umum yang digunakan untuk menilai

gangguan pada vegetasi hutan (Lambert et al., 2013; Hojas-Gascón et al., 2015; Lastovicka et al., 2020). Keunggulan dari indeks vegetasi ini adalah kemampuannya mendeteksi pola perubahan anomali dalam skala kecil, yang dapat dikaitkan dengan berbagai agen biotik atau abiotik, yang diidentifikasi pada tingkat piksel dalam vegetasi melalui perubahan positif atau negatif (Nolè et al., 2018).

NDVI sangat berkaitan dengan biomassa pohon di atas permukaan tanah (dan dengan parameter hutan lainnya), namun dapat dipengaruhi oleh musim saat analisis dilakukan. Zhu & Liu (2015) menyebutkan bahwa NDVI pada musim gugur menunjukkan korelasi yang lebih kuat dengan biomassa pohon di atas permukaan tanah dibandingkan pada musim puncak, karena masalah saturasi pada kanopi dengan kerapatan tinggi



Gambar II. 3 Karakteristik pola respon spektral obyek (Danoedoro, 1996).

Klorofil tidak menyerap setiap aspek spektrum cahaya yang diterima.

Molekul klorofil menyerap cahaya pada spektrum biru dan merah dengan intensitas

sekitar 70% hingga 90% dari total cahaya yang datang. Sementara itu, cahaya hijau hanya sedikit diserap dan justru sebagian besar dipantulkan. Oleh karena itu, pantulan cahaya hijau yang dominan menyebabkan vegetasi yang hidup atau dalam keadaan sehat tampak berwarna hijau dapat dilihat oleh mata manusia (Jatmiko, 2015). Setiap objek memiliki pola karakteristik respon spektral yang khas. Pola ini ditampilkan dalam bentuk kurva karakteristik respon spektral untuk beberapa jenis objek, seperti tanah, vegetasi, dan udara. Objek yang memiliki tingkat pantulan tinggi terhadap gelombang elektromagnetik akan terlihat terang pada citra, sedangkan objek yang menyerap lebih banyak energi akan tampak gelap pada citra (Danoedoro, 1996).

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah ukuran dari keseimbangan antara energi yang diterima dan energi yang dipancarkan oleh objek di Bumi. Ketika diterapkan pada komunitas tumbuhan, indeks ini menetapkan nilai untuk seberapa hijau suatu area, yaitu jumlah vegetasi yang ada di area tersebut serta kondisi kesehatan atau vigor pertumbuhannya. NDVI adalah indeks tak berdimensi, sehingga nilainya berkisar antara -1 hingga $+1$.

Dalam praktiknya, nilai yang berada di bawah $0,1$ menunjukkan badan air dan tanah kosong, sementara nilai yang lebih tinggi merupakan indikator aktivitas fotosintesis yang tinggi yang terkait dengan semak belukar, hutan sedang, hutan hujan, dan aktivitas pertanian. NDVI biasanya digunakan untuk memperkirakan berapa banyak vegetasi yang ada di lokasi tertentu (Crippen, 1990; Niraj *et al.*, 2022b). Dalam penelitian ini, kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer FLAASH pertama kali digunakan untuk meningkatkan kualitas citra Landsat 8 RS guna mengurangi efek hamburan atmosfer sebelum memperkirakan NDVI menggunakan

ekspresi matematika seperti yang diberikan di bawah ini (Crippen, 1990; Niraj *et al.*, 2022b).

$$\text{NIR} - \text{NIR MERAH} + \text{NDVI MERAH}$$

Kami mengkategorikan peta NDVI (Gambar 4k) menjadi lima kelas (perairan, lahan tandus, padang rumput, vegetasi jarang, dan vegetasi lebat) berdasarkan nilai NDVI yang diberikan oleh Crippen (1990).

Berbagai indeks vegetasi memiliki kekuatan dan keterbatasannya masing-masing (Loranty *et al.* 2018; Xue dan Su 2017). NDVI adalah indeks yang paling populer digunakan untuk penilaian vegetasi, namun bukan berarti NDVI selalu efektif secara universal. Jika NDVI tidak memenuhi kebutuhan penilaian vegetasi atau tujuan lainnya, maka dapat dipertimbangkan penggunaan indeks vegetasi lain.

2.3.2 Indeks Tanah Bare Soil Index (BSI)

Indeks Tanah Terbuka (BSI) memungkinkan identifikasi area tanah terbuka atau area dengan vegetasi yang sangat sedikit. Dengan beberapa modifikasi, BSI juga telah digunakan dalam studi konversi lahan, permukaan impervious, dan hubungannya dengan suhu permukaan (Nguyen *et al.*, 2021).

Ketersediaan data Penginderaan Jauh (EO) yang semakin meningkat dari program seperti Copernicus meningkatkan kemungkinan untuk mengembangkan aplikasi baru dalam deteksi perubahan, inventaris longsor, atau penggunaan Kecerdasan Buatan. Klasifikasi citra dan otomatisasi alur kerja merupakan cara yang sangat baik untuk mendeteksi perubahan dalam tutupan lahan.

Mengacu pada perubahan tersebut, *Differential Bare Soil Index* adalah indikator yang dikenal baik yang digunakan dalam studi tentang pemetaan area yang terpengaruh kekeringan atau pemukiman yang mengalami urbanisasi (Li &

Chen, 2014; Ma et al., 2016; Nguyen et al., 2021). Kecerahan tanah yang tinggi dan tutupan vegetasi yang rendah membantu mengidentifikasi area tanah yang terbuka yang bisa jadi merupakan hasil dari longsor (Ma et al., 2016).

Area tanah terbuka meningkat selama periode analisis, mencapai nilai maksimumnya dalam tiga tahun terakhir dari rangkaian waktu. Kelas ini mewakili sebagian kecil dari daerah tangkapan air; namun, ini merupakan indikator penting dari kehadiran manusia, yang berfungsi sebagai ukuran untuk memperkirakan peningkatan populasi dan permintaan terhadap sumber daya alam. Tanah yang terekspos terutama terjadi di lokasi-lokasi yang ditandai dengan kehadiran manusia yang kuat, selain formasi batuan dan infrastruktur perkotaan, sesuai dengan klasifikasi MapBiomass (Belmont 2018; Gavioli & Hossomi, 2020).

Meskipun perilaku stasioner, curah hujan dapat mempengaruhi tingkat aliran sungai (Mendes et al. 2019), terutama karena curah hujan, dalam situasi tertentu, merupakan agen dengan dampak besar terhadap aliran di sebuah daerah tangkapan air (Gupta et al. 2015). Penulis-penulis tersebut juga mengamati bahwa dampak perubahan tutupan lahan telah meningkat dalam beberapa dekade terakhir akibat percepatan urbanisasi. Dalam menganalisis penggunaan lahan dan tingkat aliran sungai, pengurangan area hutan dan peningkatan area tanah telanjang serta lahan pertanian mungkin telah berdampak negatif pada Qmin di RCRB. Hasil ini berbeda dengan temuan Dias et al. (2015), yang mengidentifikasi tren peningkatan tingkat aliran sungai akibat penggantian hutan dengan penggunaan lahan lain di daerah tangkapan air Amazon. Namun, peningkatan permintaan terhadap sumber daya air dan perubahan penggunaan lahan dapat menyebabkan penurunan tingkat aliran sungai seiring waktu (Ferreira et al. 2020; Andrade dan Ribeiro 2020).

Hubungan terbalik antara BSI dan aliran sungai dapat menjadi indikasi pengaruh tutupan vegetasi terhadap limpasan permukaan sebuah daerah tangkapan air (Bart et al. 2021).

2.3.3. *Normalized Difference Water Index (NDWI)*

Berbagai metode telah digunakan untuk mengidentifikasi badan air terbuka dari data penginderaan jauh. Badan air terbuka dapat diidentifikasi atau diekstraksi dari band dengan berbagai cara, seperti metode klasifikasi terawasi, metode klasifikasi tak terawasi, metode ambang batas satu band, metode indeks badan air, metode klasifikasi pohon keputusan berbasis pengetahuan, pencocokan spektral berbasis optimasi kawanan partikel diskrit (SMDPSO), dan metode pencocokan spektral yang ditingkatkan berbasis optimasi kawanan partikel diskrit dengan peningkatan fitur linear (Wei et al., 2020).

Badan air lebih mudah diidentifikasi dibandingkan dengan jenis tutupan lahan lainnya karena memiliki sifat reflektansi spektral yang lebih rendah dibandingkan dengan material permukaan tanah lainnya (Deus & Gloaguen, 2013; Gowen et al., 2014). Oleh karena itu, banyak penelitian menyarankan bahwa indeks air dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fitur air dan non-air dalam citra satelit multi-temporal.

Indeks air dapat didefinisikan sebagai model matematis yang digunakan untuk meningkatkan sinyal air pada setiap piksel dalam citra yang diperoleh dari sensor pemindaian pada spektrum tampak dan inframerah dekat (El-Asmar & Hereher, 2011). Bagian spektrum tampak (hijau) dan inframerah dekat digunakan dalam perhitungan model-model ini. Indeks air menggunakan berbagai operasi aljabar dengan mengombinasikan dua atau lebih band spektral untuk meningkatkan

perbedaan antara fitur air dan non-air (Ali *et al.*, 2019). Informasi air di permukaan tanah dapat diekstraksi dengan lebih akurat, cepat, dan mudah menggunakan indeks air dibandingkan dengan metode klasifikasi citra yang sangat bergantung pada keahlian manusia (Du *et al.*, 2014).

Indeks air yang paling umum digunakan adalah *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Salah satu pendekatan pemantauan yang efektif untuk mengamati kondisi kekeringan dan kelembaban lahan adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh berbasis satelit citra. Jenis citra satelit yang dapat dimanfaatkan dalam hal ini adalah Sentinel-2, yang memungkinkan penerapan metode indeks kebasahan atau *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Indeks ini memiliki tingkat sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Selain itu, NDWI juga mampu mendeteksi perubahan badan air serta keberadaan air yang keruh (Guo *et al.*, 2017).

Normalized Difference Water Index (NDWI) merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk menilai tingkat kelembapan pada suatu objek berdasarkan data citra satelit. Indeks ini menggambarkan kondisi kebasahan atau kelengasan lahan, baik pada tanah maupun vegetasi, dan sering dimanfaatkan dalam kajian ilmu tanah serta hidrologi, khususnya dalam mengidentifikasi wilayah yang berpotensi mengalami genangan atau banjir. Selain itu, NDWI juga berfungsi sebagai indikator untuk mendeteksi perubahan kondisi kekeringan, kebakaran lahan, maupun perubahan kelembapan lainnya. Indeks ini diperoleh dari kombinasi antara saluran *Near-Infrared* (NIR) dan *Short-Wave Infrared* (SWIR). Reflektansi pada SWIR sangat dipengaruhi oleh kadar air dalam jaringan daun serta struktur mesofil spons pada kanopi tanaman, sedangkan reflektansi pada NIR mencerminkan struktur

internal daun, termasuk daun yang telah mengering dan kehilangan kandungan air. Kombinasi antara dua saluran ini berperan dalam mengurangi pengaruh variasi struktur daun dan sekaligus meningkatkan efisiensi dalam mendeteksi kadar air vegetasi secara lebih akurat (Febrianti, 2019).

2.3.4. *Normalized Burn Ratio Index (NBRI)*

Indeks yang sering digunakan untuk menyoroti area terbakar pada zona kebakaran besar adalah *Normalized Burn Ratio* (NBR), yang dianggap sebagai standar dalam penilaian tingkat keparahan kebakaran. Rumus NBR menggabungkan penggunaan kedua panjang gelombang NIR (B8A) dan SWIR (B12). Nilai NBR yang tinggi umumnya menunjukkan vegetasi yang sehat, sementara nilai yang rendah menunjukkan permukaan tanah terbuka atau area yang baru saja terbakar. Rumus NBR mirip dengan NDVI, yang dihitung sebagai rasio antara nilai NIR dan SWIR. Rumus NBR dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$NBR = \frac{B12 - B8A}{B12 + B8A}$$

Area dengan nilai NBR mendekati nol dianggap sebagai area yang tidak terbakar. Alcaras et al. (2022) mengembangkan indeks *Normalized Burn Ratio Plus* (NBR+) untuk meningkatkan kemampuan deteksi kebakaran pada citra Sentinel-2. Indeks NBR+ ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan pada NBR konvensional, terutama dalam mendeteksi kebakaran di area dengan keragaman vegetasi yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NBR+ memiliki sensitivitas yang lebih baik dalam membedakan area terbakar, memungkinkan identifikasi yang lebih akurat dari daerah yang terkena dampak kebakaran. Pendekatan ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi pemetaan kebakaran hutan dan

perubahan tutupan lahan menggunakan citra satelit, sehingga mendukung upaya mitigasi kebakaran secara lebih efektif.

Van Dijk et al. (2021) menganalisis tanda tangan spektral untuk membedakan area terbakar asli dari area yang terdeteksi sebagai terbakar palsu akibat panen pertanian menggunakan data Sentinel-2. Penelitian ini menguji efektivitas pita inframerah dekat (NIR) dan gelombang pendek (SWIR) dalam membedakan area terbakar dan area pertanian yang terdeteksi sebagai kebakaran palsu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pita SWIR dan NIR memberikan diskriminasi terbaik antara kedua kelas tersebut, dengan penggunaan indeks pemisahan spektral yang meningkatkan akurasi pemetaan area terbakar. Temuan ini penting untuk mengurangi kesalahan deteksi kebakaran akibat aktivitas pertanian dalam pemantauan kebakaran hutan.

Namun, hasil penelitian mengenai efektivitas metode ini masih diperdebatkan, terutama karena keandalan yang rendah dalam pemetaan keparahan kebakaran terhadap tanah dibandingkan dengan vegetasi (Vega et al., 2013).

Llorens et al. (2021) mengembangkan metodologi untuk memperkirakan luas area terbakar dan tingkat keparahan kebakaran hutan dengan menggunakan data Sentinel-2. memanfaatkan indeks spektral seperti NBR dan differenced NBR (dNBR) untuk mengidentifikasi perubahan kondisi vegetasi akibat kebakaran. Metodologi ini memungkinkan klasifikasi tingkat keparahan kebakaran menjadi beberapa kategori, seperti rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, berdasarkan nilai dNBR yang dihitung dari citra sebelum dan sesudah kebakaran. Pendekatan ini sejalan dengan definisi keparahan kebakaran sebagai tingkat perubahan yang

disebabkan oleh kebakaran terhadap vegetasi dan tanah, yang diukur menggunakan metrik citra satelit.

Selain itu, hasil klasifikasi tingkat keparahan kebakaran yang diperoleh dari data Sentinel-2 dengan data dari *European Forest Fire Information System* (EFFIS), yang menggunakan citra MODIS. Hasilnya menunjukkan bahwa metodologi yang dikembangkan dengan Sentinel-2 memiliki akurasi yang lebih tinggi dalam mengestimasi area terbakar dan tingkat keparahan kebakaran. Hal ini mendukung penggunaan indeks berbasis citra satelit, seperti dNBR, dalam penilaian keparahan kebakaran hutan.

perbedaan struktur dan komposisi jenis tutupan lahan memerlukan pemetaan area terbakar yang akurat, terutama bagi pengelola lahan dan ekologi. Dalam studi mereka, dari sembilan indeks pemetaan area terbakar yang diuji, dua indeks (BAI dan GEMI) menunjukkan kinerja terbaik dalam berbagai jenis tutupan lahan (Mpakairi et al. 2020).

NBR peka terhadap kandungan klorofil pada tanaman, kadar kelembapan, serta keberadaan arang atau abu di tanah (Parks, Dillon & Miller, 2014). Semua persamaan untuk **dNBR, RdNBR, dan RBR menggunakan NBR yang diperoleh dari citra satelit sebelum dan sesudah kebakaran** untuk mengukur perubahan spektral.

Namun, dNBR merupakan perbedaan absolut, yang dapat menimbulkan masalah di wilayah dengan tutupan vegetasi pra-kebakaran yang rendah, di mana perubahan absolut antara NBR sebelum dan sesudah kebakaran akan kecil. Dalam kasus seperti ini, versi relatif dari keparahan kebakaran, yaitu relative burn ratio

(RBR), lebih menguntungkan dan memberikan hasil yang lebih akurat (Persamaan 5)

Para peneliti dan praktisi biasanya mengklasifikasikan metrik kontinu ini menjadi peta kategori yang menunjukkan area dengan tidak berubah, keparahan rendah, sedang, dan tinggi akibat kebakaran.

2.3.5. Komposit Band

Dalam menyusun citra komposit RGB untuk NDVI dan BSI, spektrum inframerah dekat (NIR) dari band 8 digunakan dalam kolom Red, spektrum merah dari band 4 (Red) dimasukkan ke kolom Green, dan spektrum biru dari band 2 (Blue) dimasukkan ke kolom Blue. Penggabungan spektrum ini menghasilkan citra RGB yang membantu mengidentifikasi vegetasi (NDVI) dan tanah terbuka (BSI). kombinasi band ini memberikan hasil visual yang baik untuk memetakan kondisi vegetasi dan area non-vegetasi, termasuk tanah terbuka, meskipun perlu diperhatikan gangguan atmosfer sebelum pengolahan citra lebih lanjut.

Dari kombinasi-kombinasi itulah yang menghasilkan gambar dengan warna yang berbeda-beda, hal ini dapat mempermudah proses peng-klasifikasian tutupan dan penggunaan lahan yang akan dilakukan (Arizal Kawamuna, 2017).

2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah alat yang mendukung pengumpulan, pemeliharaan, penyimpanan, analisis, dan distribusi data spasial (Stupen N. et al., 2020). SIG terdiri dari beberapa lapisan perangkat lunak yang saling berhubungan, di mana lapisan inti mencakup perangkat lunak sistem, seperti sistem operasi dan sistem manajemen basis data, yang memberikan fungsi input,

integrasi, penyimpanan, pemrosesan, analisis, serta penyajian data geografis (Putrenko & Dzhygyrei, 2022).

Armenda Bagas Ramadhony dan rekan-rekan (2017) menjelaskan bahwa dalam metode pengukuran ekstraterestrial, penggunaan GPS memiliki peran penting dalam pengukuran titik kontrol dan pemetaan, yang dapat ditunjukkan melalui interpretasi citra satelit. Selain itu, perkembangan sistem informasi digital terkait bentuk permukaan bumi dalam suatu wilayah sering disebut sebagai Sistem Informasi Geografis (SIG).

Yudha Niagara dan tim (2020) menambahkan bahwa SIG adalah sistem komputer yang mampu mengelola data yang memiliki referensi geografis, mencakup proses input, manajemen data, manipulasi, analisis, serta pengembangan produk dan pencetakan.

Alat-alat dasar SIG dapat diwakili oleh beragam produk perangkat lunak yang mengimplementasikan fungsinya secara spesifik. Salah satu contoh dari alat tersebut adalah ArcGIS dari ESRI, yang menjadi solusi ideal untuk membangun SIG korporat dan membantu pengelolaan data geospasial secara efisien. ArcGIS mencakup SIG desktop, mobile, server-side, serta SIG berbasis web, termasuk ArcGIS Online, yang memungkinkan pembuatan peta interaktif dan menyediakan berbagai peta serta data yang siap digunakan dari ArcGIS Living Atlas of the World. SIG berbasis web memungkinkan pengguna untuk melihat, mengedit, dan menganalisis data spasial melalui browser web umum (Stupen M. et al., 2020). Kartografi web, sebagai bagian dari teknologi SIG, memberikan kemampuan visualisasi data spasial dan membantu dalam pengelolaan data yang

mempertimbangkan aspek geografis, yang terus menjadi alat penting dalam pengelolaan lahan (Stupen R. et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh I. Kuzmenko dan N. Makarenko (2018) mengungkapkan hasil pembuatan basis data pendaftaran perusahaan yang bergerak di bidang produksi tanaman organik dalam bentuk data geospasial menggunakan ArcGIS. Prinsip-prinsip teoretis dan metodologis dalam penerapan alat geoinformasi untuk pengelolaan lahan telah dirumuskan sesuai dengan rekomendasi publikasi data geospasial dan metadata pada geoportal nasional oleh pemerintah daerah (Karpinskyi Yu. et al., 2021).

2.4.1 ArcGIS sebagai Platform Sistem Informasi Geografis

ArcGIS memiliki produk utama yaitu ArcGIS Desktop, yang merupakan perangkat lunak SIG profesional dengan tiga komponen utama: ArcView, yang berfokus pada penggunaan data, pemetaan, dan analisis yang luas; ArcEditor, yang lebih diarahkan pada pengeditan data spasial; dan ArcInfo, yang mencakup berbagai fungsi GIS, termasuk analisis geoprosesing yang mendalam. ArcGIS adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memproses peta serta informasi berbasis posisi permukaan bumi. Ini sangat membantu dalam menganalisis pengamatan lapangan menggunakan metode deskripsi kualitatif melalui visualisasi data spasial dan deskripsi lainnya (Agus & Ridwan, 2019).

Penggunaan sistem informasi geografis (GIS) dalam pembuatan peta digital telah berkembang pesat, dengan pemanfaatan data dari berbagai sumber seperti peta topografi, citra satelit, dan data GPS. Proses ini melibatkan teknik penginderaan jauh untuk menghasilkan peta yang lebih akurat dan dinamis, yang kemudian

diintegrasikan ke dalam geo-database untuk analisis spasial yang lebih efisien (Hamid, Sameer, & Mageed, 2020).

Pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk melakukan analisis kesesuaian lahan hunian, dengan mempertimbangkan berbagai kriteria, seperti aksesibilitas jalan dan kedekatannya dengan pemukiman yang ada. Hasil analisis menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil area yang sangat sesuai untuk pengembangan lahan hunian, sementara sebagian besar area lainnya memiliki tingkat kesesuaian moderat (Karna, Shrestha, & Koirala, 2023).

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) memiliki peran penting dalam penyusunan peta desa yang mencakup elemen-elemen seperti batas administratif, jaringan infrastruktur, bangunan, penggunaan lahan, serta jalur transportasi. Penentuan batas wilayah menjadi aspek krusial karena kerap kali menjadi pemicu konflik di kawasan pedesaan (Setyawan et al., 2018). Dalam ruang lingkup administrasi desa, SIG juga bermanfaat dalam manajemen pertanahan dan pengaturan kepemilikan lahan secara sistematis (Abdulghani & Ubaedilah, 2018). Informasi spasial desa dapat divisualisasikan melalui peta digital yang terintegrasi ke dalam sistem informasi berbasis geospasial, memungkinkan akses data yang lebih efektif dan meningkatkan pengembangan desa, termasuk sektor pariwisata (Setiyowati et al., 2021; Saputra, 2018).

Sementara itu, Awaluddin (2010) menjelaskan bahwa ArcGIS merupakan perangkat lunak SIG yang komprehensif yang terdiri dari berbagai komponen seperti ArcReader, ArcCatalog, ArcMap, dan ArcView. ArcGlobe, yang merupakan bagian dari ekstensi ArcGIS 3D Analyst, menyediakan kemampuan visualisasi data geospasial dalam bentuk tiga dimensi yang interaktif. ArcCatalog

digunakan untuk mengelola data spasial, layanan GIS, metadata, alat pengolahan data, basis data geografi, hingga peta. Sedangkan ArcMap berfungsi sebagai inti dari sistem ArcGIS, digunakan dalam proses pemetaan, penyuntingan data, analisis spasial, serta pencarian informasi berbasis peta. Adapun ArcToolbox memiliki sekumpulan alat yang mendukung pemrosesan geospasial secara menyeluruh.

2.5 Interpretasi Citra

Sistem interpretasi otomatis citra penginderaan jauh memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi analisis citra satelit, dengan memanfaatkan teknik kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek permukaan bumi. Penggunaan sistem ini memungkinkan pengolahan data citra yang lebih cepat dan akurat, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis informasi spasial yang lebih baik (Ni & Jiang, 2017).

Interpretasi citra merupakan proses untuk mengenali dan menafsirkan objek-objek yang terekam dalam citra hasil penginderaan jauh. Proses ini bertujuan untuk memperoleh informasi dari citra yang diperoleh menggunakan sensor jarak jauh. Menurut Purwadhi et al. (2008), interpretasi citra penginderaan jauh dapat dilaksanakan melalui dua pendekatan, yaitu secara manual dan secara digital.

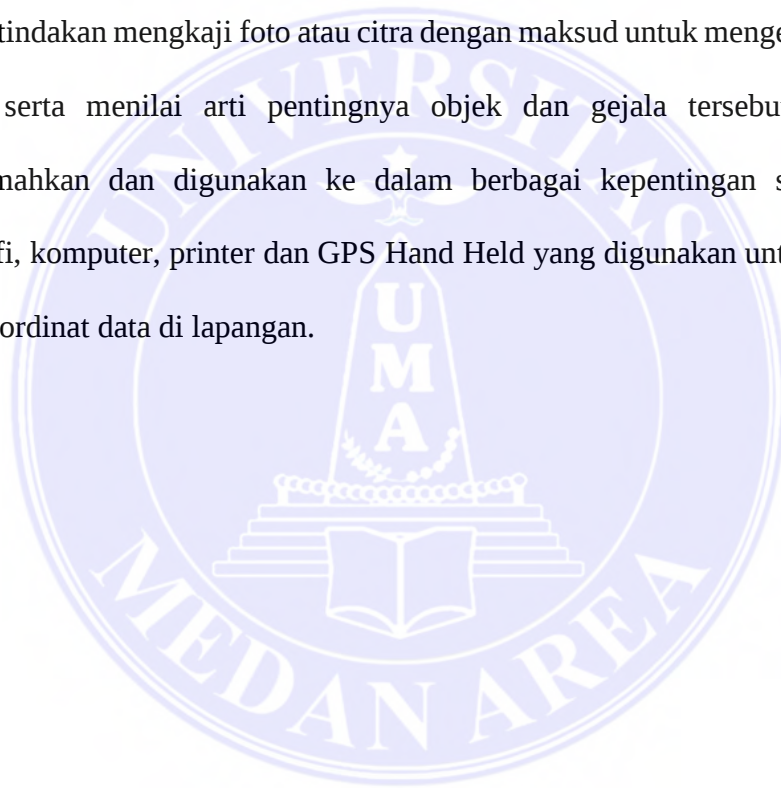
1. Interpretasi data citra secara manual, merupakan suatu cara mengidentifikasi obyek terhadap citra fotografi dan non-fotografi yang telah dikonversi kedalam bentuk foto atau citra. Interpretasi secara manual terhadap citra Citra penginderaan jauh yang telah melalui proses koreksi, baik koreksi radiometrik maupun geometrik, memungkinkan pengguna untuk langsung melakukan proses identifikasi terhadap objek yang tampak di dalam citra tersebut.

2. Proses interpretasi ini dapat dilakukan secara digital, yaitu dengan memanfaatkan perangkat komputer untuk membantu dalam identifikasi objek, mulai dari tahap pengolahan, penajaman tampilan, hingga klasifikasi sesuai dengan kebutuhan analisis. Menurut Purwadhi et al. (2008) penggunaan citra yang telah dikoreksi dalam interpretasi digital juga umum dilakukan guna memperoleh data yang lebih akurat.

Namun demikian, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pendekatan interpretasi citra secara digital memiliki keterbatasan, khususnya dalam membedakan objek-objek dengan karakteristik spektral yang mirip seperti vegetasi dan lahan terbangun (Noviar, 2013; Kushardono, 2017). Kendala ini muncul karena data spektral yang digunakan dalam analisis digital memiliki batasan dalam merepresentasikan ciri khas setiap objek, ditambah dengan fenomena campuran piksel (mixed pixel) yang sering kali menyebabkan kekeliruan dalam proses pengenalan objek permukaan bumi (Kushardono, 2017; Manalu et al., 2016). Hal tersebut pada akhirnya berdampak pada menurunnya kualitas hasil interpretasi citra (Sulyantara et al., 2018). Sebaliknya, metode interpretasi citra secara visual lebih tepat diterapkan pada wilayah yang relatif sempit, khususnya jika menggunakan skala besar atau kadaster. Dalam pendekatan ini, ketelitian dan kelengkapan informasi menjadi prioritas utama. Semakin besar skala peta yang digunakan, maka semakin detail pula informasi yang dapat disajikan. Hal ini penting, misalnya dalam pembuatan Peta Pertimbangan Teknis Pertanahan yang berbasis bidang, bukan wilayah administratif, sehingga menuntut penyajian data yang rinci dan presisi pada skala besar. Sementara itu, pemanfaatan interpretasi digital dengan pendekatan algoritma *maximum likelihood* dalam konteks pertanahan sebagaimana dikaji

oleh Utami et al. (2018), menunjukkan bahwa data penggunaan lahan terkini dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan tanah-tanah terlantar, yakni lahan yang tidak dimanfaatkan sesuai peruntukan berdasarkan hak yang diberikan dalam dokumen perizinan.

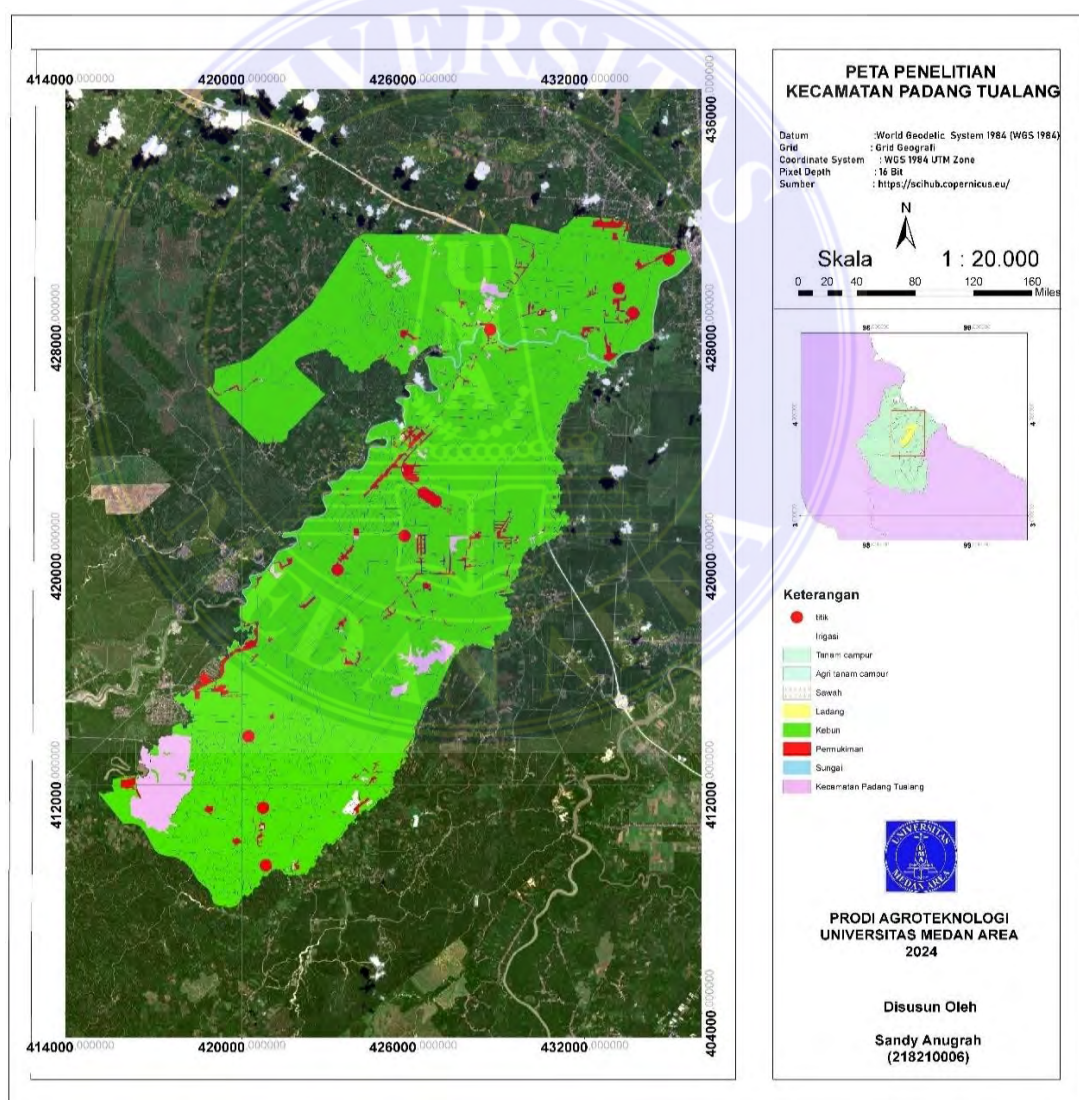
Pengolahan citra dan pengenalan pola menjadi bagian dari proses pengenalan citra. Kedua aplikasi ini akan saling melengkapi untuk mendapatkan ciri khas dari suatu citra yang akan dikenali Wells, Risdy. (2010). Interpretasi citra adalah tindakan mengkaji foto atau citra dengan maksud untuk mengenali objek dan gejala serta menilai arti pentingnya objek dan gejala tersebut. citra dapat diterjemahkan dan digunakan ke dalam berbagai kepentingan seperti dalam: geografi, komputer, printer dan GPS Hand Held yang digunakan untuk perekaman titik koordinat data di lapangan.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Padang Tualang, Kabupaten Langkat, Sumatra Utara, Lokasi penelitian terletak berdasarkan koordinat 3,8741431° Lintang Utara dan 98,39677° Bujur Timur. Penelitian di laksanakan pada 22 Desember 2024 yang mencakup analisis citra satelit, pengolahan data spasial dan pengumpulan data lapangan.



Gambar III.1 Titik pengambilan sampel (Sumber ; Pribadi)

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

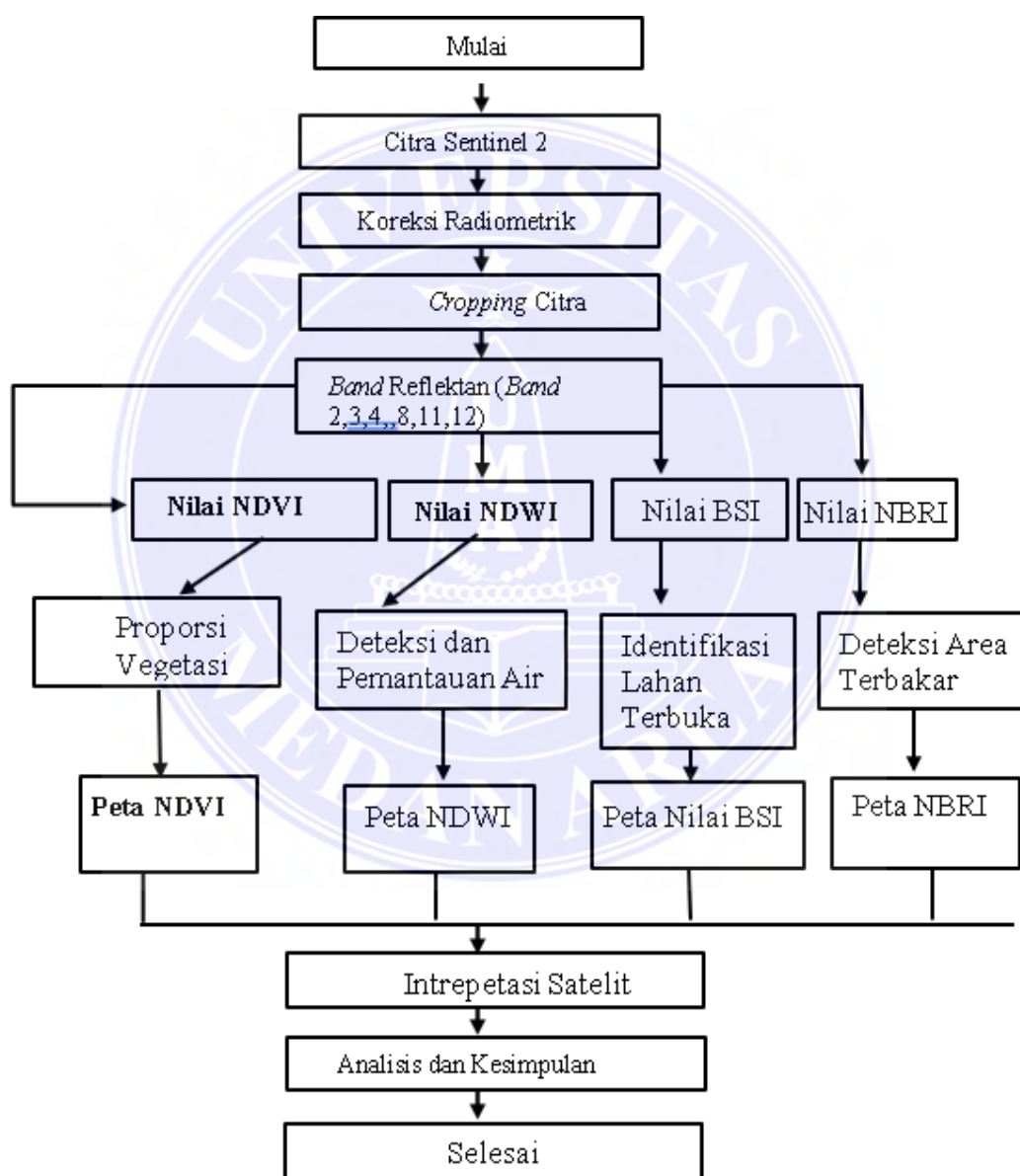
Perangkat yang digunakan pada penelitian ini mencakup beberapa alat serta perangkat lunak pendukung. Perangkat personal komputer yang berfungsi sebagai media primer untuk mengolah serta menganalisis data spasial. Perangkat lunak ArcGis 10.8, yang merupakan perangkat lunak pemetaan berbasis GIS (Geographic Information System) yang digunakan untuk menganalisis citra satelit dan data spasial lainnya. Salah satu fitur krusial pada ArcGIS 10.8 yang digunakan adalah Raster Calculator, yang memungkinkan peneliti menghitung nilai indeks seperti *Bare Soil Index* (BSI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), Dan *Normalized Burn Ratio Index* (NBRI). Selain itu Handphone dipergunakan untuk mendokumentasikan kondisi lapangan secara visual, yang berfungsi menjadi bukti fisik serta referensi visual terhadap data yang dikumpulkan. untuk mencatat info penting selama survei lapangan peneliti, juga memanfaatkan alat tulis, yang digunakan untuk pencatatan manual data dan observasi penting yang tidak terekam secara digital. Semua perangkat ini memiliki peran esensial dalam mendukung serta pengolahan data pada penelitian ini.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi beberapa sumber data utama. Pertama, Citra satelit Sentinel dua untuk tahun 2017,2020, serta 2024 yang diunduh melalui Schiuhub Copernicus Open Access Hub. Citra ini Berfungsi menjadi data utama pada analisis perubahan tutupan lahan serta vegetasi selama kurun waktu tersebut. Kedua, shapefile Kabupaten Langkat yang diperoleh dari

badan informasi Geospasial Indonesia digunakan sebagai peta dasar serta analisis analisis lebih lanjut. Shapefile ini memfasilitasi delineasi dalam mengkaji perubahan yang terjadi secara spasial didaerah penelitian

3.3 Struktur Penelitian



Gambar III.2 Struktur kegiatan

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua sumber utama, yaitu shapefile dan citra satelit Sentinel-2. Shapefile Kabupaten Langkat akan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial Indonesia. Data ini akan digunakan sebagai peta dasar untuk membantu dalam proses pengambilan sampel dan mendukung analisis spasial yang lebih lanjut.

Sementara itu, citra satelit Sentinel-2 yang akan digunakan dalam penelitian ini diunduh melalui situs Copernicus Open Access Hub (<https://www.scihub.copernicus.eu>). Citra yang diambil pada tanggal 15 Juli untuk tahun 2017, 2020, dan 2024 tersebut telah melalui proses koreksi radiometrik dan geometrik secara sistematis, sebagaimana yang diuraikan oleh Oktaviani & Kusuma (2017). Koreksi ini dilakukan oleh pihak Sentinel untuk memastikan tingkat akurasi data yang tinggi, sehingga citra satelit dapat digunakan secara optimal dalam analisis perubahan tutupan lahan dan vegetasi.

Untuk produk Level 2A yang digunakan dalam penelitian ini, koreksi atmosfer telah diterapkan. Radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan Bumi ke sensor satelit dipengaruhi oleh interaksinya dengan atmosfer. Tujuan dari koreksi atmosfer adalah untuk memperoleh nilai reflektansi permukaan sebenarnya (Bottom-Of-Atmosphere, BOA) dari nilai reflektansi di puncak atmosfer (Top-Of-Atmosphere, TOA) dengan menghilangkan efek atmosfer. Koreksi atmosfer sangat penting, terutama dalam analisis citra multi-temporal seperti yang dilakukan dalam penelitian ini (citra sebelum dan sesudah kebakaran) (Nazeer et al., 2021).

Sen2Cor adalah prosesor Level-2A yang terintegrasi dalam perangkat lunak SNAP untuk melakukan koreksi atmosfer pada data Sentinel-2 Level-1C. Proses ini

mencakup koreksi medan dan awan cirrus secara opsional, serta menghasilkan produk reflektansi permukaan (Bottom-Of-Atmosphere). Selain itu, Sen2Cor menyediakan informasi tambahan seperti Ketebalan Optik Aerosol, Uap Air, Peta Klasifikasi Adegan, dan Indikator Kualitas untuk probabilitas awan dan salju (Main-Knorn et al., 2017).

3.4.2 Preprocessing Citra

Dalam penelitian ini, preprocessing citra satelit Sentinel-2 menjadi langkah penting untuk memastikan kualitas data yang digunakan. Citra satelit Sentinel-2 yang diunduh telah melalui proses koreksi radiometrik dan geometrik guna menghilangkan distorsi yang disebabkan oleh pengaruh atmosfer serta menyelaraskan citra dengan koordinat geografis yang tepat. Proses ini memastikan bahwa nilai reflektansi, terutama pada band inframerah dan band lainnya, akurat untuk Penghitungan indeks seperti *Bare Soil Index* (BSI) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), dan *Normalized Burn Ratio Index* (NBRI). Dengan demikian, data yang digunakan dalam analisis perubahan tutupan lahan dan vegetasi dapat diandalkan untuk menghasilkan hasil yang valid dan akurat.

3.4.3 Pemilihan Band dan Komposit

Dengan menggunakan Band 2, Band 3, Band 4, Band 8, Band 11, dan Band 12 dari citra Sentinel-2, peneliti dapat melakukan perhitungan *Bare Soil Index* (BSI) untuk mengidentifikasi area tanah terbuka, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk mengidentifikasi Kerapatan Vegetasi, *Normalized Difference Water Index* (NDWI) untuk mengidentifikasi badan air, *Normalized Burn Ratio Index* (NBRI) untuk mengidentifikasi Area kebakaran.

Band 2 (Blue), yang memiliki panjang gelombang 490 nm, berfungsi untuk membedakan antara air, vegetasi, dan tanah. Gelombang biru ini sensitif terhadap refleksi dari air dan tanah terbuka, sehingga membantu dalam mengidentifikasi fitur perairan dan area tanpa vegetasi.

Band 3 (Green), dengan panjang gelombang 560 nm, berfungsi untuk membedakan berbagai jenis vegetasi dan membantu dalam analisis kesehatan tanaman. Band ini juga digunakan dalam kombinasi dengan band lain untuk meningkatkan deteksi fitur perairan dan pemetaan lingkungan.

Band 4 (Red), dengan panjang gelombang 665 nm, sangat sensitif terhadap vegetasi dan membantu dalam membedakan area dengan sedikit vegetasi dari tanah terbuka. Band ini memberikan informasi mengenai reflektansi dari vegetasi yang sehat dan kurang sehat. Sementara itu, Band 8 (NIR - Near Infrared), yang memiliki panjang gelombang di sekitar 842 nm, sangat efektif dalam mendeteksi keberadaan vegetasi. Band ini memberikan informasi mengenai kesehatan dan kerapatan vegetasi, sehingga dapat digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan area tersebut.

Band 11 (SWIR1 - Shortwave Infrared), dengan panjang gelombang 1610 nm, efektif dalam mengidentifikasi kelembapan tanah dan membantu mendeteksi area yang kering. Band ini sangat berguna untuk memahami kondisi tanah dan mengidentifikasi tanah terbuka.

Band 12 (SWIR2 - Shortwave Infrared 2), dengan panjang gelombang 2190 nm, sangat berguna untuk mendeteksi kandungan air dalam vegetasi serta mengidentifikasi area yang terbakar. Band ini juga membantu dalam analisis kelembapan tanah dan pemantauan kondisi kekeringan.

langkah selanjutnya adalah melakukan komposit band pada keempat band tersebut menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Proses ini akan menghasilkan satu citra terpadu yang siap untuk analisis lebih lanjut. Selain itu, interpretasi citra Sentinel-2 juga dilakukan dengan menghitung indeks kerapatan vegetasi atau *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang diperoleh melalui perhitungan gelombang inframerah dekat (Band 8) dengan gelombang merah (Band 4) yang dipantulkan oleh tumbuhan (Wahrudin et al., 2019). Metode NDVI ini mampu melakukan identifikasi terhadap tutupan t anaman melalui komputasi citra yang diolah (Purboyo et al., 2018).

Selain NDVI, *Bare Soil Index* (BSI) digunakan untuk mengidentifikasi tanah terbuka dengan mempertimbangkan kombinasi Band 2 (Blue), Band 4 (Red), Band 8 (NIR - *Near Infrared*), dan Band 11 (SWIR1 - *Shortwave Infrared 1*). Indeks ini berguna dalam analisis degradasi lahan, lahan kritis, dan daerah yang mengalami perubahan signifikan dalam penutup tanahnya.

Normalized Difference Water Index (NDWI) digunakan untuk mendeteksi kandungan air di suatu wilayah dengan membandingkan reflektansi dari Band 3 (Green) dan Band 8 (NIR - *Near Infrared*). Indeks ini berguna dalam pemetaan badan air serta dalam analisis kelembapan tanah dan vegetasi.

Sementara itu, *Normalized Burn Ratio Index* (NBRI) digunakan untuk mendeteksi area yang terbakar dengan membandingkan reflektansi Band 8 (NIR) dan Band 12 (SWIR2 - *Shortwave Infrared 2*). Indeks ini sangat efektif dalam mengidentifikasi bekas kebakaran serta menilai tingkat keparahan kebakaran hutan dan lahan.

Kombinasi dari BSI, NDVI, NDWI, dan NBRI memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai kondisi lahan, vegetasi, serta perubahan lingkungan, sehingga berperan penting dalam analisis penggunaan lahan dan pemantauan perubahan ekosistem.

3.4.4 Penghitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Sementara itu, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) juga menjadi indikator penting dalam penelitian ini, karena memberikan wawasan mengenai kondisi dan distribusi vegetasi. NDVI dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Di sini, NIR mewakili nilai reflektansi pada band inframerah dekat, dan Red merupakan nilai reflektansi pada band merah (Lillesand et al., 2015). Metode NDVI ini telah terbukti efektif dalam mengidentifikasi tutupan tanaman dengan memanfaatkan perbedaan reflektansi antara vegetasi dan permukaan tanah. Proses ini memberikan informasi tentang tingkat kehijauan dan kesehatan vegetasi, yang dapat digunakan untuk memahami dinamika ekosistem dan perubahan lahan. Seperti pada BSI, perhitungan NDVI juga dilakukan dengan menggunakan Raster Calculator dalam ArcGIS 10.3. Proses ini akan menghasilkan peta NDVI yang menunjukkan distribusi vegetasi di area penelitian, memberikan gambaran jelas mengenai area yang mengalami penurunan atau peningkatan vegetasi.

3.4.5 Penghitungan *Bare Soil Index* (BSI)

Penghitungan *Bare Soil Index* (BSI) dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$BSI = ((SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)) / ((SWIR1 + Red) - (NIR + Blue))$$

Dalam rumus ini, setiap band memiliki peran khusus. SWIR1 (Band 11) yang merupakan inframerah gelombang pendek, memberikan informasi penting tentang kelembapan tanah. Band ini sangat berguna dalam mendeteksi kondisi tanah dan mengidentifikasi area yang kering atau terpengaruh oleh pengeringan. Red (Band 4) sangat sensitif terhadap keberadaan vegetasi, sehingga membantu membedakan area dengan sedikit vegetasi dari tanah terbuka. NIR (Band 8) atau inframerah dekat sangat sensitif terhadap reflektansi dari vegetasi hijau, yang memungkinkan analisis mengenai kesehatan dan kerapatan vegetasi. Terakhir, Blue (Band 2) digunakan untuk membedakan antara badan air dan tanah, memberikan informasi tentang area yang memiliki reflektansi tinggi yang sering kali terkait dengan tanah terbuka.

Setelah menentukan nilai untuk setiap band, rumus BSI dapat dimasukkan ke dalam Raster Calculator di perangkat lunak ArcGIS. Proses ini akan menghasilkan nilai BSI untuk setiap piksel dalam area penelitian, dan peta BSI yang dihasilkan dapat digunakan untuk menganalisis distribusi tanah terbuka, serta membantu dalam pemantauan perubahan lingkungan.

3.4.6 Penghitungan *Normalized Difference Water Index* (NDWI)

Normalized Difference Water Index (NDWI) adalah indeks yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air di suatu wilayah dengan memanfaatkan perbedaan reflektansi antara pita hijau (Green) dan pita inframerah dekat (NIR) dari citra satelit. NDWI pertama kali diperkenalkan oleh McFeeters (1996) dan dirumuskan sebagai $NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$, di mana Green merupakan reflektansi pada Band 3 dan NIR pada Band 8 citra Sentinel-2. Nilai NDWI positif

mengindikasikan keberadaan air, sementara nilai negatif atau rendah menunjukkan tanah kering atau area yang tertutup vegetasi.

Dalam analisis tutupan air, NDWI digunakan untuk mengidentifikasi dan memantau badan air seperti sungai, danau, rawa, serta perubahan kelembaban lahan. Indeks ini sangat berguna dalam pemetaan wilayah yang rentan terhadap kekeringan atau banjir, sehingga dapat membantu dalam pengelolaan sumber daya air. Selain itu, NDWI juga berperan dalam pemantauan lahan basah dengan mendeteksi perubahan luas perairan akibat faktor alam maupun aktivitas manusia.

Lebih lanjut, NDWI memiliki peran penting dalam studi ekosistem dan konservasi. Indeks ini dapat digunakan untuk memantau ketersediaan air, mengidentifikasi potensi kekeringan, serta mendukung strategi pengelolaan lahan basah. Dengan penerapan NDWI, perubahan kondisi perairan dapat diamati secara lebih efektif, sehingga langkah-langkah mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan lingkungan dapat dilakukan dengan lebih tepat.

3.4.7 Penghitungan Normalized Burn Ratio Index (NBRI)

Normalized Burn Ratio (NBR) merupakan indeks yang digunakan untuk mengidentifikasi area yang mengalami kebakaran serta mengukur tingkat keparahan kebakaran. NBR dihitung berdasarkan rasio antara nilai panjang gelombang *Near Infrared* (NIR) dan *Shortwave Infrared* (SWIR). Vegetasi sebelum kebakaran umumnya memiliki reflektansi tinggi terhadap NIR dan reflektansi rendah terhadap SWIR, sedangkan setelah kebakaran, reflektansi pada NIR menurun dan reflektansi pada SWIR meningkat. Hal ini terjadi karena vegetasi

yang terbakar kehilangan kadar airnya, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik spektralnya.

Indeks NBR dihitung menggunakan persamaan $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$, di mana NIR merupakan nilai spektral pada Band 8A dan SWIR merupakan nilai spektral pada Band 12 citra Sentinel-2 (Khalifah & Nur, 2020). Indeks *Normalized Burn Ratio* (NBR) telah digunakan secara luas untuk mendeteksi area terbakar, di mana nilai NBR yang rendah menunjukkan area yang terdampak kebakaran, sementara nilai yang tinggi mengindikasikan vegetasi yang sehat (Filipponi, 2018). Dengan demikian, NBR menjadi alat yang efektif dalam mendeteksi kebakaran lahan serta dalam pemantauan pasca-kebakaran untuk melihat tingkat pemulihan vegetasi.

3.5. Analisis Nilai

3.5.1 *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

Berdasarkan klasifikasi NDVI dalam gambar, nilai NDVI berkisar antara -0.106 hingga 1, yang mencerminkan variasi tutupan lahan dan tingkat kehijauan vegetasi. Rentang nilai -0.106 hingga 0.03 menunjukkan lahan tidak bervegetasi, yang dapat berupa permukaan air, tanah kosong, atau area terbangun seperti permukiman dan infrastruktur. Selanjutnya, rentang 0.03 hingga 0.15 dikategorikan sebagai kehijauan sangat rendah, yang umumnya terdapat pada lahan kering, daerah dengan vegetasi sangat jarang, atau area yang mengalami degradasi lingkungan. Pada rentang 0.15 hingga 0.25, wilayah tersebut memiliki kehijauan rendah, yang dapat mencerminkan padang rumput, lahan pertanian yang belum tumbuh optimal, atau daerah dengan semak-semak jarang. Rentang 0.25 hingga 0.35 termasuk dalam kategori kehijauan sedang, yang menunjukkan adanya vegetasi yang lebih padat

seperti perkebunan, ladang pertanian yang sehat, atau hutan sekunder. Sementara itu, nilai NDVI tertinggi, yaitu 0.35 hingga 1, menandakan kehijauan tinggi, yang umumnya terdapat pada hutan hujan tropis, perkebunan yang subur, atau area dengan tutupan vegetasi yang lebat.

3.5.2 *Bare Soil Index (BSI)*

Berdasarkan klasifikasi *Bare Soil Index (BSI)*, nilai BSI berkisar antara -4.774443 hingga 0.5, yang mencerminkan variasi tutupan lahan dan tingkat keberadaan tanah terbuka. Rentang nilai -4.774443 hingga -1 menunjukkan vegetasi lebat, yang dapat ditemukan di area hutan hujan, perkebunan subur, atau lahan dengan tutupan vegetasi yang sangat rapat. Selanjutnya, rentang -1 hingga -0.5 dikategorikan sebagai vegetasi sedang, yang umumnya terdapat pada lahan pertanian yang sehat, hutan sekunder, atau padang rumput dengan vegetasi cukup padat. Pada rentang -0.5 hingga 0, wilayah tersebut memiliki vegetasi berkurang, yang mencerminkan area dengan tutupan hijau yang mulai menurun, seperti lahan pertanian yang mengalami degradasi atau wilayah yang mengalami deforestasi. Sementara itu, rentang 0 hingga 0.5 termasuk dalam kategori vegetasi sedikit, yang menunjukkan tanah lebih terbuka atau minim vegetasi, seperti lahan kering, daerah perkotaan, atau tanah kosong yang belum tertutup vegetasi..

3.5.3 *Normalized Difference Water Index (NDWI)*

Klasifikasi nilai mencerminkan variasi tingkat kelembapan permukaan. Kategori pertama (-1 hingga -0.3) menunjukkan wilayah kering dengan minim atau tanpa kandungan air, seperti lahan tandus atau area terbangun. Kategori kedua (-0.3 hingga 0.0) mencerminkan daerah dengan kekeringan sedang, di mana tingkat kelembapan masih rendah namun lebih tinggi dibanding kategori sebelumnya.

Kategori ketiga (0.0 hingga 0.2) menandakan area dengan kelembapan lebih tinggi, meskipun belum cukup basah untuk dikategorikan sebagai badan air. Kategori terakhir (0.2 hingga 1) mengidentifikasi wilayah dengan kandungan air yang jelas, seperti sungai, danau, atau rawa.

3.5.4 Normalized Burn Ratio Index (NBRI)

Klasifikasi nilai ini mencerminkan tingkat pemulihan vegetasi pascakebakaran. Kategori pertama (< -0.25) menunjukkan area dengan pemulihan vegetasi yang sangat pesat, menandakan regenerasi ekosistem yang signifikan setelah mengalami gangguan. Kategori kedua (-0.25 hingga -0.10) menggambarkan pemulihan vegetasi yang lebih lambat, di mana proses regenerasi masih berlangsung tetapi tidak secepat kategori sebelumnya. Kategori ketiga (-0.10 hingga 0.10) mengidentifikasi wilayah yang tidak terbakar, dengan kondisi vegetasi yang stabil dan tidak terdampak kebakaran. Kategori keempat (0.10 hingga 0.27) menunjukkan tingkat keparahan kebakaran rendah, di mana vegetasi mengalami dampak ringan dan mulai pulih secara alami. Pada kategori kelima (0.27 hingga 0.44), tingkat keparahan kebakaran tergolong moderat rendah, dengan dampak yang lebih jelas namun masih memiliki potensi pemulihan alami. Kategori keenam (0.44 hingga 0.66) merepresentasikan tingkat keparahan kebakaran moderat tinggi, di mana kerusakan vegetasi cukup signifikan dan pemulihannya membutuhkan intervensi tertentu. Kategori terakhir (>0.66) menunjukkan keparahan kebakaran yang sangat tinggi, dengan kerusakan berat pada vegetasi yang memerlukan rehabilitasi intensif.

Secara keseluruhan, perbandingan antara area ini memberikan wawasan yang berharga mengenai kondisi pertanian dan lingkungan di Kecamatan Padang

Tualang, serta kebutuhan untuk merencanakan langkah-langkah pemulihan dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan di area yang mengalami degradasi

3.6. Perbandingan Antar Periode

Perbandingan antar periode merupakan langkah krusial dalam analisis perubahan tutupan lahan dan vegetasi di Kabupaten Langkat. Dengan membandingkan nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Bare Soil Index* (BSI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Normalized Burn Ratio Index* (NBRI) dari 2017, 2020 dan 2024 . Peneliti dapat menganalisis dinamika perubahan yang terjadi akibat aktivitas manusia dan pengaruh perubahan iklim terhadap tutupan lahan. Analisis ini tidak hanya memberikan wawasan mengenai kondisi vegetasi dan keberadaan lahan terbuka, tetapi juga mengungkap dampak signifikan dari faktor eksternal yang mempengaruhi lingkungan. Selain itu, peta yang dihasilkan dari analisis tersebut berfungsi sebagai alat bantu visual yang mempermudah identifikasi perubahan tutupan lahan dari tahun ke tahun, sehingga dapat mendukung analisis lebih lanjut mengenai tren penggunaan lahan, keberlanjutan sumber daya alam, serta perencanaan kebijakan pengelolaan lingkungan yang lebih efektif.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan tutupan lahan di Kecamatan Padang Tualang berhasil diidentifikasi menggunakan indeks NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI. Pada tahun 2020 terjadi penurunan nilai NDVI yang menunjukkan menurunnya kerapatan vegetasi, sedangkan nilai BSI meningkat, yang mengindikasikan bertambahnya luas area tanah terbuka. Nilai NDWI juga mengalami penurunan, menandakan berkurangnya kelembapan lahan dan badan air. Selain itu, nilai NBRI pada tahun 2020 menunjukkan adanya sebaran titik kebakaran yang memengaruhi perubahan penutupan lahan. Pada tahun 2024, sebagian wilayah menunjukkan pemulihan tutupan vegetasi dan kelembapan lahan, meskipun belum sepenuhnya stabil.
2. Perubahan kualitas lahan di Kecamatan Padang Tualang dapat dilihat dari kombinasi keempat indeks tersebut. Penurunan nilai NDVI dan NDWI serta meningkatnya BSI menjadi indikator turunnya kualitas lahan, khususnya pada tahun 2020. Nilai NBRI yang cukup tinggi di beberapa wilayah juga menunjukkan adanya tekanan lingkungan akibat kejadian kebakaran lahan yang cukup signifikan.
3. Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan kualitas lahan meliputi konversi lahan menjadi area pertanian dan permukiman, yang menyebabkan penurunan vegetasi dan meningkatnya tanah terbuka. Selain itu, kejadian

kebakaran yang teridentifikasi melalui NBRI juga menjadi faktor utama yang memperburuk kualitas lahan, terutama di wilayah dengan tutupan vegetasi rendah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka saran yang dapat disampaikan peneliti adalah sebagai berikut :

1. Akademisi dan Peneliti Selanjutnya, Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi akademisi dan peneliti yang tertarik untuk mengkaji lebih lanjut perubahan tutupan lahan dan kualitas lahan dengan menggunakan indeks vegetasi dan lahan seperti NDVI, BSI, NDWI, dan NBRI. Untuk penelitian selanjutnya, peneliti diharapkan dapat mengembangkan studi dengan cakupan wilayah yang lebih luas atau dengan jangka waktu yang lebih panjang guna mendapatkan analisis tren perubahan yang lebih mendalam.
2. Pemerintah Daerah dan Pemangku Kepentingan, Dalam pengambilan keputusan terkait kebijakan pengelolaan lahan dan lingkungan, pemerintah daerah serta pemangku kepentingan perlu melakukan analisis menyeluruh mengenai dampak aktivitas pembukaan lahan, kebakaran hutan, serta kondisi kelembapan tanah di Kecamatan Padang Tualang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulghani, T., & Ubaedilah, E. (2018). Analisis dan perancangan sistem informasi geografis sebaran tanah penduduk: Studi kasus Desa Tanjungasari Kab. Cianjur. *Jurnal Produktif*, 2(2), 1–12.
- Aggarwal, S. 2009. Principles of Remote Sensing, Photogrammetry and Remote Sensing Division. Indian Institute Of Remote Sensing: Dehra Dun, Satellite Remote Sensing and GIS Aplication in Agricultural Meteorology. 23-38.
- Agus, Ridwan, Masri. (2019). Pemetaan objek wisata alam Kabupaten Kepulauan Selayarberbasis sistem informasi geografis ArcGIS 10.5. *PUSAKA (Journal of Tourism, Hospitality, Travel and Business Event)*, 1(1), 45 50.
- Ahmadian, N., Ghasemi, S., Wigneron, J.-P., & Zölitz, R. (2016). Comprehensive study of the biophysical parameters of agricultural crops based on assessing Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ vegetation indices. *GIScience & Remote Sensing*, 53(3), 337–359. <https://doi.org/10.1080/15481603.2016.1155789>
- Ali, M. I., Dirawan, G. D., Hasim, A. H., & Abidin, M. R. (2019). Detection of changes in surface water bodies urban area with NDWI and MNDWI methods. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(3), 946–951. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.3.8692>
- Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferro, F., Parente, C., & Pepe, M. (2022). Normalized Burn Ratio Plus (NBR+): A new index for Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 14(7), 1727. <https://doi.org/10.3390/rs14071727>
- Andrade, M. P., & Ribeiro, C. B. M. (2020). Impacts of land use and cover change on Paraíba do Sul watershed streamflow using the SWAT model. *Brazilian Journal of Water Resources*, 25, 12. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190034>.
- Armenda Bagas Ramadhany, dkk. (2017). Analisis pengukuran bidang tanah denganmenggunakan GPS pemetaan. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(4), 1–17.
- Awaluddin, N. (2010). *Geographical Information System with ArcGIS 9.x*. Yogyakarta: Andi.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kabupaten Langkat dalam angka*. BPS Kabupaten Langkat.
- Bański, J., & Mazur, M. (2021). *Agricultural Land Use*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73766-5_5
- Bart, R. R., Ray, R. L., Conkin, M. H., Safeeq, M., Saksa, P. C., Tague, C. L., & Bales, R. C. (2021). Assessing the effects of forest biomass reductions on forest health and streamflow. *Hydrological Processes*, 35, e14114. <https://doi.org/10.1002/hyp.14114>.
- Beasley, C. W., & Barnhart, W. D. (2017). Introduction to this special section: Remote sensing. *Geophysics*. <https://doi.org/10.1190/TLE36010011.1>
- Belmont, A. M. (2018). Dynamics of land use and occupation and forest fires in the Chapada dos Veadeiros National Park. *Dissertation, University of Brasília*.

- Bergsma, E.W.J., Almar, R., & Maisongrande, P. (2019). Radon-Augmented Sentinel-2 Satellite Imagery to Derive Wave Patterns and Regional Bathymetry. *Remote Sensing*, 11(16), 1918. doi:10.3390/rs11161918.
- Bouhennache, R., Bouden, T., Taleb-Ahmed, A., & Cheddad, A. (2019). A new spectral index for the extraction of built-up land features from Landsat 8 satellite imagery. *Geocarto International*, 34(14), 1531–1551. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1577565>
- Bullock, E.L., Woodcock, C.E., & Olofsson, P. (2020). Monitoring tropical forest degradation using spectral unmixing and Landsat time series analysis. *Remote Sens. Environ.*, 238, 110968. doi:10.1016/j.rse.2018.11.011
- Cahyono, B. E., Rahagian, R., & Nugroho, A. T. (2023). Analisis produktivitas padi berdasarkan indeks kekeringan (NDWI dan NDDI) lahan sawah menggunakan data citra Sentinel-2A di Kecamatan Ambulu. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 13(1), 88. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i1.70682>
- Cheng, G., Xie, X., Han, J., Guo, L., & Xia, G.-S. (2020). Remote Sensing Image Scene Classification Meets Deep Learning: Challenges, Methods, Benchmarks, and Opportunities. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 3735–3756. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3005403>.
- Crippen, R. E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1), 71–73. <https://doi.org/10.1016/>.
- Clerici, N., Valbuena Calderón, C. A., & Posada, J. M. (2017). Fusion of Sentinel 1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: A case study in the Lower Magdalena region, Colombia. *Journal of Maps*, 13(2), 718–726. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1380742>
- Coops, N. C., & Tooke, T. R. (2017). *Introduction to Remote Sensing*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6374-4_1
- Crawford, F. 1968. *Waves: Berkeley physics course*. 3rd Edition. California: University of California.
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Deng, X., Wu, L., He, C., & Shao, H. (2022). Study on spatiotemporal variation pattern of vegetation coverage on Qinghai–Tibet Plateau and the analysis of its climate driving factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8836. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148836>
- Deus, D., & Gloaguen, R. (2013). Remote sensing analysis of lake dynamics in semi-arid regions: Implication for water resource management. *Water*, 5(2), 698–727. <https://doi.org/10.3390/w5020698>
- Dias, L. C. P., Macedo, M. N., Costa, M. H., Coe, M. T., & Neill, C. (2015). Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of

- small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 108–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.05.010>.
- Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., Gui, Y., & Sun, B. (2014). Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote Sensing Letters*, 5(7), 672–681. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.960606>
- Duguma, L. A., Atela, J., Minang, P. A., Ayana, A. N., Gizachew, B., Nzyoka, J. M., & Bernard, F. (2019). Deforestation and forest degradation as an environmental behavior: Unpacking realities shaping community actions. *Land*, 8(2), 26.
- Ekaputra, E. G., Berd, I., Arlius, F., Yanti, D., & Irsyad, F. (2020). Inventory of West Sumatera Province Area's Cropping Pattern Based on MODIS Image Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012042>
- El-Asmar, H. M., & Hereher, M. E. (2011). Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing. *Environmental Earth Sciences*, 62(4), 769–777. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0564-9>
- Esa. (2013). Sentinel-2 User Handbook. Sentinel-2 User Handbook Issue 1 Revision 1.
- Fan, L., Weng, Q., & Wang, L. (2020). Satellite-Based Monitoring of Changes in Vegetation and Water Bodies in Response to Rapid Urbanization in the Pearl River Delta, China. *Remote Sensing*, 12(3), 451.
- Febrianti, N., Murtlaksono, K., & Barus, B. (2019). Pengaruh tinggi muka air gambut sebagai indikator peringatan dini bahaya kebakaran di Sungai Jangkang -Sungai Liong. *Pengindraan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16, 9–19.
- Ferreira, F. L. V., et al. (2020). Trend in hydrological series and changes in land use and land cover in the Guanhães river basin, Minas Gerais. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3, 447–459.
- Filipponi, F. (2018). BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2. *Proceedings*, 2(7), 364. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>
- Foong, A., Sum, W., & Shukor, S. A. A. (2019). Oil palm plantation monitoring from satellite image: A new machine learning approach in detecting the oil palm plantations using remote sensing data. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 705(0), 2–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/705/1/012043>.
- Fusami, A. A., Nweze, O. C., & Hassan, R. (2020). Comparing the Effect of Deforestation Result by NDVI and SAVI. *International Journal of Scientific and Research Publications*. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.06.2020.P102110>
- Gavioli, F. R., & Hossomi, A. M. T. (2020). Evaluation of the temporality of occupations in areas of permanent preservation in the municipality of Jundiaí/SP. *Magazine of the Brazilian Society of Urban Afforestation*, 15, 01–17.

- Gong, P., Li, X., & Zhang, W. (2019). 40-year (1978–2017) human settlement changes in China reflected by impervious surfaces from satellite remote sensing. *Science Bulletin*, 64(11), 756–763. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2019.04.012>
- Goudge, T. A., Russell, J. M., Mustard, J. F., Head, J. W., & Bijaksana, S. A. (2017). 40,000-year record of clay mineralogy at Lake Towuti, Indonesia: Paleo-climate reconstruction from reflectance spectroscopy and perspectives on paleolakes on Mars. *GSA Bulletin*, 129(5–6), 806–819. <https://doi.org/10.1130/B31547.1>
- Gowen, A. A., Gaston, E., & Burger, J. (2014). Hyperspectral imaging. In D.-W. Sun (Ed.), *Computer vision technology for food quality evaluation* (pp. 199–216). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0311-5_9
- Guo, Q., R, P., Li, J., & Cheng, J. (2017). A weighted normalized difference water index for water extraction using Landsat imagery. *Remote Sensing*, 38(19), 5430–5445.
- Gupta, S. C., Kessler, A. C., Brown, M. K., & Zvomuya, F. (2015). Climate and agricultural land use change impacts on streamflow in the upper Midwestern United States. *Water Resources Research*, 51, 5301–5317. <https://doi.org/10.1002/2015WR017323>.
- Hamid, A. M., Sameer, M. K., & Mageed, N. N. (2020, March 25). *Geo-database production of digital land use map using remote sensing and GIS techniques*. <https://doi.org/10.1063/5.0000099>
- Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., & Coops, N. C. (2022). Land cover classification in an era of big and open data: Optimizing localized implementation and training data selection to improve mapping outcomes. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2021.112780>
- Hojas-Gascón, L., Belward, A., Eva, H., Ceccherini, G., Hagolle, O., Garcia, J., & Cerutti, P. (2015). Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, 11-15 May, Berlin Germany, 417-423. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-417-2015>
- Ihsan, K. T. N., Harto, A. B., Sakti, A. D., & Wikantika, K. (2023). Monitoring coastal areas using NDWI from Landsat image data from 1985 based on cloud computation Google Earth Engine and Apps. *ISPRS Archives*, XLVIII-M-3-2023, 109–114. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-3-2023-109-2023>
- Inarossy, N., & Prasetyo, S. Y. J. (2019). Klasifikasi Wilayah Risiko Bencana Kekeringan Berbasis Citra Satelit Landsat 8 OLI dengan Kombinasi Metode Moran's I dan Getis-Ord G* (Studi Kasus: Kabupaten Boyolali dan Klaten). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 2(2), 37–54.

- Izah, A., Shafarani, F. K., Afrianto, F., & Permana, M. (2023). Hubungan antara kepadatan vegetasi dan land surface temperature di Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Plano Buana*, 4(1).
- Jatmiko, R. H. 2015. Penggunaan Citra Saluran Infra merah Termal untuk Studi Perubahan Tutupan Lahan dan Suhu sebagai Indikator Perubahan Iklim Perkotaan di Yogyakarta. Disertasi.Yogyakarta: Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Jensen, J. 2005. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Prespective. Prentice-Hill: New Jersey.
- Kaban, A., & Darmawan, S. (2020). Investigation of palm oil plantation using multialgorithm and multiresolution (case study: Asahan Regency, North Sumatra Province). *Seminar Nasional Geomatika*, 4(0), 169–175. <https://doi.org/10.24895/SNG.2019.4-0.1106>
- Karna, B. K., Shrestha, S., & Koirala, H. L. (2023). GIS based Approach for Suitability Analysis of Residential Land Use. *Geographical Journal of Nepal*. <https://doi.org/10.3126/gjn.v16i01.53483>
- Karpinskyi, Yu. I., Lyashchenko, A. A., Lazorenko-Hevel, N. Yu., Kin, D. O., & Medvetska, T. V. (2021). Methodological recommendations for publishing geospatial data and metadata on the national geoportal by local self government bodies, Kyiv, 48 p. (in Ukrainian).
- Kawamuna, Arizal. (2017). Analisis Kesehatan Hutan Mangrove Berdasarkan Metode Klasifikasi NDVI Pada Citra Sentinel-2 Studi Kasus: Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Khalifah, I. N., dan Nur, F. (2020). Pemanfaatan Data Sentinel-2 untuk Analisis Indeks Area Terbakar (Burned Area). *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 2657-0378
- Khosyi'ah, Munisyah'ul dkk. (2017). Interpretasi Citra Quickbird untuk Identifikasi Penggunaan Lahan di Desa Karangtengah Kecamatan Sragen Kabupaten Sragen (p. 259). Surakarta, Indonesia: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kudryavtsev, V., Yurovskaya, M., Chapron, B., Collard, F., & Donlon, C. (2017). Sun glint imagery of ocean surface waves. Part 1: Directional spectrum retrieval and validation. *Journal of Geophysical Research*, 122(16), 1918. doi:10.1002/2016JC012425.
- Kurniawan, W., Darmawan, A., & Bintoro, A. (2021). Deteksi kelapa sawit menggunakan citra Sentinel-2. *JOPFE Journal*, 1(November 2020).
- Kushardono, D. (2017). Klasifikasi penutup/penggunaan lahan dengan data satelit penginderaan jauh hiperspektral (Hyperion) menggunakan metode neural network tiruan. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 13(2), 85-96. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2016.v13.a2516>
- Kusumaningrat, M.D., S. Sawitri dan B.D. Yuwono. 2017. Analisis perubahan penggunaan dan pemanfaatan lahan terhadap rencana tata ruang wilayah

tahun 2009 dan 2017 (Studi Kasus: Kabupaten Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4): 443-452.

- Kuzmenko, I. S., & Makarenko, N. A. (2018). Creation of an interface for the registration of organic agricultural enterprises using modern means of geoinformation systems. *Bioresources and Nature Management*, 10(3-4), 131-138. (in Ukrainian).
- Lambert, J., Drenou, C., Denux, J. P., Balent, G., & Cheret, V. (2013). Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. *GIScience & Remote Sensing*, 50(4), 437-457.
<https://doi.org/10.1080/15481603.2013.820070>
- Lapatandau, Y. A., Rumagit, G. A. J., & Pakasi, C.B.D. (2017). Alih Fungsi Lahan Pertanian di Kabupaten Minahasa Utara. *J. Agri-Sosio Ekonomi Unsrat*, 13(2A), 1-8.
- Lastovicka, J., Svec, P., Paluba, D., Kobliuk, N., Svoboda, J., Hladky, R., & Stych, P. (2020). Sentinel-2 data in an evaluation of the impact of the disturbances on forest vegetation. *Forests*, 12, 1914.
<https://doi.org/10.3390/rs12121914>.
- Lent, J. van. (2020). *Land-use change and greenhouse gas emissions in the tropics : Forest degradation on peat soils*. <https://doi.org/10.18174/526264>
- Li, S., & Chen, X. (2014). A new bare-soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Spatial Information Sciences*, XL4, 139–144.
- Li, X., Chen, J., & Wang, J. (2023). Editorial: Structure and function of vegetation during ecological restoration of degraded land. *Frontiers in Environmental Science*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257927820>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.
- Llorens, R.; Sobrino, J.A.; Fernández, C.; Fernández-Alonso, J.M.; Vega, J.A. A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021, 95, 102243.
- Liu, L., Xiao, X., Qin, Y., Wang, J., Xu, X., Hu, Y., & Qiao, Z. (2020). Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111624.
- Lopes, M., et al. (2020). Combining optical and radar satellite image time series to map natural vegetation: savannas as an example. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1002/rse2.139>.
- Loranty, M., Davydov, S., Kropp, H., Alexander, H., Mack, M., Natali, S., & Zimov, N. (2018). Vegetation indices do not capture forest cover variation in upland Siberian larch forests. *Remote Sensing*, 10(11), 1686–1700.
- Lufilah, S.N., Makalew, A. D.N., & Sulistiyantara, B. (2017). Pemanfaatan Citra Landsat untuk Analisis Indeks Vegetasi di DKI Jakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 9(1), 73-80.
- Lubis, M. Z. dkk. (2017). Penerapan Teknologi Penginderaan Jauh di Bidang Pesisir dan Lautan. *Oseana*, 43(3), 57.
http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/os_xlii_3_20176.pdf

- Ma, H., Xinwen, C., Chen, L., Zhang, H., & Xiong, H. (2016). Automatic identification of shallow landslides based on WorldView2 remote sensing images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(1).
- Main-Knorn, M., Pflug, B., Louis, J., Debaecker, V., Müller-Wilm, U., & Gascon, F. (2017). Sen2Cor for Sentinel-2. In *Proceedings of SPIE - Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIII* (Vol. 10427, p. 1042704). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2278218>
- Manalu, R. J., Sutanto, A., & Trisakti, B. (2016). Perbandingan metode klasifikasi penutup lahan berbasis piksel dan berbasis objek menggunakan data PiSAR-L2. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 13(1), 49–60. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2016.v13.a2561>.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Mehmood, M., Shahzad, A., Zafar, B., Shabbir, A., & Ali, N. (2022). Remote Sensing Image Classification: A Comprehensive Review and Applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2022/5880959>.
- Mendes, N. G. S., Cecílio, R. A., Zanetti, S. S., & Santos, C. A. (2019). Relationship between the streamflows and precipitations in Itapemirim River Basin. *Floresta*, 49(2), 171–180. <https://doi.org/10.5380/rf.v49i2.53994>.
- Mohan, A., Singh, A. K., Kumar, B., & Dwivedi, R. (2020). Review on remote sensing methods for landslide detection using machine and deep learning. *Trans Emerging Tel Tech*. DOI: 10.1002/ett.3998.
- Mpakairi, K.S.; Ndaimani, H.; Kavhu, B. Exploring the utility of Sentinel-2 MSI derived spectral indices in mapping burned areas in different land-cover types. *Sci. Afr.* 2020, 10, e00565.
- Nazeer, M., Ilori, C. O., Bilal, M., Nichol, J. E., Wu, W., Qiu, Z., & Gayene, B. K. (2021). Evaluation of atmospheric correction methods for low to high resolutions satellite remote sensing data. *Atmospheric Research*. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2020.105308>
- NBR Index-Based Fire Detection Using Sentinel-2 Images and GIS: A Case Study in Mosul Park, Iraq. (2023). *International Journal of Geoinformatics*. <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i3.2607>
- Nepomnyashchikh, I. F., Lazareva, O. S., & Artemyev, A. (2019). Land Resource Management: Geoinformation Support of Internal Controlling. *Journal of Environmental Management and Tourism*. [https://doi.org/10.14505/JEMT.10.5\(37\).15](https://doi.org/10.14505/JEMT.10.5(37).15)
- Nguyen, Can Trong; Chidthaisong, Amnat; Kieu Diem, Phan; & Huo, Lian-Zhi. (2021). A Modified Bare Soil Index to Identify Bare Land Features during Agricultural Fallow Period in Southeast Asia Using Landsat 8. *Land*, 10(3).
- Ni, L., & Jiang, Y. (2017). Design and implementation of automatic interpretation system for remote sensing image. In *Proceedings of the 2017 International*

Conference on Information Science and Control Engineering (pp. 10741078). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7521-6_31

- Niraj, K. C., Gupta, S. K., & Shukla, D. P. (2022b). A Comparison of image based and physics-based atmospheric correction methods for extracting snow and vegetation cover in Nepal Himalayas using Landsat 8 OLI images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(12), 2503–2521. <https://doi.org/10.1007/s1252402201616-6>.
- Nolè, A., Rita, A., Ferrara, A.M.A., & Borghetti, M. (2018). Effects of a large scale late spring frost on a beech (*Fagus sylvatica* L.) dominated Mediterranean mountain forest derived from the spatio-temporal variations of NDVI. *Ann. For. Sci.*, 75, 83. doi:10.1007/s13595-018-0763
- Noviar, H. (2013). Pemanfaatan kanal polarisasi dan kanal tekstur data Pisar-L2 untuk klasifikasi penutup lahan kawasan (Utilization of Polarization and Texture Bands of Pisar-L2 Data for Land Cover Classification in Forest Area Using Supervised Classification Method). *Jurnal Penginderaan Jauh*, 10(1), 47–58.
- Nurmalasari, I. & Santosa. (2016). Pemanfaatan Citra Sentinel-2A untuk estimasi produksi pucuk teh di sebagian Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Bumi Indonesia*.
- Nuissl, H., & Siedentop, S. (2021). *Urbanisation and Land Use Change*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50841-8_5.
- Oktaviani, N., & Kusuma, H. A. (2017). Pengenalan Citra Satelit Sentinel-2 Untuk Pemetaan Kelautan. *Oseana*, 42(3).
- Ovchinnikova, N., Aliyeva, N., & Petrova, I. (2021). *Principles and methodological approaches to efficient use of land*. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202127306008>
- Pain, H. J. 2005. The Physics of Vibrations And Wave Sixth Edition. Formerly of Departement of Physics: Imperial College of Science and Technology, London.
- Palumbo, I., Rose, R. A., Headley, R. M., Nackoney, J., Vodacek, A., & Wegmann, M. (2017). Building capacity in remote sensing for conservation: Present and future challenges. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3(1), 21–29. <https://doi.org/10.1002/rse2.31>
- Parks, S. A., Dillon, G. K., & Miller, C. (2014). A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sensing*, 6(3), 1827–1844.
- Pereira, L. E., Marques e Amorim, G., Grigio, A. M., & Paranhos Filho, A. (2018). Análise comparativa entre métodos de índice de água por diferença normalizada (NDWI) em área úmida continental.(DOI: https://doi.org/10.11137/2018_2_654_662)
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover and Land Use Mapping: A Review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291.
- Pohl, C., Kanniah, K. D., & Loong, C. K. (2016). Monitoring oil palm plantations in Malaysia. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*

(IGARSS), 2016-November, 2556–2559.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729660>.

- Purwadhi, S., & Tjaturrahono, B. S. (2008). *Pengantar interpretasi citra penginderaan jauh*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional dan UNNES.
- Purboyo, A. A., Ramadhan, A. H., Safitri, E., Ridwana, R., & Himayah, S. (2018). Jurnal sains informasi geografi [JSIG]. Jurnal Sains Informasi Geografi [JSIG], I(November), 40–43.
- Putrenko, V. V., & Dzhygyrei, I. M. (2022). Sustainable innovative development. *ArcGISOnline web application: training manual*. Kyiv, 44 p. (in Ukrainian).
- Putri, D. R., Sukmono, A., & Sudarsono, B. (2018). Analisis kombinasi citra Sentinel-1A dan citra Sentinel-2A untuk klasifikasi tutupan lahan (studi kasus: Kabupaten Demak, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 7(2), 85–96.
- Ratajczak, R., Crispim-Junior, C., Faure, E., Fervers, B., & Tougne, L. (2019). Automatic Land Cover Reconstruction From Historical Aerial Images: An Evaluation of Features Extraction and Classification Algorithms. *IEEE Transactions on Image Processing*.
<https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2896492>
- Roy, D. P., Boschetti, L., & Trigg, S. N. (2006). Remote sensing of fire severity: Assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 112–116.
- Saputra, I. M. (2018). Sistem Informasi Geografi Wisata Alam di Kabupaten Bantul Berbasis Android. Prosiding Seminar Dinamika Informatika 2018 (SENADI 2018).[https://eprints.utdi.ac.id/4952/%0Ahttps://eprints.utdi.ac.id/4952/1/1_125_10326_HALAMAN DEPAN.pdf](https://eprints.utdi.ac.id/4952/%0Ahttps://eprints.utdi.ac.id/4952/1/1_125_10326_HALAMAN%20DEPAN.pdf)
- Schultz, M., Clevers, J. G. P. W., Carter, S., Verbesselt, J., Avitabile, V., Vu Qung, H., & Herold, M. (2016). Performance of vegetation indices from Landsat time series in deforestation monitoring. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 52, 318–327. .[doi:10.1016/j.jag.2016.06.020](https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.020).
- Schott, J. 2007. Remote Sensing: The Image Chain Approach 2nd Edition. Oxford University Press.
- Senf, C., Pflugmacher, D., Hostert, P., & Seidl, R. (2017). Using Landsat time series for characterizing forest disturbance dynamics in the coupled human and natural systems of Central Europe. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 453–463.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.004>.
- Setiyowati, R., Retno Sari Saputro, D., & Widyaningsih, P. (2021). Pelatihan pembuatan peta digital berbasis sistem informasi geografis di Desa Rejoso. *Aptekmas Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(4), 51–56.
<https://dx.doi.org/10.36257/aps.vxi.xpp51-56>
- Setyawan, D., Nugraha, A. L., & Sudarsono, B. (2018). Analisis potensi desa berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(4).

- Singgale, Y. A. (2023). Implementasi hyper spectral of remote sensing untuk analisis kawasan ekowisata mangrove potensial di Kecamatan Tobelo Timur menggunakan NDVI, SAVI, dan EVI. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(3), 928–935. <https://doi.org/10.47065/josh.v4i3.337>
- Somanathan, E., Rajan, K. S., & Dutta, D. (2024). A novel Bare Soil Index for enhancing the mapping of bare soil area – An indicator of urban expansion. *Environmental Engineering and Ecology*, 12(3), 45–58. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12345-z>
- StupenM., StupenN., RyzhokZ., StupenO. (2020). Application of satellite monitoring data for winter cereals growing in the Lviv region. *Geomatics and Environmental Engineering*, 14 (4), p. 69–80.
- StupenN., RyzhokZ., StupenM., StupenO., StupenR. (2020). Analysis of the Interrelations between Elements of Geoinformation System Structure. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 1, p. 88–91.
- StupenR., RyzhokZ., StupenN., StupenO. (2021). The modeling of the yielding capacity of winter cereals due to satellite monitoring data of agricultural lands in Ukraine. *Geodesy and Cartography (Vilnius)*, 47 (1), p. 1–9.
- Sujinah, A. J. (2016). Mekanisme respon tanaman padi terhadap cekaman kekeringan dan varietas toleran. *Iptek Tanaman Pangan*, 11.
- Sukmono, A., Hadi, F., Widayanti, E., Nugraha, A. L., & Bashit, N. (2023). Identifying Burnt Areas in Forests and Land Fire Using Multitemporal Normalized Burn Ratio (NBR) Index on Sentinel-2 Satellite Imagery. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 13(3), 469–477. <https://doi.org/10.18280/ijss.130309>
- Sulyantara, D. H., Siwi, S. E., Prabowo, Y., Brahmantara, R. P., Ulfa, K., Teknologi, P., Data, D., & Jauh, P. (2018). Algoritma haze detection dengan menggunakan haze index pada citra SPOT 6/7. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 15(2), 93–100. <https://doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2018.v15.a3060>
- Suwargana, N. 2013. Resolusi Spasial, TEmporal dan Spektral pada Citra Satelit Landsat, Spot dan Ikonos. *Jurnal Ilmiah Widya*, 1(1), 167-174.
- Tavares, P. A., et al. (2019). Integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 for classification and LULC mapping in the urban area of Belém, eastern Brazilian Amazon. *Sensors (Switzerland)*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/s19051140>.
- Trinugraha, D., & Kurniyaningrum, E. (2024). Analisis hubungan antara kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan lahan di wilayah DAS Ciliwung, DKI Jakarta. *RekaLoka Teknik Sipil*, 12(1), 19–26. <https://doi.org/10.25105/rl.v12i1.19435>
- Topaloğlu, R. H., Sertel, E., & Musaoğlu, N. (2016). Assessment of classification accuracies of Sentinel-2 and Landsat-8 data for land cover/use mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41, 1055–1059.

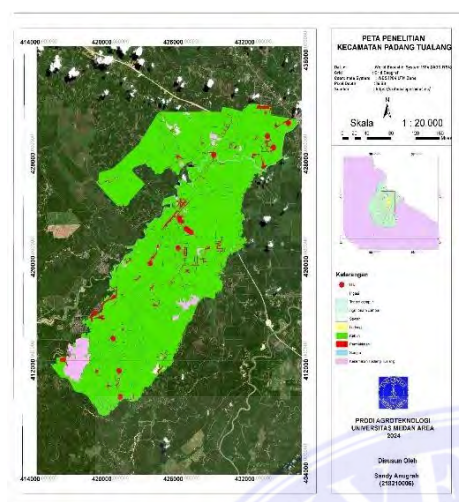
- Ulya, N. A., & Yunardy, S. (2006). Analisis Dampak Kebakaran Hutan Di Indonesia Terhadap Distribusi Pendapatan Masyarakat. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 3(2),133–146.
<https://doi.org/10.20886/jpsek.2006.3.2.133-146>.
- Utami, W., Artika, I. G. K., & Arisanto, A. (2018). Aplikasi citra satelit penginderaan jauh untuk percepatan identifikasi tanah terlantar. *Bhumi: Jurnal Agraria dan Pertanahan*, 4(1), 53–66
- Van Dijk, D., Shoaie, S., van Leeuwen, T., & Veraverbeke, S. (2021). Spectral signature analysis of false positive burned area detection from agricultural harvests using Sentinel-2 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 97, 102296.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102296>
- Vega, J. A., Fontúrbel, T., Fernández, C., Díaz-Raviña, M., Carballas, T., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A., & Benito, E. (2013). *Disebutkan dalam teks mengenai keterbatasan metode pemetaan keparahan kebakaran pada tanah dibandingkan dengan vegetasi.*
- Wahrudin, U., Atikah, S., Habibah, A. Al, Paramita, Q. P., Tampubolon, H., Sugandi, D., & Ridwana, R. (2019). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Identifikasi Sebaran Kerapatan Vegetasi di Pangandaran. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi*, 3(2), 90.
<https://doi.org/10.29408/geodika.v3i2.1790>
- Wang, H., Li, Z., Cao, L., Feng, R., & Pan, Y. (2021). Response of NDVI of Natural Vegetation to Climate Changes and Drought in China. *Land*.
<https://doi.org/10.3390/LAND10090966>
- Wells, R. (2010). Pengolahan citra digital. Retrieved from http://www.academia.edu/7385678/Pengolahan_Citra_Digital/ diakses/ 02 April 2016
- Wei, X., Xu, W., Bao, K., Hou, W., Su, J., Li, H., & Miao, Z. (2020). A water body extraction methods comparison based on fengyun satellite data: A case study of Poyang Lake region, China. *Remote Sensing*, 12(23), 1–21.
<https://doi.org/10.3390/rs12233875>
- Xue, J., & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1353691.
- Yudha Niagara, dkk. (2020). Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk pemetaan klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode unsupervised K means berbasis web GIS (studi kasus Sub-DAS Bengkulu Hilir). *Jurnal Rekursif*, 8(1), 1-11.
- Yuhendra, E. (2019). Multi-Temporal Sentinel-2 Images for Classification Accuracy. *Journal of Computer Science*.
<https://doi.org/10.3844/JCSP.2019.258.268>
- Yurovskaya, M., Kudryavtsev, V., Chapron, B., & Collard, F. (2019). Ocean surface current retrieval from space: The Sentinel-2 multispectral capabilities. *Remote Sensing of Environment*, 234, 111468.
- Zaitunah, A., Samsuri, S., Ahmad, A. G., & Safitri, R. A. (2018). Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for land cover types using Landsat 8 OLI in Besitang watershed, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 126(0), 1–9.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/126/1/012112>.

- Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y., & Gong, P. (2022). An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends. *Remote Sensing*, 14(8), 1863. <https://doi.org/10.3390/rs14081863>
- Zhang, S., Bai, M., Wang, X., Peng, X., Chen, A., & Peng, P.-H. (2023). Remote sensing technology for rapid extraction of burned areas and ecosystem environmental assessment. *PeerJ*. <https://doi.org/10.7717/peerj.14557>
- Zhu, X., & Liu, D. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using season Landsat NDVI time-series. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.*, 102, 222-231. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014.
- Zhu, Z., Wulder, M.A., Roy, D.P., Woodcock, C.E., Hansen, M.C., Radeloff, V.C., Healey, S.P., Schaaf, C., Hostert, P., Strob, P.L., Pekel, J.F., Lymburner, L., Pahleven, N., & Scambos, T.A. (2019). Benefits of the free and open Landsat data policy. *Remote Sens. Environ.*, 224, 282-385. doi:10.1016/j.rse.2019.02.016

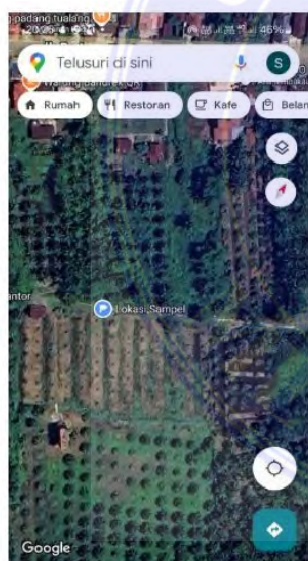


LAMPIRAN

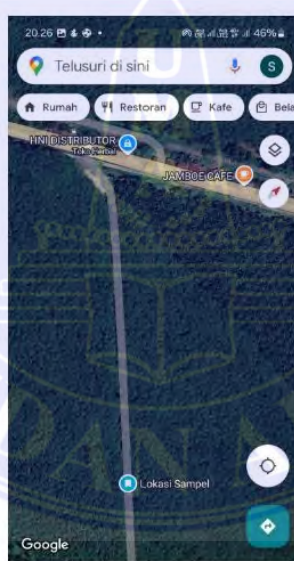
Lampiran 1. Peta Dasar Penelitian



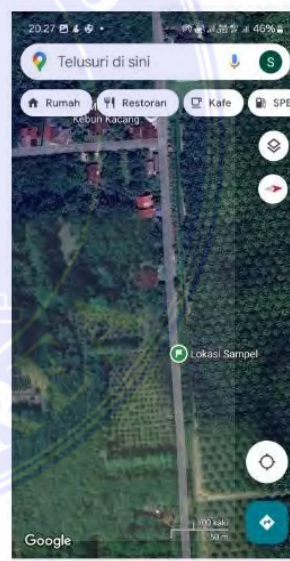
Lampiran 2. Lokasi Sampel pada Google map 1-12



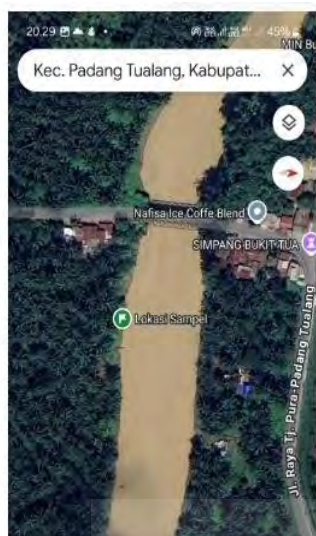
Sampel 1.



Sampel 2



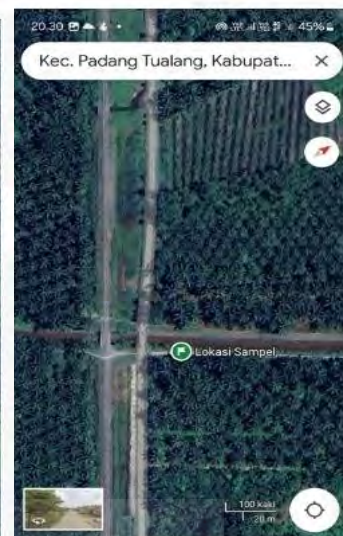
Sampel 3



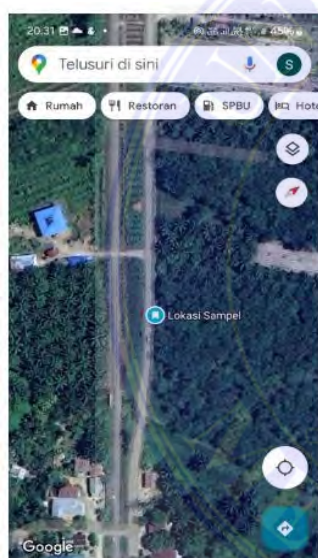
Sampel 4



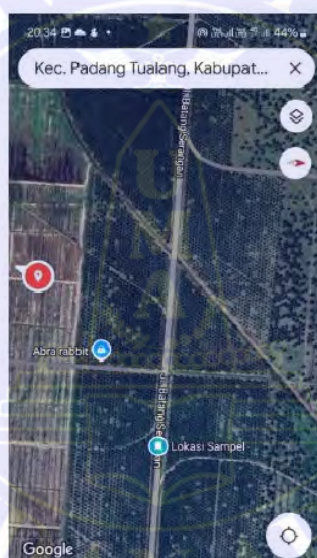
Sampel 5



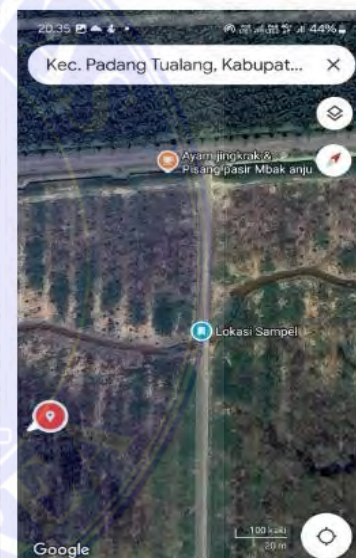
Sampel 6



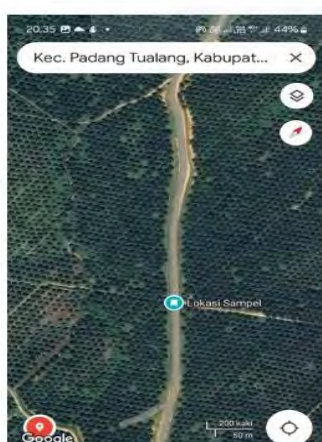
Sampel 7.



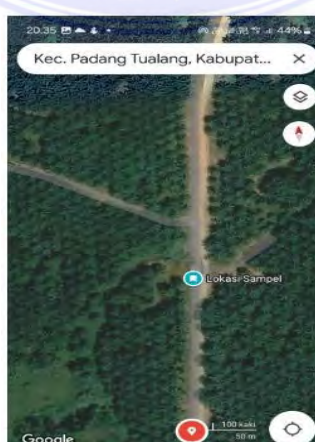
Sampel 8



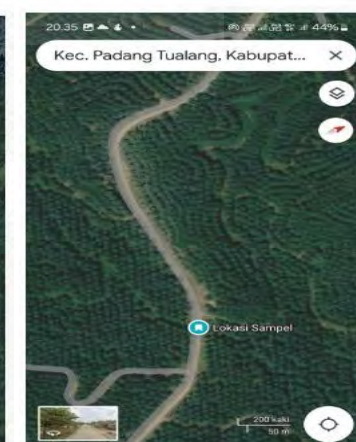
Sampel 9.



Sampel 10



Sampel 11



Sampel 12

Lampiran 3. Interpretasi Citra



Sampel 1



Sampel 2



Sampel 3



Sampel 4



Sampel 5



Sampel 6



Sampel 7



Sampel 8



Sampel 9



Sampel 10



Sampel 11



Sampel 12

Lampiran 4. Foto Di Lokasi Penelitian

