

BAB III METODOLOGI

3.1 Pendekatan Peneliti

Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif-kuantitatif yang dipadukan dengan analisis yang dipakai. Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada kesesuaiannya dengan tujuan penelitian, yaitu untuk menjelaskan, mengukur, serta memetakan dinamika perubahan aktivitas sosial - ekonomi masyarakat sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang secara sistematis dan terukur. Penjabaran lebih lanjut mengenai jenis data, sumber data, dan metode analisis yang digunakan akan dijelaskan secara rinci pada subbab berikutnya.

3.1.1 Pendekatan Kuantitatif

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif spasial-temporal untuk menganalisis perubahan aktivitas sosial ekonomi di kawasan sekitar Jalan Tol Pandaan-Malang. Pendekatan ini diterapkan dengan memanfaatkan data Night-Time Light (NTL) sebagai representasi kuantitatif aktivitas sosial ekonomi wilayah, yang dianalisis pada periode tahun 2013, 2018, dan 2023, serta digunakan untuk memahami kecenderungan dinamika aktivitas hingga tahun 2040.

Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu menggambarkan fenomena sosial ekonomi secara objektif, terukur, dan sistematis melalui pengolahan data numerik dan pola spasial. Sejalan dengan pandangan Sugiyono (2019), pendekatan kuantitatif memandang gejala sosial dan ekonomi sebagai fenomena yang dapat direpresentasikan dalam bentuk angka, sehingga memungkinkan analisis perubahan dan hubungan antar fenomena dilakukan secara empiris dan dapat diuji.

Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif diterapkan sepenuhnya melalui data sekunder berbasis penginderaan jauh, tanpa melibatkan pengumpulan data primer seperti survei lapangan atau kuesioner. Data NTL dianalisis secara temporal untuk mengidentifikasi perubahan aktivitas sosial ekonomi dari waktu ke waktu, serta secara spasial untuk memahami variasi dan pola aktivitas antar wilayah di sekitar gerbang tol.

Dengan mengombinasikan dimensi kuantitatif, spasial, dan temporal, pendekatan penelitian ini memungkinkan pemahaman yang komprehensif terhadap dinamika aktivitas sosial ekonomi wilayah. Pendekatan ini bersifat objektif, dapat direplikasi, dan relevan untuk kajian perubahan wilayah berbasis data geospasial multiwaktu.

3.1.1.1 Pendekatan Spasial

Pendekatan spasial digunakan dalam penelitian ini untuk memahami variasi dan pola persebaran aktivitas sosial ekonomi dalam ruang di kawasan sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang. Pendekatan ini didasarkan pada pandangan bahwa setiap fenomena wilayah memiliki karakteristik

keruangan yang berbeda dan dapat dianalisis melalui distribusi serta keterkaitan antar lokasi.

Dalam konteks perencanaan wilayah, analisis spasial berperan penting dalam mengidentifikasi perbedaan intensitas aktivitas antar wilayah serta keterkaitannya dengan faktor aksesibilitas. Sebagaimana dikemukakan oleh Bintarto, fenomena sosial dan ekonomi tidak terlepas dari lokasi geografis dan pola persebarannya dalam ruang. Oleh karena itu, pendekatan spasial digunakan untuk menganalisis bagaimana aktivitas sosial ekonomi di sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang terdistribusi secara keruangan.

Dalam penelitian ini, pendekatan spasial difokuskan pada analisis kedekatan wilayah terhadap gerbang tol sebagai simpul aksesibilitas utama. Wilayah penelitian dianalisis berdasarkan zona pengaruh jarak terhadap gerbang tol untuk melihat variasi intensitas dan akumulasi aktivitas sosial ekonomi yang direpresentasikan oleh Night-Time Light (NTL). Selain itu, pendekatan spasial digunakan untuk mengidentifikasi pola pengelompokan aktivitas dan keterkaitan antar wilayah, sehingga memberikan pemahaman mengenai struktur spasial aktivitas sosial ekonomi di kawasan penelitian.

3.1.1.2 Pendekatan Temporal

Pendekatan temporal digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis perubahan aktivitas sosial ekonomi dari waktu ke waktu berdasarkan data *Night-Time Light (NTL)* pada tahun 2013, 2018, dan 2023. Ketiga periode tersebut merepresentasikan tahapan perkembangan infrastruktur jalan tol, yaitu kondisi pra-pembangunan, masa pembangunan, dan pasca-operasional Jalan Tol Pandaan-Malang. Pendekatan temporal memungkinkan penelitian ini mengkaji arah dan kecenderungan perubahan aktivitas wilayah secara longitudinal, sehingga dinamika aktivitas sosial ekonomi tidak hanya dipahami sebagai kondisi statis, tetapi sebagai proses yang berkembang dari waktu ke waktu. Hal ini sejalan dengan pandangan David Harvey yang menekankan pentingnya dimensi waktu dalam memahami perubahan sosial dan ekonomi dalam konteks pembangunan.

Dalam penelitian ini, perubahan nilai intensitas dan akumulasi NTL antar periode waktu digunakan untuk menggambarkan dinamika aktivitas sosial ekonomi wilayah. Pola perubahan historis tersebut selanjutnya dimanfaatkan untuk memahami kecenderungan perkembangan aktivitas wilayah di masa mendatang. Dengan demikian, pendekatan temporal tidak hanya berfungsi untuk menjelaskan perubahan masa lalu, tetapi juga menjadi dasar dalam memahami dinamika spasial-temporal aktivitas sosial ekonomi di kawasan sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang.

3.2 Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai lembaga dan sumber resmi. Penggunaan data sekunder dipilih karena penelitian ini berfokus pada analisis spasial dan temporal aktivitas sosial ekonomi wilayah dalam

cakupan area yang luas dan periode waktu yang panjang, sehingga memerlukan data yang konsisten, terstandar, dan dapat dibandingkan antar waktu.

Data sekunder tersebut terdiri atas data spasial dan data pendukung analisis yang digunakan untuk menggambarkan perubahan aktivitas sosial ekonomi di kawasan sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang. Data utama dalam penelitian ini adalah data *Night-Time Light* (NTL) VIIRS-DNB, yang digunakan sebagai proksi aktivitas sosial ekonomi wilayah. Selain itu, digunakan pula data batas administrasi wilayah, titik lokasi gerbang tol, dan jaringan jalan sebagai data pendukung analisis spasial. Literatur ilmiah dan publikasi akademik dimanfaatkan sebagai dasar konseptual dan metodologis dalam penyusunan analisis.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Data Sekunder

No	Jenis Data Sekunder	Sumber Data	Tahun / Periode	Bentuk Data
1	VIIRS-DNB	NOAA / Earth Observation Group (EOG)	2013, 2018, 2023	Raster (nW/cm ² /sr)
2	Batas administrasi wilayah	Badan Informasi Geospasial / Badan Pusat Statistik	Tahun terbaru	Vektor (Polygon)
3	Titik Tol	Google Earth	Tahun terbaru	Vektor (Point)
4	Jaringan jalan	Badan Informasi Geospasial / OpenStreetMap	Tahun terbaru	Vektor (Line)
5	Literatur dan Data Pendukung Analisis	Jurnal ilmiah, publikasi akademik	Tidak terbatas	Dokumen

Sumber : Kajian peneliti olah data 2025

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pada penelitian ini, lokasi dan periode penelitian telah ditetapkan secara jelas. Penjelasan lebih rinci mengenai keduanya disajikan sebagai berikut :

3.3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mencakup wilayah pada dua kabupaten dan satu kota, yaitu Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Malang, dan Kota Malang. Pemilihan ketiga wilayah tersebut didasarkan pada keterkaitannya dengan keberadaan Jalan Tol Pandaan - Malang, terutama pada perubahan aktivitas sosial-ekonomi di kawasan sekitar gerbang tol. Setiap wilayah memiliki karakter spasial dan fungsi yang berbeda, sehingga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai dinamika aktivitas di sepanjang koridor tol.

3.3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian disusun untuk memastikan seluruh tahapan penelitian dapat berjalan secara sistematis dan terarah. Setiap kegiatan direncanakan mengikuti alur metodologis mulai dari identifikasi masalah hingga penyusunan laporan akhir. Penjadwalan ini juga dibuat agar proses penelitian berlangsung efektif, efisien, dan sesuai dengan target penyelesaian tugas akhir. Adapun rincian waktu pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Waktu Penelitian

Kegiatan	Waktu Penelitian				
	Juli	Agustus	September	Oktober	November
Identifikasi Masalah					
Tinjauan Pustaka					
Tujuan Penelitian					
Pengumpulan Data					
Analisis Data					
Interpretasi Data					
Penyusunan Laporan					

Sumber : Kajian peneliti olah data 2025

Melalui pembagian waktu tersebut, setiap tahapan penelitian dapat dilaksanakan secara terstruktur sehingga menghasilkan analisis yang komprehensif. Keseluruhan rangkaian kegiatan ini diharapkan mendukung kelancaran proses penelitian, mulai dari perumusan masalah, pengumpulan dan analisis data, hingga penyusunan laporan akhir secara tepat waktu dan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.4 Teknik Pengambilan, Pengolahan dan Penyajian Data

Teknik pengolahan dan penyajian data merupakan tahapan penting dalam penelitian ini karena seluruh proses analisis bergantung pada kualitas, ketepatan format, dan kesesuaian struktur data yang digunakan. Tahapan ini mencakup proses pengolahan data citra satelit, data spasial, dan variabel turunannya sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif, spasial, dan temporal. Selain itu, penyajian data dilakukan secara sistematis agar pola perubahan aktivitas sosial-ekonomi di sekitar Jalan Tol Pandaan-Malang dapat diamati dan diinterpretasikan dengan jelas.

3.4.1 Pengambilan data

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui metode pengumpulan data sekunder. Seluruh data diperoleh dari sumber resmi dan platform terpercaya yang menyediakan data geospasial dengan cakupan wilayah luas serta konsistensi temporal. Data utama yang digunakan adalah data Night-Time Light (NTL) berbasis sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), yang merekam intensitas cahaya malam sebagai representasi aktivitas manusia.

Data VIIRS dikumpulkan untuk tiga tahun pengamatan, yaitu 2013, 2018, dan 2023, yang dipilih untuk merepresentasikan dinamika perubahan aktivitas sosial ekonomi wilayah secara temporal. Pemilihan ketiga tahun tersebut disesuaikan dengan kerangka waktu penelitian, di mana tahun 2013 merepresentasikan kondisi awal sebelum berkembangnya infrastruktur jalan tol secara signifikan, tahun 2018 menggambarkan fase transisi, dan tahun 2023 merepresentasikan kondisi terkini setelah jalan tol beroperasi.

Selain data NTL, penelitian ini juga menggunakan data batas administrasi wilayah dalam format shapefile sebagai data pendukung analisis spasial. Data batas administrasi digunakan sebagai dasar penentuan unit analisis wilayah serta sebagai acuan dalam proses pemotongan (clipping) data raster. Informasi titik lokasi gerbang tol dan jaringan jalan digunakan untuk menentukan wilayah kajian serta mendukung interpretasi spasial terhadap distribusi aktivitas di sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang.

3.4.1.1 Data VIIRS

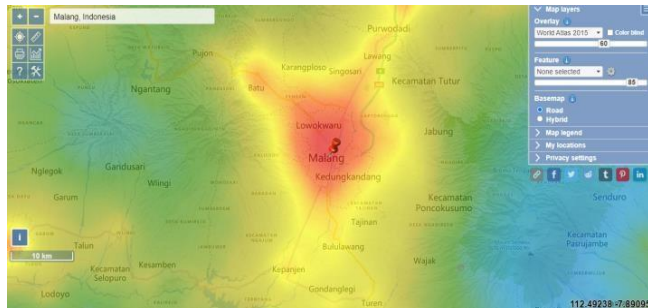
Data Night-Time Light diperoleh melalui platform lightpollutionmap.info yang dikelola oleh *Earth Observation Group (EOG)*, *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

Tabel 3. 3 Perbandingan Satelit Nighttime Light

No	Satelit / Produk	Periode Data	Resolusi Spasial	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
1	VIIRS (Suomi NPP & NOAA-20)	2012 – sekarang	± 500 m	- Resolusi lebih tinggi dari DMSP - Data stabil & akurat - Minim saturasi - Deteksi cahaya	- Data historis tidak sepanjang DMSP	Elvidge et al., 2017; NOAA VIIRS Documentation

No	Satelit / Produk	Periode Data	Resolusi Spasial	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
				skala kecil		
2	VIIRS Black Marble (NASA)	2012 – sekarang	± 500 m	- Sudah dikoreksi awan, bulan, atmosfer - Data lebih bersih & konsisten - Cocok untuk penelitian akademik	- Pengolahan lebih kompleks	NASA Black Marble Product (Román et al., 2018)
3	DMS P-OLS	1992 – 2013	± 1 km	- Data historis panjang - Digunakan luas di penelitian lama	- Resolusi rendah - Saturasi tinggi - Kurang akurat dibanding VIIRS	Elvidge et al., 2009; NOAA NGDC
4	Luoji a-1 (China)	2018 – sekarang	± 130 m	- Resolusi sangat tinggi - Detail spasial lebih baik	- Data terbatas - Belum banyak digunakan global	Jiang et al., 2019

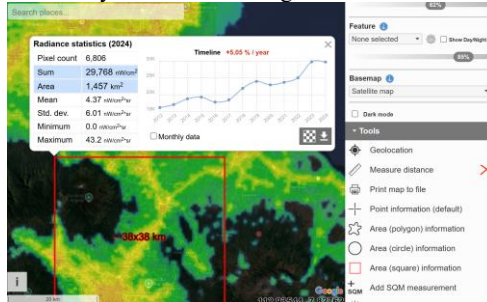
Sumber : Kajian Peneliti, 2026



Gambar 3. 1 Pengambilan Data NTL

Sumber : <https://www.lightpollutionmap.info>

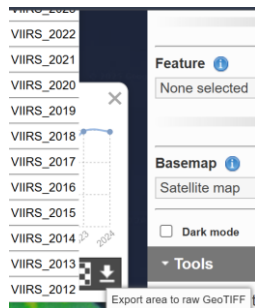
Pada tahap pengambilan data, peneliti menentukan tahun pengamatan yang sesuai dengan periode penelitian, kemudian memilih wilayah kajian menggunakan fitur pemilihan area (*area selection*) berdasarkan batas wilayah sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang.



Gambar 3. 2 Pengambilan Data VIIRS

Sumber : <https://www.lightpollutionmap.info>

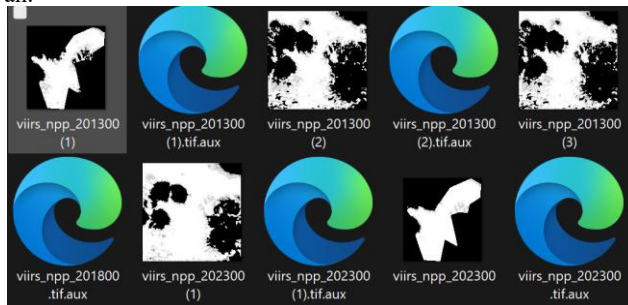
Setelah wilayah kajian ditentukan, data VIIRS diekspor dalam format GeoTIFF (.tif) agar dapat diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Format ini dipilih karena mampu mempertahankan informasi spasial dan nilai radiansi cahaya malam secara utuh.



Gambar 3. 3 Unduh VIIRS 2023, 2018, 2023

Sumber : <https://www.lightpollutionmap.info>

Data VIIRS yang telah diunduh selanjutnya disiapkan untuk tahap pengolahan dengan memastikan kesesuaian sistem koordinat dan cakupan wilayah.



Gambar 3. 4 VIIRS telah di Unduh

Sumber : <https://www.lightpollutionmap.info>

Data ini kemudian digunakan sebagai dasar analisis visual dan kuantitatif pada tahapan penelitian selanjutnya.

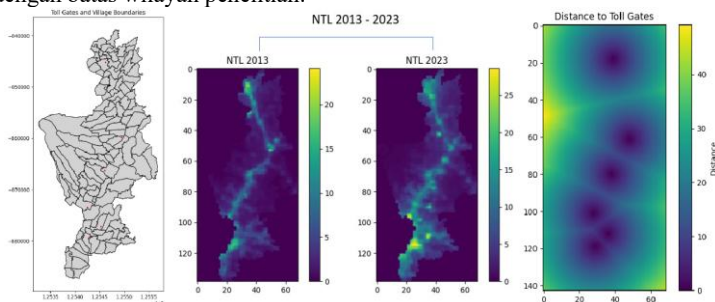
3.4.2 Pengolahan data

Pengolahan data merupakan tahapan awal yang dilakukan untuk memastikan seluruh data yang digunakan dalam penelitian berada dalam kondisi siap dianalisis secara spasial dan temporal. Tahapan ini mencakup pemeriksaan kesesuaian format data, penyesuaian sistem koordinat, serta penyusunan data spasial agar memiliki konsistensi antar periode pengamatan. Pengolahan data dilakukan terhadap data Night-Time Light (NTL), batas administrasi wilayah, dan titik lokasi gerbang tol sebagai dasar analisis selanjutnya.

Pada tahap awal, data Night-Time Light (VIIRS) yang telah diunduh masih berupa citra raster dengan cakupan wilayah yang luas. Oleh karena itu, dilakukan pemeriksaan sistem koordinat dan resolusi spasial agar sesuai

dan seragam dengan data batas administrasi wilayah. Penyesuaian ini diperlukan untuk memastikan bahwa data raster dan data vektor dapat diintegrasikan secara spasial tanpa terjadi pergeseran lokasi.

Selanjutnya, dilakukan proses ekstraksi data Night-Time Light (NTL) dengan cara memotong (clipping) citra VIIRS berdasarkan batas delineasi wilayah penelitian di sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang. Proses clipping bertujuan untuk menghilangkan area di luar wilayah kajian sehingga data NTL yang dihasilkan hanya merepresentasikan intensitas cahaya malam pada area yang relevan dengan tujuan penelitian. Hasil dari tahap ini berupa data NTL ter-ekstraksi yang telah sesuai secara spasial dengan batas wilayah penelitian.



Gambar 3. 5 Intensitas Cahaya Malam dengan batas administrasi kecamatan dan Kedekatan dengan Gerbang Tol

Sumber: Hasil olah data, 2025

Data batas administrasi kecamatan dan data titik lokasi gerbang tol kemudian dipersiapkan sebagai layer vektor pendukung. Selanjutnya dilakukan proses overlay antara data raster NTL dengan data vektor batas administrasi dan titik gerbang tol untuk menyusun basis data spasial yang terintegrasi. Tahap ini bertujuan untuk menyiapkan struktur data yang dapat digunakan dalam analisis berbasis wilayah administrasi dan zonasi jarak terhadap gerbang tol.

Sebagai bagian dari pengolahan data, dilakukan pula pemeriksaan konsistensi nilai radiansi cahaya malam antar tahun pengamatan untuk memastikan bahwa data dapat dibandingkan secara temporal. Seluruh data yang telah melalui tahapan pengolahan ini selanjutnya digunakan sebagai input dalam analisis spasial-temporal, perhitungan statistik zonal, analisis autokorelasi spasial, serta pemodelan dinamika aktivitas sosial ekonomi pada tahap penelitian berikutnya.

3.4.2.1 Pemeriksaan Data

Pemeriksaan data dilakukan untuk memastikan kelengkapan, kualitas, dan kesesuaian seluruh data yang diperoleh. Proses ini mencakup verifikasi citra *Night-Time Light* (NTL) tahun 2013, 2018, dan 2023,

pengecekan kelengkapan pixel, konsistensi nilai Digital Number (DN), serta kesesuaian sistem proyeksi. Data pendukung seperti batas administrasi, jaringan jalan, dan titik lokasi gerbang tol juga diperiksa untuk memastikan presisi koordinat. Pemeriksaan ini bertujuan agar data yang digunakan bebas dari kesalahan, outlier, serta sesuai dengan kebutuhan pemodelan spasial.

3.4.2.2 Transformasi Data

Transformasi data merupakan tahapan pengolahan yang dilakukan untuk memastikan bahwa data yang digunakan berada dalam format, skala, dan kondisi yang sesuai untuk dianalisis secara spasial dan temporal. Pada penelitian ini, transformasi data dilakukan terhadap citra *Night-Time Light* (NTL) agar dapat dibandingkan secara konsisten antar tahun pengamatan.

Data NTL yang diperoleh dari sensor VIIRS *Day/Night Band* (DNB) berupa data raster dengan nilai radiansi cahaya malam. Oleh karena itu, dilakukan penyesuaian sistem agar seluruh data berada pada sistem koordinat yang seragam. Selanjutnya, dilakukan proses pemotongan (*clipping*) citra NTL berdasarkan batas wilayah penelitian di sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang, sehingga data yang dianalisis hanya mencakup area kajian. Selain itu, dilakukan pemeriksaan konsistensi nilai radiansi antar tahun pengamatan untuk memastikan bahwa data NTL bersifat sebanding secara temporal. Proses transformasi ini bertujuan untuk mengurangi perbedaan teknis yang dapat memengaruhi hasil analisis serta memastikan bahwa perubahan yang teridentifikasi merepresentasikan dinamika aktivitas wilayah.

Hasil dari tahapan transformasi data berupa citra NTL yang telah terstandarisasi secara spasial dan temporal, yang selanjutnya digunakan sebagai input dalam tahapan analisis berikutnya.

3.4.2.3 Tabulasi Data

Tabulasi data dilakukan untuk menyusun hasil pengolahan data dalam bentuk tabel yang terstruktur dan sistematis. Tabulasi ini mencakup penyusunan nilai SUM dan MEAN *Night-Time Light* (NTL) per zona dan per wilayah administrasi, serta perhitungan perubahan nilai NTL antar periode pengamatan (2013-2018 dan 2018-2023). Penyusunan tabel bertujuan untuk mempermudah proses analisis deskriptif, analisis spasial, dan analisis temporal pada tahap selanjutnya. Dengan penyajian data yang terstruktur, perbandingan antar wilayah dan antar periode waktu dapat dilakukan secara lebih jelas dan konsisten.

3.4.3 Penyajian data

Penyajian data merupakan tahapan untuk menampilkan data hasil pengolahan dalam bentuk visual, numerik, dan spasial agar mudah dipahami serta siap digunakan pada tahap analisis. Data yang disajikan dalam penelitian ini meliputi *citra Night-Time Light* (NTL), data spasial wilayah, serta hasil pengolahan awal berupa nilai SUM, MEAN, dan perubahan nilai NTL (Δ DN), serta zonasi jarak terhadap Gerbang Tol Pandaan-Malang.

Penyajian data dilakukan secara sistematis dalam bentuk peta, tabel, grafik, dan uraian deskriptif.

3.4.3.1 Penyajian dalam bentuk Peta

Data yang berkaitan dengan lokasi dan distribusi spasial disajikan dalam bentuk peta tematik untuk memberikan gambaran keruangan wilayah penelitian. Peta yang disajikan meliputi:

1. Peta batas administrasi wilayah penelitian yang menampilkan batas kecamatan sebagai konteks lokasi kajian.
2. Peta lokasi Gerbang Tol Pandaan-Malang beserta jaringan jalan utama sebagai konteks infrastruktur transportasi.
3. Peta sebaran intensitas *Night-Time Light* (NTL) pada tahun 2013, 2018, dan 2023 untuk menggambarkan kondisi dan perubahan secara temporal.

Penyajian peta bertujuan untuk memberikan gambaran awal mengenai pola sebaran aktivitas wilayah secara spasial sebelum dilakukan analisis lanjutan..

3.4.3.2 Penyajian dalam bentuk Tabel

Tabel digunakan untuk menyajikan data numerik hasil pengolahan secara terstruktur dan sistematis. Tabel yang disajikan meliputi:

1. Tabel kebutuhan data dan sumber data penelitian.
2. Tabel nilai SUM dan MEAN *Night-Time Light* (NTL) per wilayah dan per tahun pengamatan.
3. Tabel perubahan nilai NTL (Δ DN) antar periode pengamatan (2013-2018 dan 2018-2023).

Penyajian tabel bertujuan untuk memudahkan perbandingan antar wilayah dan antar periode waktu sebagai dasar analisis deskriptif dan statistik pada tahap berikutnya.

3.4.3.3 Penyajian dalam bentuk Grafik

Grafik digunakan untuk menampilkan kecenderungan perubahan nilai NTL secara temporal. Grafik yang disajikan meliputi:

1. Grafik perubahan nilai SUM NTL antar periode pengamatan.
2. Grafik perubahan nilai MEAN NTL antar periode pengamatan.

Penyajian grafik bertujuan untuk memperjelas pola dan tren perubahan aktivitas wilayah dari waktu ke waktu.

3.4.3.4 Penyajian dalam bentuk Deskriptif

Penyajian deskriptif digunakan untuk memberikan uraian singkat terhadap data yang ditampilkan dalam bentuk peta, tabel, dan grafik. Uraian deskriptif ini berfungsi untuk menjelaskan karakteristik umum data serta hubungan antar elemen visualisasi tanpa melakukan penafsiran analitis yang mendalam. Dengan demikian, penyajian deskriptif berperan sebagai pengantar menuju tahap analisis spasial dan temporal pada bab selanjutnya.

3.5 Metode Analisis

Metode analisis dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan memprediksi perubahan aktivitas sosial-ekonomi di kawasan

sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang berdasarkan data *Night-Time Light* (NTL). Analisis dilakukan dengan pendekatan kuantitatif, spasial, dan temporal untuk menangkap dinamika aktivitas wilayah dari tahun 2013 hingga 2023 serta memproyeksikan perkembangan aktivitas hingga tahun 2040. Metode analisis yang digunakan terdiri dari analisis statistik zonal, regresi linear, analisis spasial LISA, serta pemodelan prediktif berbasis *machine learning*.

3.5.1 Analisis Statistik Zonal

Analisis Statistik Zonal digunakan untuk mengekstraksi dan merangkum nilai intensitas cahaya malam dari data raster NTL ke dalam satuan wilayah administrasi dan zona jarak terhadap gerbang tol. Metode ini mengintegrasikan data raster NTL dengan data vektor batas wilayah sehingga informasi numerik dari citra cahaya malam dapat dianalisis secara spasial.

Dalam penelitian ini, Statistik Zonal digunakan untuk menghitung nilai Akumulasi dan Intensitas NTL pada setiap zona analisis untuk tahun 2013, 2018, dan 2023. Nilai SUM merepresentasikan akumulasi total intensitas cahaya malam yang mencerminkan besaran aktivitas secara keseluruhan, sedangkan nilai MEAN menggambarkan tingkat intensitas atau kepadatan aktivitas rata-rata dalam suatu wilayah. Hasil perhitungan statistik zonal selanjutnya digunakan sebagai data deret waktu (time series) untuk menganalisis perubahan aktivitas sosial-ekonomi antarperiode pengamatan..

3.5.2 Analisis Regresi Linear

Analisis regresi linear digunakan untuk menguji hubungan antara perubahan intensitas cahaya malam dengan faktor temporal dan spasial di kawasan sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang. Regresi linear bertujuan untuk mengetahui arah dan kekuatan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen secara kuantitatif.

Dalam penelitian ini, variabel dependen berupa nilai SUM NTL dan MEAN NTL, sedangkan variabel independen meliputi faktor waktu (tahun pengamatan) dan zonasi jarak terhadap gerbang tol. Analisis regresi dilakukan untuk melihat apakah perubahan nilai intensitas cahaya malam menunjukkan kecenderungan peningkatan atau penurunan yang signifikan secara statistik. Hasil regresi linear digunakan sebagai dasar pembentukan model perubahan aktivitas sosial-ekonomi secara kuantitatif sebelum dilakukan analisis spasial lanjutan

3.5.3 Analisis LISA (Indikator Lokal Asosiasi Spasial)

Analisis *Local Indicators of Spatial Association* (LISA) digunakan untuk mengidentifikasi pola keterkaitan spasial dan pengelompokan aktivitas sosial-ekonomi secara lokal. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai intensitas aktivitas pada suatu wilayah memiliki hubungan spasial yang signifikan dengan wilayah di sekitarnya.

Dalam penelitian ini, analisis LISA diterapkan pada nilai SUM NTL dan MEAN NTL hasil statistik zonal untuk masing-masing tahun pengamatan (2013, 2018, dan 2023). Data tersebut dianalisis menggunakan pembobotan spasial untuk membentuk hubungan ketetanggaan antarwilayah. Keluaran analisis LISA berupa *Moran Scatter Plot*, *Cluster Map*, dan *Significance Map* yang digunakan untuk mengidentifikasi pola kluster aktivitas sosial-ekonomi secara spasial.

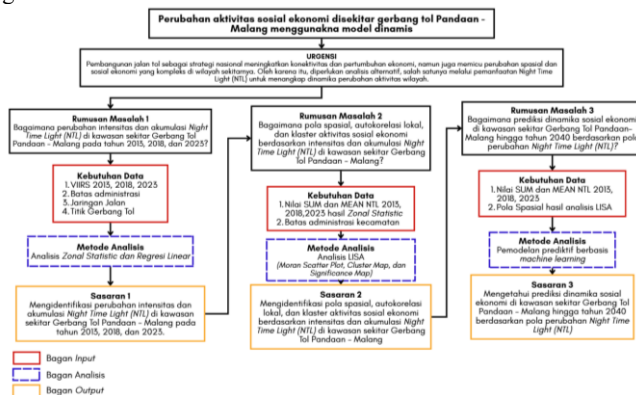
3.5.4 Analisis Prediksi Dinamika aktivitas berbasis *Machine Learning*

Analisis prediksi digunakan untuk memproyeksikan dinamika aktivitas sosial-ekonomi kawasan sekitar Gerbang Tol Pandaan-Malang hingga tahun 2040. Prediksi dilakukan dengan memanfaatkan data historis *Night-Time Light* (NTL) sebagai proksi aktivitas sosial-ekonomi yang bersifat multitemporal.

Metode machine learning yang digunakan dalam penelitian ini adalah Random Forest Regression. Model ini dibangun menggunakan variabel input berupa nilai historis SUM NTL, MEAN NTL, serta perubahan nilai intensitas cahaya malam (Δ DN) antarperiode pengamatan. Random Forest dipilih karena kemampuannya menangkap hubungan non-linear dan interaksi kompleks antarvariabel spasial dan temporal. Hasil pemodelan ini berupa estimasi intensitas NTL di masa mendatang yang merepresentasikan proyeksi dinamika aktivitas sosial-ekonomi wilayah hingga tahun 2040.

3.6 Kerangka Kerja

Kerangka kerja penelitian ini disusun untuk menggambarkan alur berpikir digunakan dalam menganalisis hubungan antara pembangunan infrastruktur jalan tol dengan perubahan aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat di wilayah sekitarnya. Alur penelitian dijelaskan secara rinci pada gambar.



Gambar 3. 6 Kerangka Kerja

Sumber : Olah Data, 2025