

Penerapan Metode Spatio-Temporal Analysis dalam Analisis Dinamika Tutupan dan Penggunaan Lahan Berbasis NDVI dan NDWI

Yerik Afrianto Singgalen*

Fakultas Ilmu Administrasi Bisnis dan Ilmu Komunikasi, Program Studi Pariwisata, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya,
Jakarta, Indonesia

Email: ^{1,*}yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

Email Penulis Korespondensi: yerik.afrianto@atmajaya.ac.id

Abstrak—Alih fungsi lahan dari kawasan perkebunan warga menjadi area industri menyebabkan perubahan lanskap yang perlu dimonitoring secara berkala sebagai dokumentasi data spasial. Penelitian ini menawarkan gagasan untuk merekam perubahan lanskap perkebunan kelapa di Desa Gulo, Kecamatan Kao Utara, Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode *spatio-temporal analysis*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *spatio-temporal analysis* sangat relevan digunakan dalam mengidentifikasi serta menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di *buffer zone* dan zona industri melalui model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Hasil identifikasi menunjukkan bahwa tutupan dan penggunaan lahan di *buffer zone* khususnya Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti menunjukkan adanya aktivitas pertanian dan perkebunan kelapa dalam sesuai dengan data citra satelit Landsat 8 OLI berdasarkan tahun 2018, 2019 dan 2021. Hasil kalkulasi data indeks vegetasi di *buffer zone* Desa Gulo menggunakan model NDVI dapat diketahui perubahan nilai indeks dari bulan Agustus 2018 dengan nilai 0,39 menjadi 0,35 di bulan September 2019, kemudian mengalami peningkatan di bulan September 2021 menjadi 0,43. Selanjutnya, hasil kalkulasi data indeks vegetasi di *buffer zone* Desa Dowongimaiti menggunakan model NDVI, dapat diidentifikasi perubahan nilai indeks vegetasi pada bulan Agustus 2018 sebesar 0,39 yang mengalami penurunan di bulan September 2019 sebesar 0,38 dan meningkat kembali di bulan September 2021 menjadi 0,44. Selanjutnya hasil kalkulasi model NDWI di zona industri menunjukkan adanya badan air dan genangan air dengan nilai indeks rata-rata -0,33. Dengan demikian luaran dari metode *spatio-temporal analysis* dapat digunakan mengoptimalkan fungsi pengawasan atau pengendalian kondisi lingkungan dalam bentuk rekomendasi program tepat guna, sebagai langkah preventif dan strategis mitigasi risiko bencana akibat aktivitas industri.

Kata Kunci: Tutupan Lahan; Penggunaan Lahan; Spatio-Temporal Analysis; NDVI; NDWI

Abstract—Landscape changes brought on by converting land from community plantations to industrial areas must be continuously monitored for spatial data documentation. This study proposes documenting changes in the environment of coconut farms in Indonesia's North Maluku Province's Gulo Village, North Kao District, and North Halmahera Regency. The spatio-temporal analysis method was employed in this investigation. The results of this study show that the spatio-temporal analysis method is very relevant to be used in identifying and analyzing the dynamics of land cover and use in buffer zones and industrial zones through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Water Index (NDWI) models. According to Landsat 8 OLI satellite image data based on 2018, 2019, and 2021, the land cover and use in the buffer zone, particularly in Gulo Village and Dowongimaiti Village, suggest agricultural activity and deep coconut plantations. The Landsat 8 OLI satellite image data calculation in August 2018 was 0.39 based on vegetation index data in the Gulo Village buffer zone. This value declined to 0.35 in September 2019 and increased to 0.43 in September 2021. In addition, changes in the vegetation index value of 0.39 in August 2018 were discovered based on data from the Dowongimaiti Village buffer zone, which declined to 0.38 in September 2019 and increased to 0.44 in September 2021. The NDWI model's calculation outcomes in industrial zones reveal water features and puddles with an average index value of -0.33. As a result, as a proactive and strategic measure to reduce the risk of disaster brought on by industrial activities, the output of the spatio-temporal analysis method can be used to optimize the function of supervision or control of environmental conditions in the form of appropriate program recommendations.

Keywords: Land Cove; Land Us; Spatio-Temporal Analysis; NDV; NDWI

1. PENDAHULUAN

Alih fungsi lahan perkebunan menjadi area industri memiliki dampak ekologi dan sosio-ekonomi. Rozci dan Roidah mengemukakan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan perkebunan yakni tingkat pendidikan, pendapatan, kapasitas ekonomi, pajak tanah, harga tanah, dan lokasi tanah [1]. Disisi lain, Rostini menegaskan bahwa alih fungsi lahan memiliki implikasi signifikan terhadap ekologi regional, termasuk hilangnya habitat alami, perubahan dalam penggunaan air, dan dampak terhadap biodiversitas [2]. Hal ini menunjukkan bahwa implikasi alih fungsi lahan perkebunan perlu dikaji secara kontekstual mempertimbangkan kondisi sosio-ekonomi masyarakat lokal dan lingkungan. Oleh sebab itu, penelitian ini menawarkan gagasan untuk menggunakan metode penginderaan jarak jauh dalam memonitoring perubahan lanskap dari area perkebunan menjadi area industri. Pemantauan yang efektif dapat membantu dalam merencanakan dan memitigasi dampak sosial, seperti perubahan mata pencaharian masyarakat setempat, distribusi kekayaan, serta isu-isu keselamatan dan kesehatan kerja. Adapun, Hudaya et al. menegaskan bahwa monitoring lanskap dalam konteks alih fungsi lahan perkebunan menjadi kawasan industri adalah instrumen penting dalam memastikan bahwa transformasi tersebut berlangsung sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan dan standar lingkungan yang berlaku, serta dapat memberikan manfaat maksimal bagi semua pemangku kepentingan yang terlibat.

Perubahan penggunaan lahan dan pola spasial tutupan lahan di sekitar kawasan industri perlu dimonitoring secara berkala untuk menganalisis dampak lingkungan serta hubungannya dengan perkembangan industr [3]. Disisi lain, Ningsih dan Rismawati menunjukkan bahwa proses transformasi lahan perkebunan menjadi zona industri seringkali berdampak

signifikan pada komposisi dan struktur lahan, mengubah ekologi regional, serta memengaruhi keberlanjutan ekosistem lokal [4]. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen wilayah dan perencanaan ruang berperan penting dalam proses identifikasi potensi konflik penggunaan lahan, serta analisis dampak lingkungan, termasuk perubahan dalam vegetasi, kehilangan habitat alami [5]. Selain itu, pemahaman yang mendalam tentang pola spasial tutupan lahan dapat mendukung perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan di sekitar kawasan industri, serta membantu mengurangi risiko terkait dengan perubahan iklim, pencemaran, dan kesejahteraan masyarakat setempat [6]. Dengan demikian, pemantauan perubahan penggunaan lahan dan pola spasial tutupan lahan dapat memitigasi dampak lingkungan serta memastikan bahwa pengembangan kawasan industri berjalan sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan tanpa merugikan aspek sosial-budaya masyarakat lokal serta lingkungan sekitar.

Dinamika tutupan lahan di sekitar kawasan industri perlu dikaji secara kontekstual, agar dapat memahami kognisi spasial masyarakat yang tinggal di sekitar area industri. Izzati et al. menunjukkan bahwa pemanfaatan lahan untuk kepentingan penghidupan masyarakat dalam bentuk kegiatan pertanian maupun perkebunan, berimplikasi pada pola tutupan lahan atau pemanfaatan ruang [7]. Disisi lain, Ramadhanita dan Satiawan menunjukkan sejumlah faktor yang memengaruhi kognisi spasial yakni kondisi tanah, vegetasi, sosial-budaya, kegiatan keagamaan, tradisi, mata pencaharian, jaringan jalan, tata letak, arah hadap bangunan, lintas hewan ternak, dan teritorial. Hal ini menunjukkan bahwa dinamika tutupan lahan untuk kepentingan pembangunan ekonomi perlu dicermati dari perspektif sosial-budaya dan ekologi. Adapun, Erwanda et al. menunjukkan bahwa perubahan ekologi memiliki pengaruh terhadap pola penghidupan yang didasari nilai-nilai sosial-budaya masyarakat, hal ini terjadi karena perubahan lanskap dapat mempengaruhi akses terhadap sumber daya alam, seperti lahan pertanian, hutan, atau perairan, yang merupakan sumber penghidupan tradisional bagi banyak komunitas [8]. Dampak dari perubahan ruang yang tidak terkendali berimplikasi pada perubahan pekerjaan, penghasilan, pola hidup, bahkan berpotensi menimbulkan isu-isu sosial, seperti migrasi, konflik lahan, dan kesenjangan ekonomi [9]. Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang dinamika tutupan lahan dan analisis dampaknya terhadap mata pencaharian masyarakat lokal menjadi penting dalam merancang strategi kebijakan yang berkelanjutan dan mendukung perencanaan yang mempertimbangkan kesejahteraan dan keberlanjutan komunitas yang terdampak oleh perubahan lingkungan tersebut.

Penelitian ini menawarkan gagasan untuk memonitoring dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar kawasan industri menggunakan pendekatan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) berdasarkan metode *spatio-temporal analysis* melalui model *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Giffari et al. menunjukkan bahwa NDVI dapat digunakan sebagai model dalam menganalisis perubahan tutupan lahan di suatu wilayah untuk memperoleh informasi tentang faktor-faktor yang menyebabkan perubahan perubahan lingkungan serta dampaknya terhadap ekonomi masyarakat lokal [10]. Disisi lain, Aryastana menunjukkan bahwa model NDVI memanfaatkan perbedaan reflektansi cahaya inframerah dekat (NIR) dan merah (RED) dari citra satelit, sehingga memungkinkan pengukuran tingkat vegetasi dalam mengidentifikasi perubahan dalam tutupan lahan [11]. Hal ini menunjukkan bahwa model NDVI sangat efektif digunakan dalam mengidentifikasi dan menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan yang berimplikasi pada nilai vegetasi akibat perambahan hutan, perluasan lahan pertanian, atau pengembangan industri dapat dideteksi dengan akurasi yang tinggi. Adapun, Marlina menegaskan bahwa NDVI dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dan sosial yang terjadi akibat perubahan tutupan lahan, termasuk hilangnya habitat alami dan perubahan mata pencaharian masyarakat setempat [12]. Dengan demikian, penerapan metode NDVI dapat menghasilkan informasi yang berguna dalam pengambilan keputusan serta perencanaan kebijakan yang berkelanjutan di sekitar Kawasan Industri, yang mengakomodasi aspek-aspek ekologi dan kesejahteraan sosial dalam pengelolaan wilayah tersebut.

Pemanfaatan hasil analisis NDVI memiliki implikasi penting dalam konteks pengambilan keputusan perencanaan pemanfaatan ruang dan kebijakan pembangunan [13]. Johar et al. menunjukkan bahwa data hasil implementasi model NDVI dapat memberikan informasi kuantitatif tentang kondisi vegetasi dan tutupan lahan di suatu wilayah yang dapat digunakan untuk pengambilan kebijakan atau penetapan program rencana tata ruang [14]. Disisi lain, Tiurmauli et al. menunjukan bahwa model NDVI dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang cocok untuk pertanian, konservasi alam, atau pengembangan industri [15]. Hal ini menunjukkan bahwa NDVI dapat membantu dalam mengantisipasi dan mengelola dampak lingkungan dari proyek pembangunan, seperti pengaruh terhadap ekosistem dan sumber daya alam. Pemanfaatan hasil analisis NDVI menjadi alat penting dalam memastikan bahwa kebijakan pembangunan dan pemanfaatan ruang berbasis data dan berkelanjutan, yang menggabungkan aspek-aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial, sehingga dapat menghasilkan hasil yang lebih baik dalam jangka panjang. Adapun, Yuniasih dan Adjie menunjukkan bahwa pendekatan penginderaan jarak jauh menggunakan citra satelit berbasis model NDVI dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi area perkebunan termasuk sawit [16]. Meskipun demikian, Faizal et al. menunjukkan bahwa model NDVI merupakan algoritma dalam proses kalkulasi data raster, namun terdapat sumber data citra satelit yang perlu dipertimbangkan yakni Landsat (*United States Geological Survey*) atau Sentinel 2A (*European Space Agency*) [17]. Selain NDVI, model *Normalized Difference Water Index* (NDWI) memiliki peranan penting dalam lingkungan industri, terutama dalam pemantauan sumber daya air. Cahyono et al. menunjukkan bahwa model NDWI memungkinkan identifikasi kualitas dan kuantitas air dengan akurat, serta membantu dalam pengawasan keberlanjutan penggunaan air industri. Oleh sebab itu, melalui perbandingan reflektansi cahaya inframerah dekat dan inframerah jauh, NDWI mampu mendeteksi perubahan tingkat kelembaban tanah dan air, yang krusial dalam industri yang bergantung pada pasokan air yang stabil [18]. Adapun, Kemaru dan Eboy menunjukkan bahwa NDWI juga berguna dalam pemantauan pencemaran air dan dampak lingkungan yang dapat terjadi dalam proses produksi. Dengan demikian, penerapan NDWI di lingkungan

industri dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya air dan mendukung praktik keberlanjutan yang lebih baik, sekaligus meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Mempertimbangkan hal tersebut maka penelitian ini menggunakan data Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) yang bersumber dari USGS dan mengimplementasikan model NDVI dan NDWI untuk pemantauan indeks vegetasi dan air di zona industri.

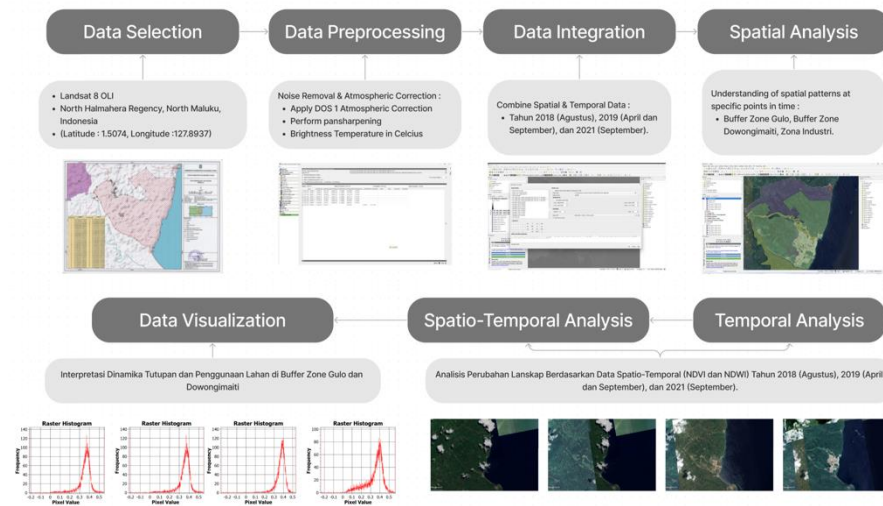
Analisis dinamika tutupan dan pemanfaatan lahan dalam penelitian ini terletak di Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara, Indonesia. Secara spesifik, area amatan terletak di Desa Gulo, Kecamatan Kao Utara. Pertimbangan memilih area amatan ialah sebagai berikut : pertama, terdapat perubahan penghidupan masyarakat lokal dengan menjual lahan perkebunan kelapa untuk pengembangan area industri; kedua, dinamika tutupan dan pemanfaatan lahan di sekitar kawasan industri; ketiga, luaran dari hasil monitoring perubahan indeks vegetasi dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan kebijakan dan penetapan program tepat guna untuk keberlanjutan ekologi, sosial-budaya, dan ekonomi masyarakat Desa Gulo dan sekitar; keempat, luaran penelitian ini dapat digunakan sebagai landasan penetapan program mitigasi risiko bencana akibat perubahan lanskap untuk kepentingan pembangunan fasilitas industri. Disisi lain, beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya pengaruh ekologi dan sosio-ekonomi yang disebabkan oleh pembangunan kawasan industri. Rahman et al. menunjukkan adanya gerakan sosial yang memperjuangkan keadilan lingkungan di sekitar area industri [19]. Selain itu, Subekti dan Rohmadiani menunjukkan adanya dampak dari *zona buffer* industri terhadap permukiman warga [20]. Adapun, Conseta et al. menunjukkan pelbagai dinamika dalam pembangunan smelter yakni inkonsistensi kebijakan serta dampaknya terhadap sosial dan lingkungan [21]. Hal ini menunjukkan bahwa kajian terkait dengan dinamika tutupan dan pemanfaatan lahan di sekitar zona industri perlu dilakukan menggunakan untuk menghasilkan data dan informasi yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan untuk pembangunan berkelanjutan.

Secara spesifik, dinamika tutupan dan pemanfaatan lahan zona industri yang diamati fokus pada PT. XYZ yang beroperasi di wilayah Desa Gulo berdasarkan Surat Keputusan Ketua TKPRD Kabupaten Halmahera Utara, No. 45/Kep. TKPRD-HU/2018 tentang rekomendasi ijin pemanfaatan ruang lokasi pembangunan. Pemberian rekomendasi ijin pemanfaatan ruang dinilai tidak bertentangan dengan fungsi lokasi sebagaimana termuat di dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Halmahera Utara. Selanjutnya, pemberian ijin pemberian ijin disertai syarat-syarat sebagai berikut : pertama, dalam jangka waktu 12 bulan terhitung sejak tanggal ditetapkan surat rekomendasi, lokasi harus benar-benar telah difungsikan sesuai ijin penggunaan atau pemanfaatan ruang. Jika dalam waktu yang dimaksud belum ada proses pengerjaan maka ijin permohonan dianggap batal atau tidak berlaku; kedua, pemohon dilarang memindahtangankan/menjualbelikan ijin pemanfaatan ruang; ketiga, pemohon diwajibkan memenuhi ketentuan dan peraturan perundang-undangan yang berlaku; keempat, pemohon diwajibkan membuat dokumen lingkungan (UKL/UPL/DPLH/AMDAL) sesuai ketentuan dan peraturan perundang-undangan yang berlaku sebelum proses pengembangan usaha; kelima, pemohon wajib memperhatikan kepentingan ruang yang bersifat lindung seperti perlindungan terhadap kawasan bawahannya, yaitu kawasan bergambut dan kawasan resapan air. Selanjutnya, perlindungan sungai terhadap aliran pemeliharaan sungai dan ruas restorasi sungai dan pencegahan pencemaran air sungai. Pengamanan terhadap kawasan perlindungan setempat dengan memperhatikan zona penyangga sungai dan mata air, yang masing-masing zona minimal 100 meter dari sempadan sungai maupun mata air. Perlindungan terhadap kawasan konservasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di daerah sekitar industri (*buffer zone* dan zona industri). Mempertimbangkan syarat dan ketentuan operasional PT.XYZ yang menekankan pada pengendalian ekologi lingkungan maka penelitian ini menggunakan pendekatan penginderaan jarak jauh melalui data citra satelit Landsat 8 OLI yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) untuk dikelola menggunakan model NDVI dan NDWI melalui metode spatio-temporal analisis berdasarkan tahun 2018 (Agustus), 2019 (April dan September), dan 2021 (September). Dengan demikian dapat digambarkan perubahan nilai index akibat alih fungsi lahan untuk pembangunan smelter dari tahun 2013-2018 dan 2018-2023 yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan untuk memonitoring dinamika tutupan dan pemanfaatan lahan di area operasional hingga area sekitar zona industri. Adapun, luaran penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menjaga keberlanjutan ekologi, sosio-ekonomi masyarakat di sekitar zona industri, agar mewujudkan prinsip-prinsip pembangunan yang berkeberlanjutan.

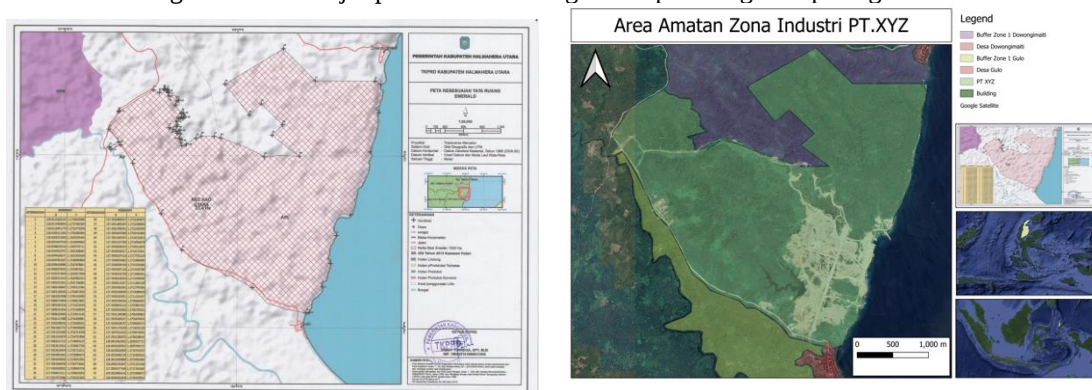
2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah *spatio-temporal analysis* dengan tahapan-tahapan sebagai berikut : pertama, tahap *data selection* yakni pemilihan data citra satelit yang digunakan bersumber dari USGS yakni Landsat 8-9 OLI berdasarkan koordinat Kabupaten Halmahera Utara (Latitude : 1.5074, Longitude :127.8937); kedua, tahap *data preprocessing* yakni proses koreksi data raster menggunakan plugin *Semi-Automatic Classification* pada aplikasi QGIS (*noise removal & atmospheric correction*); ketiga, tahap *data integration*, yakni proses kalkulasi data raster berdasarkan model NDVI dan NDWI tahun 2018 (Agustus), 2019 (April dan September), dan 2021 (September); keempat, tahap *spatial analysis*, yakni proses analisis pola spasial berdasarkan zona (zona buffer gulo, zona industri, zona buffer dowongimaiti); kelima, tahap *spatio temporal analysis* yakni proses analisis perubahan lanskap berdasarkan rentang waktu di masing-masing zona; keenam, tahap *data visualization* yakni proses visualisasi histogram dari NDVI dan NDWI di masing-masing zona. Adapun, penerapan metode *spatio-temporal analysis* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Metode *Spatio-Temporal Analysis*

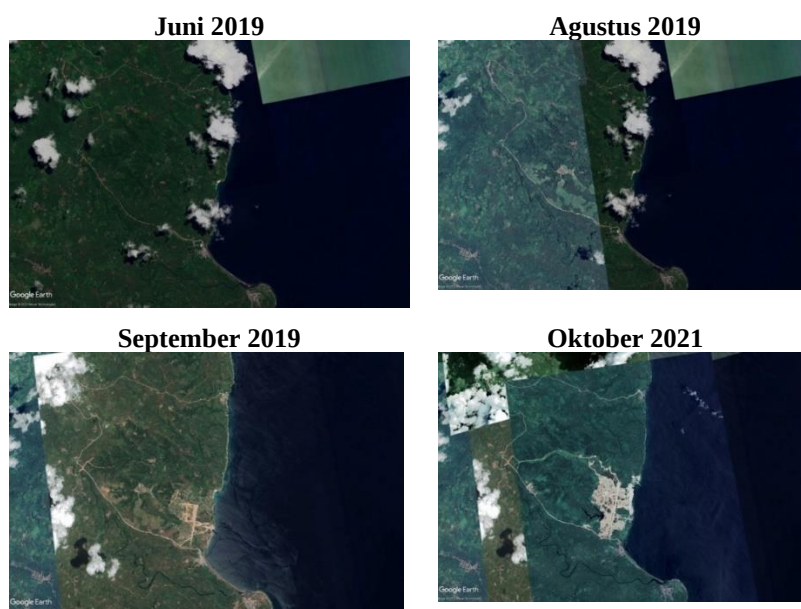
Gambar 1 merupakan penerapan metode spatio-temporal analysis menggunakan model NDVI dan NDWI untuk mengidentifikasi perubahan lanskap serta nilai indeks vegetasi dan air sejak tahun 2018 (Agustus), 2019 (April dan September), dan 2021 (September). Adapun area amatan dalam penginderaan jarak jauh meliputi area sekitar (*buffer zone*) Desa Dowongimaiti dan Desa Gulo, serta zona operasional PT. XYZ berdasarkan Surat Keputusan Ketua TKPRD Kabupaten Halmahera Utara, No.45/Kep. TKPRD-HU/2018 tentang rekomendasi ijin pemanfaatan ruang lokasi pembangunan. Pada tahap *data selection*, data raster yang digunakan ialah data citra satelit Landsat 8 OLI yang diproses menggunakan teknik georeferencing untuk menyesuaikan peta TKPRD sesuai surat rekomendasi ijin pemanfaatan ruang lokasi pembangunan. Selanjutnya, pada tahap *data pre-processing* seluruh data raster dibersihkan dengan mengaplikasikan plugin *Semi-Automatic Classification* pada aplikasi QGIS untuk melakukan koreksi *geometric*, *radiometric*, dan *atmospheric*. Pada tahap *data integration*, peta TKPRD hasil *georeferencing* disesuaikan dengan hasil kalkulasi data raster sesuai model NDVI dan NDWI kemudian dilakukan proses ekstraksi dan masking sesuai dengan area amatan. Pada tahap *spatial analysis*, dilakukan pengamatan pada tutupan dan pemanfaatan lahan di area sekitar zona industri, yakni *buffer zone* Desa Dowongimaiti dan *buffer zone* Desa Gulo. Pada tahap *temporal analysis*, dilakukan perbandingan data spasial tahun 2018 (Agustus), 2019 (April dan September), dan 2021 (September). Pada tahap *spatio-temporal analysis*, dilakukan analisis perbandingan nilai indeks vegetasi dan air tahun 2018 (Agustus), 2019 (April dan September), dan 2021 (September) di zona industri PT. XYZ dan *buffer zone* Desa Dowongimaiti dan *buffer zone* Desa Gulo. Pada tahap *data visualization*, dilakukan proses analisis akademik melalui data histogram untuk mengidentifikasi dan menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di area *buffer zone* Desa Dowongimaiti dan *buffer zone* Desa Gulo, serta zona industri PT. XYZ. Dengan demikian, dapat dihasilkan rekomendasi bagi pemangku kepentingan untuk merencanakan program yang tepat guna bagi keberlanjutan ekologi, sosial-budaya dan ekonomi masyarakat di Desa Dowongimaiti maupun Desa Gulo. Adapun, area amatan zona industri PT.XYZ dapat dilihat pada hasil *georeferencing* peta TKPRD-HU tentang rekomendasi ijin pemanfaatan ruang lokasi pembangunan pada gambar berikut.



Gambar 2. Area Amatan Zona Industri PT.XYZ

Gambar 2 merupakan area amatan dalam penerapan metode spatio-temporal analysis yang mencakup *buffer zone* Desa Dowongimaiti, *buffer zone* Desa Gulo, dan zona industri PT.XYZ. Secara spesifik, pembangunan infrastruktur untuk operasional industri PT.XYZ menyebabkan perubahan lanskap dan perubahan nilai indeks vegetasi. Bagaimanapun juga, perubahan permukaan bumi memiliki dampak yang signifikan pada kondisi lingkungan, sosial-budaya, dan ekonomi masyarakat lokal. Secara umum, kehidupan masyarakat Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti tidak terlepas dari aktivitas

perkebunan kelapa dalam. Eksistensi PT.XYZ menjadi faktor yang memengaruhi transformasi dan diversifikasi struktur penghidupan masyarakat lokal dalam perspektif penghidupan berkelanjutan (*Sustainable Livelihood*). Hal ini menunjukkan bahwa industrialisasi jelas memengaruhi matapencaharian masyarakat lokal, yang juga mencerminkan pendapatan perkapita. Meskipun demikian, keberadaan PT.XYZ tidak mengubah seluruh matapencaharian masyarakat, berdasarkan citra satelit dapat diketahui adanya ketahanan penghidupan sebagai bentuk resiliensi untuk mempertahankan aktivitas perkebunan kelapa dalam. Oleh sebab itu, dinamika tutupan dan penggunaan lahan di area sekitar zona industri, perlu dianalisis menggunakan pendekatan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Pada gambar berikut dapat dilihat potret perubahan lanskap di sekitar zona industri PT.XYZ pada tahun 2019 (Juni, Agustus, September) dan 2021 (Oktober).



Gambar 3. Potret Lanskap Sekitar Zona Industri PT.XYZ

Gambar 3 merupakan potret lanskap dan vegetasi sebelum dan setelah operasional PT.XYZ untuk pembangunan fasilitas operasional bisnis. Sebagai langkah preventif, untuk menerapkan strategi mitigasi risiko bencana akibat perubahan lanskap atau vegetasi yang signifikan, maka metode *spatio-temporal analysis* diimplementasikan menggunakan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Terdapat beberapa pertimbangan penggunaan *remote sensing* dalam proses identifikasi dan analisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar area zona industri sebagai berikut : pertama, luas area, zona industri PT.XYZ dalam peta TKPRD sesuai surat rekomendasi No.45/Kep.TKPRD-HU/2018 tercatat luas area ijin operasional ialah 23,4 Ha. Oleh sebab itu, penginderaan jarak jauh digunakan untuk memudahkan proses pemantauan secara berkala berdasarkan data temporal citra satelit; kedua, ketersediaan data citra satelit Landsat 8-9 OLI maupun Sentinel 2a serta frekuensi pengambilan data, memudahkan proses pemantauan setiap 5 hari maupun 16 tergantung kepentingan penggunaan data; ketiga, terdapat model pengolahan data selain NDVI, dan NDWI seperti Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Build-UP Index (NDBI), serta berbagai model yang dapat digunakan untuk menganalisis perubahan nilai index vegetasi, air, dan tanah. Mempertimbangkan penggunaan data dan tujuan penelitian ini terbatas pada identifikasi dan analisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar zona industri PT.XYZ maka penelitian ini menggunakan model NDVI dan NDWI. Adapun, persamaan model NDVI dan NDWI ialah sebagai berikut.

Tabel 1. Model, Persamaan dan Deskripsi NDVI dan NDWI

Model	Persamaan	Deskripsi
NDVI	(Band 5 – Band 4)/ (Band 5 + Band 4)	“Band 5” mengacu pada reflektansi cahaya di band inframerah dekat (NIR), dan “Band 4” mengacu pada reflektansi cahaya di band merah (RED) pada citra Landsat 8 dan 9. NDVI akan menghasilkan nilai yang berkisar dari -1 hingga +1, di mana nilai positif mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang sehat, sedangkan nilai negatif mendekati -1 menunjukkan permukaan tanah yang tidak memiliki vegetasi. Nilai-nilai di antara keduanya mencerminkan tingkat vegetasi yang beragam.
NDWI	(Band 3 – Band 5)/ (Band 3 + Band 5)	“Band 3” mengacu pada reflektansi cahaya di band hijau (Green) dan “Band 5” mengacu pada reflektansi cahaya di band inframerah dekat (NIR) pada citra Landsat 8 OLI. NDWI adalah indeks yang digunakan untuk mendeteksi air dan digunakan secara luas dalam pemantauan perubahan tutupan air, seperti badan air, sungai, dan danau dalam citra satelit Landsat 8 OLI. Nilai NDWI biasanya berkisar dari -1 hingga +1, dengan nilai positif menunjukkan adanya air.

Tabel 1 merupakan model, persamaan dan deskripsi tentang NDVI dan NDWI. Model NDVI merupakan hasil kalkulasi data raster band 5 dan band 4 pada Landsat 8-9 OLI. Secara spesifik, model NDVI dapat mengidentifikasi vegetasi yang sehat maupun permukaan tanah yang tidak memiliki vegetasi. Model ini sangat relevan digunakan untuk menganalisis tutupan dan penggunaan lahan di *buffer zone* Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti berdasarkan nilai indeks yang dihasilkan. Sementara itu, model NDWI merupakan hasil kalkulasi data raster band 3 dan band 5 pada Landsat 8-9 OLI. Model NDWI dapat digunakan untuk mendeteksi air sehingga sangat relevan digunakan untuk pemantauan perubahan tutupan air, badan air, sungai di zona industri PT.XYZ mengingat pembangunan fasilitas operasional usaha PT.XYZ memiliki jarak yang dekat dengan aliran sungai, serta kebutuhan masyarakat sebagai petani perkebunan kelapa dalam di *buffer zone* Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti.

Metode analisis *spatio-temporal* sangat penting digunakan dalam mengidentifikasi dan menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar zona industri. Kajian ini bersifat *urgent*, mengingat dampak lingkungan yang signifikan yang disebabkan oleh aktivitas industri selama pembangunan infrastruktur. Dengan pendekatan *remote sensing*, perubahan lahan dapat dipantau secara berkala untuk mengidentifikasi tren, serta mengukur pengaruh zona industri terhadap lingkungan sekitarnya. Analisis *spatio-temporal* ini memungkinkan kita untuk mengidentifikasi perubahan dalam pola penggunaan lahan, termasuk konversi lahan di *buffer zone*, maupun zona industri serta dampaknya pada tutupan vegetasi dan air tanah. Dengan memahami perubahan lanskap serta dinamika tutupan dan penggunaan lahan, para pemangku kepentingan dapat mengambil tindakan preventif untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti penurunan kualitas air, kehilangan habitat alam, dan perubahan iklim. Selain itu, analisis *spatio-temporal* juga membantu dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah, dengan memberikan dasar data yang kuat untuk perumusan kebijakan.

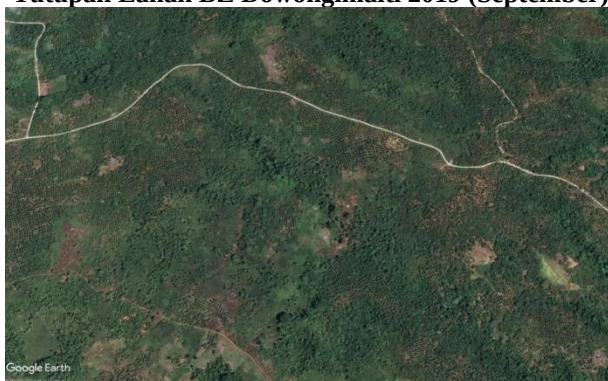
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan analisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar kawasan industri merupakan kajian yang sifatnya substansial dalam konteks manajemen wilayah dan lingkungan. Firmawan et al. menunjukkan bahwa identifikasi pola spasial khususnya dinamika tutupan dan penggunaan lahan merupakan suatu pendekatan yang dapat membantu pemangku kepentingan memahami dampak industri terhadap lingkungan sekitarnya [22]. Disisi lain, Arfidianingrum et al. menunjukkan bahwa identifikasi dan analisis tutupan lahan memungkinkan pemangku kepentingan untuk mengukur konversi lahan, perubahan tutupan vegetasi, dan dampak lainnya yang mungkin timbul sebagai langkah preventif mitigasi bencana [23]. Adapun, Mulya et al. menekankan bahwa hasil identifikasi dan analisis tutupan dan penggunaan lahan dapat memberikan wawasan dalam perencanaan dan pengelolaan wilayah yang lebih efisien dan berkelanjutan [24]. Hal ini menunjukkan bahwa melalui identifikasi tren dalam perubahan lahan, pemangku kepentingan dapat mengambil tindakan preventif terhadap degradasi lingkungan, mengurangi dampak negatif pada sumber daya alam, dan mendukung praktik keberlanjutan dalam konteks industri. Dengan demikian, pemahaman yang baik terhadap dinamika tutupan dan penggunaan lahan di sekitar kawasan industri merupakan elemen kunci dalam upaya menjaga keseimbangan antara perkembangan ekonomi dan pelestarian lingkungan.

Dalam konteks penelitian ini, dapat diketahui bahwa aktivitas industri PT.XYZ memiliki pengaruh terhadap kondisi ekologi, dan sosio-ekonomi masyarakat yang bermukim di Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti. Secara ekologi, dapat dilihat perubahan lanskap dengan adanya pembangunan infrastruktur penunjang industri. Namun, secara sosio-ekonomi dapat diidentifikasi adanya peluang ekonomi yang memobilisir masyarakat lokal untuk mengakses bentuk matapencaharian baru selain aktivitas perdagangan, nelayan, maupun perkebunan kelapa dalam. Meskipun kajian ekologi dan sosio-ekonomi masyarakat di sekitar industri PT.XYZ sangat penting, penelitian ini lebih fokus membahas implementasi metode *spatio-temporal* melalui penginderaan jarak jauh untuk mengoptimalkan fungsi pengendalian vegetasi dan air di *buffer zone* (Desa Gulo dan Dowongimaiti) serta zona industri PT. XYZ. Berdasarkan data spasial yang diakses melalui platform *google earth* di *buffer zone* Desa Gulo dan *buffer zone* Dowongimaiti terjadi perubahan tutupan lahan berdasarkan perbandingan data bulan September 2019 dan bulan Oktober 2021, sebagaimana gambar berikut.



Tutupan Lahan BZ Dowongimaiti 2019 (September)

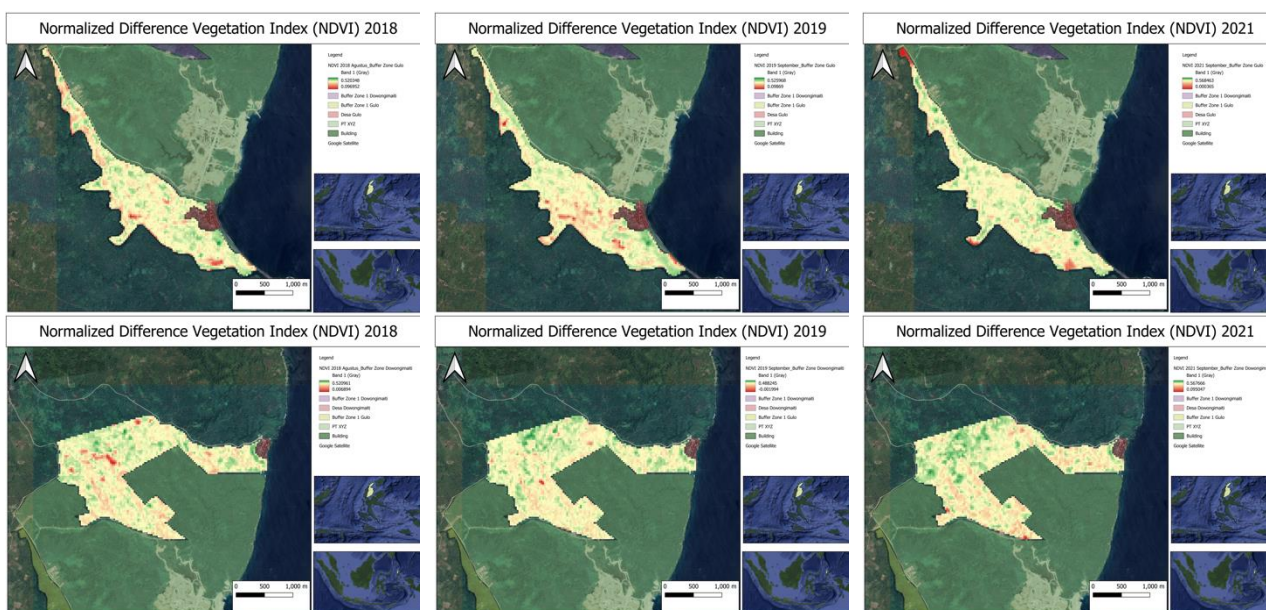


Tutupan Lahan BZ Dowongimaiti 2021 (Oktober)



Gambar 4. Perubahan Tutupan Lahan pada *buffer zone* Desa Gulo dan *buffer zone* Dowongimaiti (September 2019 dan Oktober 2021)

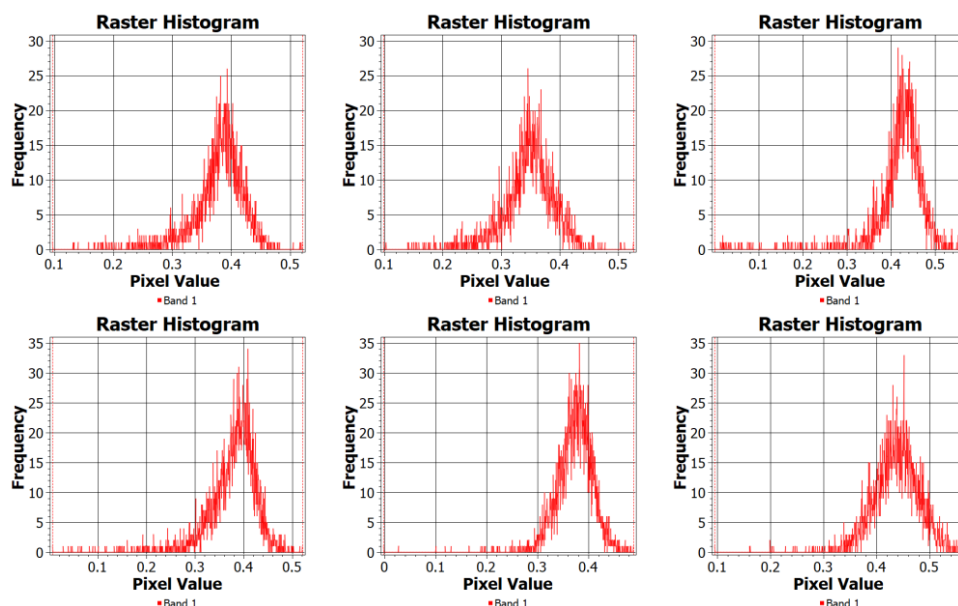
Gambar 4 merupakan data spasial yang dapat diakses melalui platform website *google earth* untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan pada *buffer zone* Desa Gulo dan *buffer zone* Dowongimaiti (September 2019 dan Oktober 2021). Meskipun demikian, untuk mengukur nilai indeks vegetasi di masing-masing pada *buffer zone* Desa Gulo dan *buffer zone* Dowongimaiti maka data citra satelit Landsat 8 OLI dikalkulasikan berdasarkan model NDVI. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa NDVI dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan vegetasi di suatu wilayah. Gifari et al. menegaskan bahwa penutupan lahan dapat diartikan sebagai penutupan biofisik pada permukaan bumi sehingga dapat diamati, serta merepresentasikan aktivitas atau perlakuan manusia terhadap areal tersebut untuk kepentingan produksi maupun kepentingan lainnya [10]. Lebih jauh, Aryastana et al. menunjukkan bahwa NDVI digunakan sebagai model untuk mengukur estimasi perubahan tutupan lahan akibat aktivitas pertanian maupun perkebunan [25]. Dengan demikian, model NDVI dapat digunakan untuk mengukur nilai index vegetasi di *buffer zone* Desa Gulo dan *buffer zone* Dowongimaiti, sebagaimana gambar berikut.



Gambar 5. Perubahan Nilai Index Vegetasi Berdasarkan Model NDVI

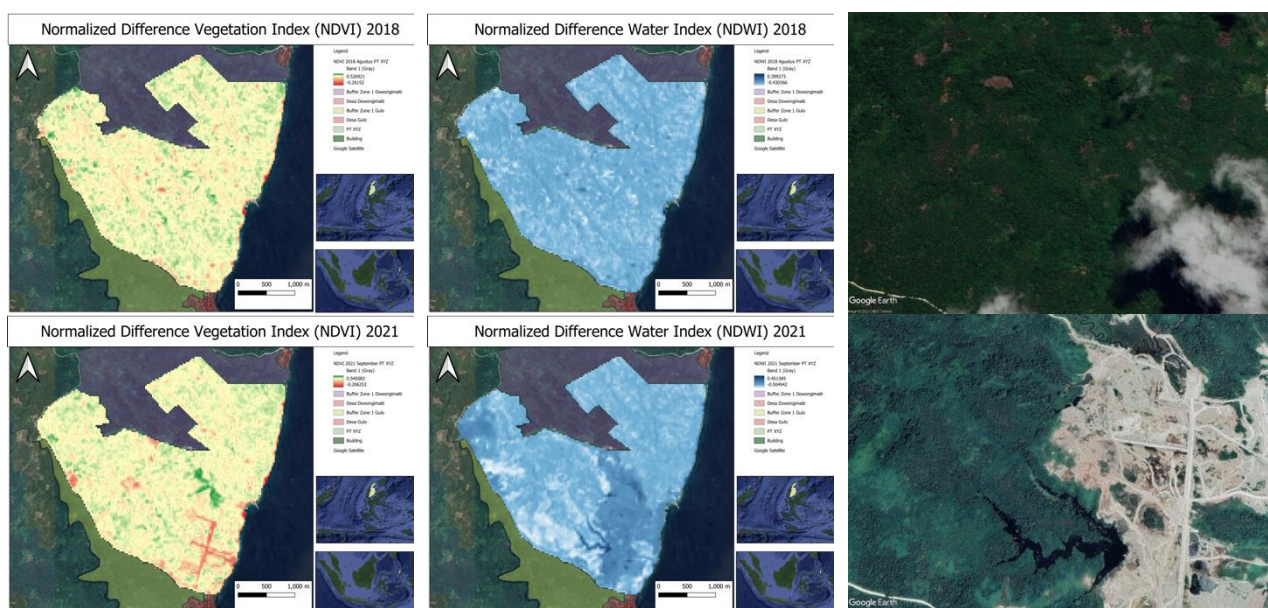
Gambar 5 merupakan perubahan nilai indeks vegetasi berdasarkan model NDVI berdasarkan data citra satelit bulan Agustus 2018, September 2019, dan September 2021. Berdasarkan data indeks vegetasi di *buffer zone* Desa Gulo dapat diidentifikasi perubahan nilai indeks vegetasi sebagai berikut : pertama, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan Agustus 2018 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,39; kedua, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan September 2019 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,35; ketiga, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan September 2021 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,43. Selanjutnya, berdasarkan data indeks vegetasi di *buffer zone* Desa Dowongimaiti dapat diidentifikasi perubahan nilai indeks vegetasi sebagai berikut : pertama, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan Agustus 2018 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,39; kedua, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan September 2019 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,38; ketiga, hasil kalkulasi data citra satelit Landsat 8 OLI bulan September 2021 sesuai dengan model NDVI diperoleh nilai rata-rata 0,44. Hal ini menunjukkan bahwa tutupan

lahan di *buffer zone* Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti mengalami peningkatan nilai indeks vegetasi pada tahun 2021. Adapun, nilai indeks NDVI menunjukkan kondisi vegetasi yang baik di masing-masing area sebagaimana gambar berikut.



Gambar 6. Histogram NDVI *Buffer Zone* Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti

Gambar 6 merupakan histogram dari implementasi NDVI untuk menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan berdasarkan nilai vegetasi di masing-masing area amatan yakni *buffer zone* Desa Dowongimaiti, dan Desa Gulo. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa masyarakat lokal masih melanjutkan aktivitas perkebunan kelapa dalam, meskipun aktivitas industri PT.XYZ berlangsung. Mempertahankan nilai vegetasi lingkungan di sekitar kawasan industri adalah langkah penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem. Singgalen et al. menegaskan bahwa vegetasi berperan kunci dalam menjaga kualitas udara, mengurangi polusi, serta menyediakan habitat bagi berbagai jenis flora dan fauna [26]. Selanjutnya, beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa upaya perlindungan vegetasi termasuk dalam pengelolaan lahan yang berkelanjutan, seperti penghijauan dan rehabilitasi lahan [27]–[32]. Hal ini menunjukkan perlunya langkah preventif untuk meminimalisir risiko dampak negatif industri terhadap lingkungan, sekaligus menjadi langkah strategis untuk meningkatkan kualitas hidup komunitas sekitar. Mempertimbangkan kondisi vegetasi di kawasan industri juga berperan dalam mengurangi perubahan iklim, sebagai penyerap karbon dioksida maka monitoring indeks vegetasi di sekitar area industri perlu dilakukan secara berkala. Selain vegetasi, ketersediaan air di lingkungan operasional industri perlu dikaji menggunakan model NDWI untuk mengidentifikasi area serapan air serta genangan air akibat perubahan lanskap, sebagaimana gambar berikut.



Gambar 7. Implementasi Model NDVI dan NDWI untuk Mengidentifikasi Indeks Vegetasi dan Air di Zona Industri PT.XYZ

Gambar 7 merupakan hasil implementasi model NDVI dan NDWI untuk mengidentifikasi indeks vegetasi dan air di zona industri PT.XYZ berdasarkan data citra satelit tahun 2018 (Agustus) dan 2021 (September). Berdasarkan hasil kalkulasi dapat diketahui bahwa aktivitas pembangunan infrastruktur untuk kepentingan industri menyebabkan perubahan nilai rata-rata indeks vegetasi dari 0,38 (2018) menjadi 0,37 (2021). Meskipun demikian perubahan nilai rata-rata NDVI tidak menunjukkan adanya penurunan secara signifikan. Sementara itu, untuk mengidentifikasi indeks tanah dan vegetasi perlu menggunakan model *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Selanjutnya, berdasarkan model NDWI dapat diidentifikasi badan air atau genangan air yang terbentuk akibat alih fungsi lahan untuk kepentingan industri, dimana nilai rata-rata indeks air yang teridentifikasi ialah -0,33. Secara keseluruhan dapat diinterpretasikan bahwa dampak aktivitas industri PT.XYZ terhadap kondisi ekologi masih dalam kategori terkendali, namun perlu dilakukan pemantauan secara rutin agar dapat mengantisipasi kerugian ekologi akibat aktivitas yang tidak ramah lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat direkomendasikan beberapa program untuk mengoptimalkan data citra satelit berbasis model NDVI dan NDWI bagi kepentingan ekologi, dan sosio-ekonomi masyarakat lokal. Pertama, perlu adanya tim pemantauan ekologi yang mengolah dan memanfaatkan data citra satelit untuk memantau aktivitas operasional industri di zona industri PT.XYZ serta memantau aktivitas perkebunan warga di *buffer zone* untuk mengantisipasi terjadinya degradasi nilai index yang signifikan. Kedua, perlu ditetapkan program peningkatan kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM) kepada masyarakat di *buffer zone* terkait dengan dampak aktivitas industri terhadap kondisi ekologi dan sosio ekonomi serta upaya mitigasi atau pengendalian sehingga dapat menguntungkan seluruh pihak. Ketiga, mengoptimalkan upaya pengendalian dengan melibatkan berbagai pihak yang kompeten dan berkontribusi positif bagi keberlanjutan ekologi, ekonomi, sosial-budaya sebagaimana prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian luaran dari hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan fungsi pengendalian lingkungan, serta mempertimbangkan keberlanjutan sosial-budaya dan ekonomi masyarakat yang berdomisili di sekitar kawasan industri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa metode spatio-temporal analysis sangat relevan digunakan dalam mengidentifikasi serta menganalisis dinamika tutupan dan penggunaan lahan di *buffer zone* dan zona industri melalui NDVI dan NDWI. Dalam konteks penelitian ini, penggunaan model NDVI menunjukkan adanya perubahan lanskap dan indeks vegetasi berdasarkan nilai rata-rata yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan dalam pengambilan kebijakan maupun penetapan program untuk mitigasi risiko bencana akibat perubahan permukaan bumi untuk kepentingan industri. Selanjutnya, hasil implementasi model NDWI menunjukkan adanya badan air dan genangan air yang terbentuk di zona industri sebagai bentuk pengendalian atau pemantauan permukaan bumi serta dampaknya terhadap aspek ekologi, dan sosio-ekonomi masyarakat lokal. Secara keseluruhan, tutupan dan penggunaan lahan di *buffer zone* khususnya Desa Gulo dan Desa Dowongimaiti menunjukkan adanya aktivitas pertanian dan perkebunan kelapa dalam, sebagaimana data citra satelit Landsat 8 OLI berdasarkan tahun 2018, 2019 dan 2021. Dengan demikian luaran dari metode *spatio-temporal analysis* dapat digunakan untuk kepentingan *monitoring* atau pengendalian kondisi lingkungan agar dapat direkomendasikan program tepat guna sebagai langkah preventif dan strategis mitigasi risiko bencana.

REFERENCES

- [1] F. Rozci and I. S. Roidah, "Analisis Faktor Alih Fungsi Lahan Pertanian ke Non Pertanian di Jawa Timur," *J. Ilm. Sosio Agribis*, vol. 23, no. 1, pp. 35–42, 2023, doi: 10.30742/jisa.23120233192.
- [2] E. Rostini, "Policy Paper: Faktor-Faktor yang Memengaruhi Alih Fungsi Lahan Pertanian (Sawah) di Wilayah Kota Tasikmalaya," *J. Agristan*, vol. 5, no. 1, pp. 32–50, 2023.
- [3] S. Muslim, R. P. Utomo, and C. T. H. Permana, "Perubahan penggunaan lahan dan pola spasial tutupan lahan di sekitar Kawasan Industri Purwosuman, Sragen," *Reg. J. Pembang. Wil. dan Perenc. Partisipatif*, vol. 18, no. 1, pp. 38–50, 2023, doi: 10.20961/region.v18i1.53755.
- [4] K. Ningsih and R. Rismawati, "Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Terhadap sosial Ekonomi Rumah Tangga Petani Padi," *J. Pertan. Cemara*, vol. 19, no. 2, pp. 47–60, 2022, doi: 10.24929/fp.v19i2.2236.
- [5] W. B. Adi and A. Muladi, "Alih Fungsi Kawasan Hutan dan Dampaknya Terhadap Bencana Banjir yang Ada di Kabupaten Bima," *Agrienvi J. Ilmu Pertan.*, vol. 16, no. 1, pp. 75–82, 2022.
- [6] A. Deliar, P. B. K. Santoso, and R. Virtriana, "Analisis Pola Perubahan Tutupan Lahan Berdasarkan Metode Spatial Cluster di Provinsi Jawa Barat," *Geodika J. Kaji. Ilmu dan Pendidik. Geogr.*, vol. 7, no. 1, pp. 53–62, 2023, doi: 10.29408/geodika.v7i1.7105.
- [7] A. Izzati, S. Suwanto, and S. Anantanyu, "Pemanfaatan Livelihood Assets Sebagai Strategi Bertahan Hidup Petani Daerah Konservasi DAS Solo di Desa Beruk Kecamatan Jatiyoso Kabupaten Karanganyar," *AGROVITAL J. Ilmu Pertan.*, vol. 6, no. 2, pp. 75–80, 2021, doi: 10.35329/agrovital.v6i2.2039.
- [8] Erwanda, V. I. S. Pinasti, and S. G. Aprinatika, "Interaksi Manusia dan Alam Pada Tradisi Sedekah Bumi di Japon Blora," *Dimesia J. Kaji. Sociol.*, vol. 12, no. 2, pp. 151–160, 2023.
- [9] M. M. Wagiu, J. Berdame, and S. Luma, "Menjaga relasi manusia dengan alam: Konstruksi ekoteologis pada religi budaya" Allah dalam tubuh" masyarakat desa Musi, kecamatan Lirung, kabupaten Talaud," *Kur. (Jurnal Teol. dan Pendidik. Agama Kristen)*, vol. 8, no. 2, pp. 584–598, 2022, [Online]. Available: <https://e-journal.sttpb.ac.id/index.php/kurios/article/view/263>
- [10] O. I. Gifari, K. Kusri, and K. A. Yuana, "Analisis Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Klasifikasi Terbimbing Pada Data Citra Penginderaan Jauh Kota Samarinda-Kalimantan Timur," *Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 18, no. 2, pp. 71–77, 2023, doi: 10.30872/jim.v18i2.5716.

- [11] P. Aryastana, I. G. N. A. Widya, G. W. P. DAna, I. P. S. Suyasa, and W. W. A. Tamara, "Estimasi Perubahan Tutupan Lahan Dengan Menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Di Kabupaten Klungkung Provinsi Bali," *J. Tek. Gradien*, vol. 15, no. 1, pp. 45–51, 2023, doi: 10.47329/teknik_gradien.v15i01.1014.
- [12] D. Marlina, "Klasifikasi Tutupan Lahan pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan dengan NDVI dan Algoritme Random Forest," *STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 41–49, 2022, doi: 10.30998/string.v7i1.12948.
- [13] R. S. Sianturi, "Komparasi Metode Klasifikasi Tersupervisi untuk Pemetaan Lahan Terbangun dan NonTerbangun Menggunakan Landsat 8 OLI dan Google Earth Engine (Studi Kasus: Kota Malang)," *J. Penataan Ruang*, vol. 17, no. 2, pp. 82–89, 2022, doi: 10.12962/j2716179x.v17i2.13434.
- [14] A. Johar, A. Vatesia, and R. R. Rais, "Perbedaan Pengolahan DAS Bengkulu Menggunakan NDVI dan Maximum Likelihood," *J. Pseudocode*, vol. 7, no. 2, pp. 115–122, 2020, doi: 10.1201/9780429397547-15.
- [15] I. Tiurmauli, N. M. Trigunasih, and I. B. P. Bhayunagiri, "Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Pemetaan Kerapatan Vegetasi dan Penutup Lahan Hubungannya dengan Daerah Resapan Air di Kawasan Pariwisata Ubud, Gianyar, Bali," *Nandur*, vol. 3, no. 3, pp. 105–113, 2023.
- [16] B. Yuniasih and A. R. P. Adjie, "Evaluasi Kondisi Kebun Kelapa Sawit Menggunakan Indeks NDVI dari Citra Satelit Sentinel 2," *J. Teknotan*, vol. 16, no. 2, pp. 127–132, 2022, doi: 10.24198/jt.vol16n2.10.
- [17] A. Faizal, N. Mutmainna, M. A. Amran, A. Saru, K. Amri, and M. N. Nessa, "Application of NDVI Transformation on Sentinel 2A Imagery for mapping mangrove conditions in Makassar City," *Akuatikisle J. Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, vol. 7, no. 1, pp. 59–66, 2023, doi: 10.29239/j.akuatikisle.7.1.59-66.
- [18] B. E. Cahyono, R. Rahagian, and A. T. Nugroho, "Analisis Produktivitas Padi berdasarkan Indeks Kekeringan (NDWI dan NDDI) Lahan Sawah menggunakan Data Citra Sentinel-2A di Kecamatan Ambulu," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 88–97, 2023, doi: 10.13057/ijap.v13i1.70682.
- [19] A. Rahman, Y. Slamet, and B. Haryono, "Dinamika Gerakan Sosial Masyarakat Samarinda dalam Memperjuangkan Keadilan Lingkungan (Studi Kasus pada Gerakan Samarinda Menggugat di Kalimantan Timur)," *J. Anal. Sociol.*, vol. 7, no. 1, pp. 127–140, 2018.
- [20] D. P. E. Subekti and L. D. Rohmadiani, "Dampak Keberadaan Zona Industri Terhadap Permukiman," *J. Planoeearth*, vol. 5, no. 2, pp. 124–128, 2020.
- [21] M. Contesa, S. Ningrum, and M. Rahmatunnisa, "Smelter : Inkonsistensi Kebijakan , Kendala dan Dampak di Indonesia," *Responsive*, vol. 1, no. 1, pp. 6–11, 2018, doi: 10.24198/responsive.v1i1.19095.
- [22] M. A. Firmawan, W. Widiatmaka, and K. Nirmala, "Identification of Spatial Dynamics of Land Use and Cover in Indramayu Regency," *J. Tanah Lingkung.*, vol. 23, no. 2, pp. 78–84, 2021.
- [23] D. Arfidianingrum, S. Rustanto, C. Setiwasan, M. Zid, and T. A. Zaelani, "Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Mijen Kota Semarang Tahun 2011 dan 2021," *Ecolab*, vol. 16, no. 2, pp. 67–74, 2022, doi: 10.20886/jklh.2022.16.2.67-74.
- [24] S. P. Mulya, D. Suherlan, and E. Pravitasari, "Dinamics of Land Use / Cover and Its Conformity with Spatial Plan , and Land Carrying Capacity : Case Study in Ciater Sub District , Subang Regency , West Java Province," *J. Tanah Lingkung.*, vol. 21, no. 2, pp. 87–100, 2019.
- [25] P. Aryastana, I. G. N. A. Widya, G. W. P. DAna, I. P. S. Suyasa, and W. W. A. Tamara, "Estimasi Perubahan Tutupan Lahan Dengan Menggunakan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Di Kabupaten Klungkung Provinsi Bali," *J. Tek. Gradien*, vol. 15, no. 1, pp. 45–51, 2023, doi: 10.47329/teknik_gradien.v15i01.1014.
- [26] Y. A. Singgalen, "Implementasi Hyper Spectral of Remote Sensing untuk Analisis Kawasan Ekowisata Mangrove Potensial di Kecamatan Tobelo Timur," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 928–935, 2023, doi: 10.47065/josh.v4i3.3378.
- [27] Y. A. Singgalen, C. Gudiato, S. Y. J. Prasetyo, and C. Fibriani, "Mangrove Monitoring Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Case Study In North Halmahera, Indonesia," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 13, no. 2, pp. 219–239, 2021, doi: 10.29244/jitkt.v13i2.34771.
- [28] Y. A. Singgalen, "Vegetation Index and Mangrove Forest Utilization through Ecotourism Development in Dodola and Guraping of North Maluku Province," *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 28, no. 2, pp. 150–161, 2022, doi: 10.7226/jtfm.28.2.150.
- [29] Y. A. Singgalen, "Mangrove forest utilization for sustainable livelihood through community-based ecotourism in kao village of north halmahera district," *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 26, no. 2, pp. 155–168, 2020, doi: 10.7226/JTFM.26.2.155.
- [30] Y. A. Singgalen and D. Manongga, "Mangrove-based Ecotourism Sustainability Analysis using NDVI and AHP Approach," *Indones. J. Comput. Cybern. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 125–136, 2022, doi: 10.22146/ijccs.68986.
- [31] Y. A. Singgalen, "Tourism Infrastructure Development and Transformation of Vegetation Index in Dodola Island of Morotai Island Regency," *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 1, pp. 130–144, 2022, doi: 10.51519/journalisi.v4i1.230.
- [32] Y. A. Singgalen and D. Manongga, "Monitoring of Mangrove Ecotourism Area Using Ndvi, Ndw, and Cmri in Dodola Island, Morotai Island Regency, Indonesia," *J. Ilmu dan Teknol. Kelaut. Trop.*, vol. 14, no. 1, pp. 95–108, 2022, doi: 10.29244/jitkt.v14i1.37605.