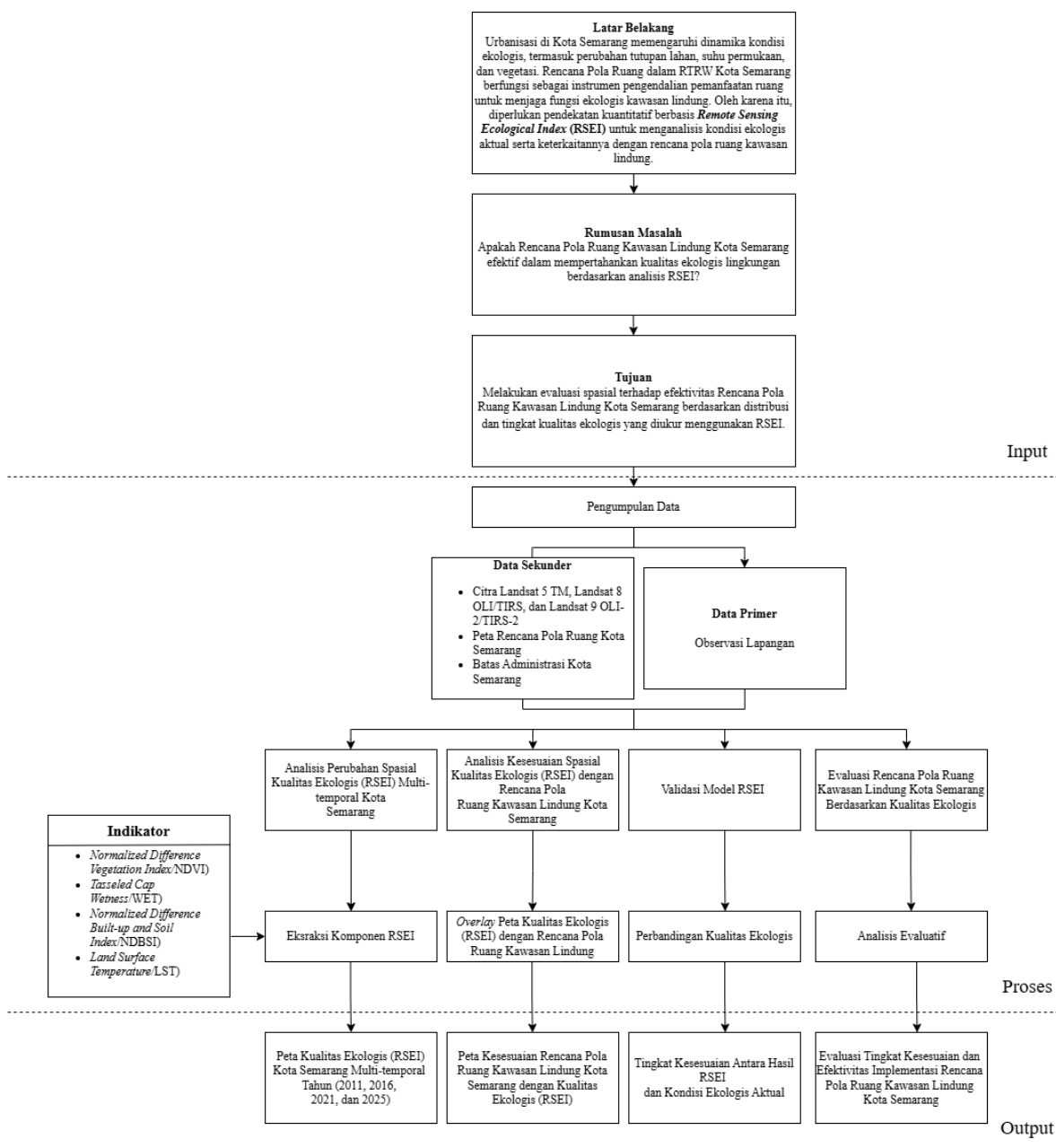


BAB 2 KONSEP PERENCANAAN

2.1 Kerangka Konsep Perencanaan

Kerangka konsep penelitian ini menggambarkan alur logis antara latar belakang, rumusan masalah, tujuan, pengumpulan data, analisis serta output yang diharapkan. Bagan konsep perencanaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 2. 1 Bagan Konsep Perencanaan Penelitian

Kerangka konsep perencanaan penelitian ini disusun berdasarkan adaptasi metodologi *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) yang dikembangkan oleh (Xu *et al.*,

2018) untuk menilai kualitas lingkungan secara kuantitatif menggunakan data penginderaan jauh dan analisis spasial. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang dalam mempertahankan kualitas ekologis wilayah. Penelitian berangkat dari dinamika urbanisasi di Kota Semarang yang memengaruhi kondisi biofisik permukaan lahan, seperti perubahan vegetasi, kelembapan, suhu permukaan, dan intensitas lahan terbangun. RTRW berfungsi sebagai instrumen pengendalian pemanfaatan ruang untuk menjaga fungsi ekologis kawasan lindung. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran kuantitatif terhadap kondisi ekologis aktual untuk menilai keselarasan antara rencana normatif dan realitas spasial di lapangan.

Kualitas ekologis dalam penelitian ini dimaknai sebagai kondisi biofisik permukaan lahan yang dapat direkam oleh sensor satelit, bukan kualitas ekosistem secara biologis mendalam. Pengukuran dilakukan melalui integrasi empat indikator, yaitu NDVI (vegetasi), WET (kelembapan), NDBSI (kekeringan/lahan terbangun), dan LST (suhu permukaan), yang diolah menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA) untuk menghasilkan nilai RSEI dalam rentang 0–1. Alur penelitian dimulai dari pengumpulan data sekunder berupa citra Landsat multi-temporal, peta RPR Kawasan Lindung, dan batas administrasi Kota Semarang, serta data primer melalui observasi lapangan. Selanjutnya dilakukan Analisis Perubahan Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang, yang menghasilkan peta sebaran dan tren perubahan kualitas ekologis pada empat periode (2011, 2016, 2021, dan 2026). Tahap ini bertujuan mengidentifikasi dinamika kualitas ekologis secara spasial dan temporal.

Tahap berikutnya adalah Analisis Kesesuaian Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) dengan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang, yang dilakukan melalui teknik overlay antara peta RSEI terklasifikasi dan peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung untuk menilai tingkat keselarasan antara kondisi ekologis aktual dan fungsi ruang yang direncanakan dalam RTRW. Untuk memastikan keandalan hasil klasifikasi, dilakukan validasi model RSEI melalui perbandingan antara kelas kualitas ekologis hasil RSEI dengan kondisi biofisik aktual yang diamati di lapangan pada kawasan lindung. Proses ini bertujuan menilai tingkat kesesuaian antara hasil analisis spasial dengan kondisi ekologis sebenarnya.

Tahap akhir adalah Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis, yang merupakan sintesis dari hasil perubahan spasial dan tingkat kesesuaian ekologis. Evaluasi dilakukan secara deskriptif–interpretatif untuk menilai efektivitas implementasi pola ruang kawasan lindung dalam mendukung kualitas ekologis wilayah. Melalui kerangka konsep ini, penelitian menghasilkan evaluasi berbasis bukti

spasial mengenai hubungan antara dinamika biofisik permukaan lahan dan kebijakan tata ruang, sehingga dapat memberikan gambaran empiris mengenai efektivitas pola ruang kawasan lindung di Kota Semarang.

2.2 Kajian Teori

2.2.1 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) adalah rencana tata ruang yang bersifat umum dari wilayah kabupaten/kota, yang merupakan penjabaran dari Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi, dan berisi tujuan, kebijakan, strategi penataan ruang wilayah, rencana struktur ruang, rencana pola ruang, penetapan kawasan strategis, arahan pemanfaatan ruang, dan ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang (Pemerintah Republik Indonesia, 2007). RTRW memiliki fungsi utama sebagai instrumen normatif yang mengatur alokasi ruang untuk berbagai kegiatan pembangunan sekaligus memberikan perlindungan terhadap kawasan-kawasan yang memiliki fungsi ekologis penting. Selain itu, Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang menegaskan bahwa RTRW kabupaten/kota disusun untuk jangka waktu 20 tahun dan wajib ditinjau kembali paling sedikit satu kali dalam lima tahun guna menyesuaikan dengan dinamika perkembangan wilayah. RTRW juga berfungsi sebagai pedoman dalam penyusunan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah (RPJPD), Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), pemanfaatan ruang, serta pengendalian pemanfaatan ruang di wilayah kabupaten/kota. Dengan demikian, RTRW berperan dalam mewujudkan keterpaduan, keterkaitan, dan keseimbangan pembangunan antar sektor serta menjaga keberlanjutan pemanfaatan ruang wilayah (Pemerintah Indonesia, 2021).

2.2.2 Rencana Pola Ruang (RPR) dan Kawasan Lindung (KL)

Rencana Pola Ruang (RPR) adalah rencana distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukan ruang untuk fungsi budidaya (Pemerintah Indonesia, 2021). RPR merupakan salah satu muatan wajib dalam RTRW yang berfungsi sebagai arahan fungsional pemanfaatan ruang, memisahkan alokasi ruang menjadi Kawasan Lindung (KL) dan Kawasan Budidaya (KB). Kawasan Lindung didefinisikan sebagai wilayah yang ditetapkan dengan fungsi utama melindungi kelestarian lingkungan hidup yang mencakup sumber daya alam, sumber daya buatan, dan nilai sejarah serta budaya bangsa guna kepentingan pembangunan berkelanjutan (Pemerintah Indonesia, 2021). Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008

tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional, proporsi luas kawasan lindung pada tingkat nasional ditetapkan minimal 30% dari luas Daerah Aliran Sungai (DAS), yang terdiri dari kawasan hutan lindung dan kawasan resapan air (Pemerintah Republik Indonesia, 2008). Kawasan lindung kota/kabupaten dapat berupa: (1) kawasan yang memberikan perlindungan terhadap kawasan bawahannya, meliputi kawasan hutan lindung, kawasan bergambut, dan kawasan resapan air; (2) kawasan perlindungan setempat, meliputi sempadan pantai, sempadan sungai, kawasan sekitar danau/waduk, kawasan sekitar mata air, dan kawasan lindung spiritual/kearifan lokal; (3) kawasan suaka alam, pelestarian alam, dan cagar budaya; (4) kawasan rawan bencana alam; serta (5) kawasan lindung geologi dan kawasan lindung lainnya (Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, 2024).

2.2.3 Kualitas Ekologis Lingkungan (*Ecological Environmental Quality/EEQ*)

Kualitas Ekologis Lingkungan (*Ecological Environmental Quality/EEQ*) adalah kondisi komprehensif yang mencerminkan kesehatan ekosistem dan kesesuaiannya untuk kelangsungan hidup manusia serta pembangunan sosial-ekonomi yang berkelanjutan (Guo *et al.*, 2024). EEQ tidak hanya mengukur aspek biofisik seperti tutupan vegetasi atau kualitas air, tetapi juga mencakup interaksi kompleks antara komponen abiotik (tanah, air, udara, iklim) dan biotik (flora, fauna, mikroorganisme) dalam suatu ekosistem, serta dampak tekanan antropogenik terhadap keseimbangan ekosistem tersebut (Xu *et al.*, 2018). Dalam konteks perkotaan, EEQ menjadi indikator krusial untuk menilai keberlanjutan pembangunan, karena urbanisasi intensif cenderung memicu degradasi lingkungan melalui konversi lahan alami, peningkatan permukaan kedap air (*impervious surface*), fragmentasi habitat, dan peningkatan suhu permukaan perkotaan (*urban heat island effect*) (Lu *et al.*, 2025). Penurunan EEQ berdampak langsung pada penurunan kualitas hidup masyarakat perkotaan melalui berbagai jalur, seperti penurunan kualitas udara, kelangkaan air bersih, peningkatan risiko banjir, dan hilangnya layanan ekosistem penting seperti regulasi iklim mikro dan penyediaan ruang hijau untuk rekreasi (Meng *et al.*, 2024).

2.2.4 Pendekatan Pemantauan Kualitas Ekologis

Metode tradisional untuk menilai kualitas ekologis umumnya mengandalkan survei lapangan dan pengukuran parameter individual seperti indeks biodiversitas, kualitas air, atau tutupan vegetasi. Meskipun akurat pada skala lokal, pendekatan ini memiliki keterbatasan signifikan: (1) bersifat *labor-intensive* dan *time-consuming*, (2) sulit diterapkan pada skala regional atau *landscape*, (3) memiliki konsistensi temporal yang rendah karena bergantung pada kondisi saat pengukuran, dan (4) rentan terhadap bias subjektif dalam pemilihan lokasi

sampling dan interpretasi data (Zhang *et al.*, 2024). Perkembangan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) telah membuka peluang baru untuk pemantauan kualitas ekologis secara objektif, konsisten, dan berskala luas. Penginderaan jauh mampu memberikan cakupan spasial yang luas, data *real-time* atau *near-real-time*, konsistensi temporal melalui pengamatan berkala, serta kemampuan untuk menghasilkan data *multi-spektral* yang dapat diekstraksi menjadi berbagai indikator ekologis (Lu *et al.*, 2025). Pendekatan ini sangat relevan untuk wilayah perkotaan yang mengalami perubahan dinamis dan memerlukan monitoring berkelanjutan untuk mendukung pengambilan keputusan perencanaan dan pengelolaan lingkungan.

2.2.5 Konsep dan Kerangka Kerja *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI)

Remote Sensing Ecological Index (RSEI) adalah kerangka kerja yang dikembangkan oleh (Xu *et al.*, 2018) sebagai metode objektif untuk menilai kualitas ekologis lingkungan berdasarkan data penginderaan jauh. RSEI mengintegrasikan empat indikator ekologis utama yang merepresentasikan kondisi komprehensif suatu ekosistem: kehijauan (*greenness*), kelembapan (*wetness*), kekeringan (*dryness*), dan panas (*heat*). Keempat indikator ini dipilih karena secara kolektif mampu menangkap dimensi-dimensi utama yang memengaruhi kualitas ekologis, yaitu vitalitas vegetasi, ketersediaan air, tingkat degradasi lahan, dan tekanan urbanisasi (Xu *et al.*, 2018). Keunggulan utama RSEI terletak pada penggunaan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mengintegrasikan keempat indikator menjadi satu indeks komprehensif. Metode PCA memberikan pembobotan objektif berdasarkan kontribusi varians masing-masing indikator, sehingga menghilangkan bias subjektif yang sering muncul dalam metode pembobotan manual seperti *Analytical Hierarchy Process* (AHP) atau *weighted overlay*. Selain itu, RSEI dapat dengan mudah direplikasi dan dibandingkan antar wilayah atau periode waktu karena menggunakan standar metodologi yang konsisten (Meng *et al.*, 2024).

2.2.6 Komponen RSEI

a. Greenness (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*)

NDVI adalah indeks yang paling banyak digunakan untuk mengukur kehijauan dan vitalitas vegetasi. NDVI memanfaatkan perbedaan reflektansi antara band *near-infrared* (NIR) dan band merah (*red*), di mana vegetasi sehat memiliki reflektansi NIR yang tinggi dan reflektansi merah yang rendah karena absorpsi klorofil. NDVI dihitung melalui formula:

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

Keterangan:

- ρ_{NIR} = Reflektansi band *Near Infrared*
- ρ_{red} = Reflektansi band *Red* (Merah)

Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai negatif umumnya menunjukkan badan air, nilai mendekati 0 menunjukkan tanah terbuka atau area terbangun, dan nilai positif tinggi (>0,6) menunjukkan vegetasi yang sehat dan rapat (Lu *et al.*, 2025).

b. Wetness (WET - Tasseled Cap Wetness)

Wetness Index atau *Tasseled Cap Wetness* adalah transformasi linier dari *multiple bands* yang mengukur kelembapan permukaan dengan mengintegrasikan kelembapan dari air permukaan, tanah, dan vegetasi. Berbeda dengan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) yang hanya mendeteksi air permukaan, WET memiliki sensitivitas lebih tinggi terhadap kelembapan tanah dan vegetasi, sehingga lebih komprehensif dalam menggambarkan kondisi hidrologi suatu area (Jiang *et al.*, 2019). Formula WET adalah:

A. Formula WET untuk Landsat 5 TM dan Landsat 7 ETM+

$$WET = 0.0315\rho_{\{blue\}} + 0.2021\rho_{\{green\}} + 0.3102\rho_{\{red\}} + 0.1594\rho_{\{NIR\}} \\ - 0.6806\rho_{\{SWIR1\}} - 0.6109\rho_{\{SWIR2\}}$$

B. Formula WET untuk Landsat 8 OLI dan Landsat 9 OLI-2

$$WET_{OLI} = 0.1511\rho_{\{blue\}} + 0.1972\rho_{\{green\}} + 0.3283\rho_{\{red\}} + 0.3407\rho_{\{NIR\}} \\ - 0.7117\rho_{\{SWIR1\}} - 0.4559\rho_{\{SWIR2\}}$$

Keterangan:

- $\rho_{\{blue\}}$ = Reflektansi band *Blue* (biru)
- $\rho_{\{green\}}$ = Reflektansi band *Green* (hijau)
- $\rho_{\{red\}}$ = Reflektansi band *Red* (merah)
- $\rho_{\{NIR\}}$ = Reflektansi band *Near Infrared*
- $\rho_{\{SWIR1\}}$ = Reflektansi band *Shortwave Infrared 1*
- $\rho_{\{SWIR2\}}$ = Reflektansi band *Shortwave Infrared 2*

Nilai WET yang tinggi mengindikasikan kelembaban yang baik, yang penting untuk fungsi ekosistem seperti regulasi hidrologi, ketersediaan air bagi vegetasi, dan habitat untuk biodiversitas akuatik (Xu *et al.*, 2018).

c. Dryness (NDBSI - *Normalized Difference Built-up and Soil Index*)

NDBSI adalah indeks komposit yang mengombinasikan *Built-up Index* (IBI) dan *Soil Index* (SI) untuk mendeteksi kekeringan dan ekspansi area terbangun. NDBSI dihitung melalui formula:

i. Rumus Umum

$$NDBSI = \frac{(SI + IBI)}{2}$$

ii. Rumus *Soil Index* (SI)

$$SI = \frac{[(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) - (\rho_{blue} + \rho_{NIR})]}{[(\rho_{SWIR1} + \rho_{red}) + (\rho_{blue} + \rho_{NIR})]}$$

iii. Rumus *Index-based Built-up Index* (IBI)

$$IBI = \frac{\left[2 \times \left(\frac{\rho_{SWIR1}}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR})} \right) \right] - \left[\left(\frac{\rho_{NIR}}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \right) + \left(\frac{\rho_{green}}{(\rho_{green} + \rho_{SWIR1})} \right) \right]}{\left[2 \times \left(\frac{\rho_{SWIR1}}{(\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR})} \right) \right] + \left[\left(\frac{\rho_{NIR}}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \right) + \left(\frac{\rho_{green}}{(\rho_{green} + \rho_{SWIR1})} \right) \right]}$$

Keterangan:

- ρ_{blue} = Reflektansi band *Blue* (biru)
- ρ_{green} = Reflektansi band *Green* (hijau)
- ρ_{red} = Reflektansi band *Red* (merah)
- ρ_{NIR} = Reflektansi band *Near Infrared*
- ρ_{SWIR1} = Reflektansi band *Shortwave Infrared 1*

IBI mengidentifikasi area terbangun (bangunan, jalan, infrastruktur) berdasarkan karakteristik reflektansi materialnya, sementara SI mengidentifikasi tanah terbuka yang rentan terhadap erosi dan degradasi. NDBSI berkorelasi negatif dengan kualitas ekologis karena ekspansi area terbangun dan tanah terbuka umumnya menunjukkan degradasi ekosistem alami dan peningkatan tekanan antropogenik (Xu *et al.*, 2018).

d. *Heat (LST - Land Surface Temperature)*

LST adalah suhu permukaan tanah yang diukur dari radiasi termal yang dipancarkan oleh permukaan bumi. LST dihitung dari band termal Landsat melalui formula:

$$LST = \frac{K_2}{\ln((\varepsilon \times K_1 / L\lambda) + 1)}$$

LST merupakan suhu permukaan tanah yang dinyatakan dalam satuan Kelvin. Nilai K_1 dan K_2 merupakan konstanta kalibrasi termal yang diperoleh dari metadata citra Landsat. Simbol $L\lambda$ menunjukkan nilai radiansi spektral pada band termal, sedangkan ε merupakan emisivitas permukaan yang menggambarkan kemampuan permukaan bumi dalam memancarkan energi termal. Sementara itu, \ln menyatakan logaritma natural yang digunakan dalam proses perhitungan suhu permukaan berdasarkan persamaan tersebut. LST yang tinggi di area perkotaan mengindikasikan *Urban Heat Island (UHI) effect*, yang disebabkan oleh konsentrasi permukaan kedap air, berkurangnya vegetasi, dan peningkatan aktivitas antropogenik. LST berkorelasi negatif dengan kualitas ekologis karena suhu permukaan yang ekstrem dapat menurunkan kenyamanan termal, meningkatkan konsumsi energi untuk pendinginan, dan mempengaruhi kesehatan ekosistem (Meng *et al.*, 2024).

e. *Integrasi RSEI melalui Principal Component Analysis (PCA)*

Dalam pembentukan *Remote Sensing Ecological Index (RSEI)*, metode *Principal Component Analysis (PCA)* digunakan untuk mengintegrasikan beberapa indikator ekologis menjadi satu indeks komposit yang merepresentasikan kondisi kualitas ekologis wilayah. Metode ini mentransformasi variabel-variabel yang saling berkorelasi menjadi beberapa komponen utama yang bersifat independen sehingga mampu merangkum informasi utama dari setiap indikator (Jolliffe *et al.*, 2016). Dalam RSEI, PCA digunakan untuk mengintegrasikan empat indikator ekologis utama, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, *Wetness Index (WET)*, *Normalized Difference Bare Soil Index (NDBSI)*, dan *Land Surface Temperature (LST)* menjadi satu indeks yang lebih komprehensif (Xu *et al.*, 2018).

Penggunaan PCA dalam RSEI memiliki keunggulan karena mampu mengatasi korelasi yang tinggi antarindikator serta menghasilkan pembobotan yang lebih objektif berdasarkan kontribusi varians masing-masing indikator terhadap sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, integrasi indikator tidak dilakukan melalui pembobotan

subjektif, tetapi berdasarkan hubungan statistik antarvariabel yang terbentuk dari data. Setelah keempat indikator (NDVI, WET, NDBSI, dan LST) diekstraksi dari citra satelit dan dinormalisasi ke dalam rentang nilai 0–1, proses integrasi kemudian dilakukan melalui tahapan PCA sebagai berikut.

i. Normalisasi

Normalisasi dilakukan menggunakan metode *min-max normalization* untuk menghasilkan rentang nilai yang seragam:

$$NDVI_{norm} = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

$$WET_{norm} = \frac{WET - WET_{min}}{WET_{max} - WET_{min}}$$

$$NDBSI_{norm} = 1 - \frac{NDBSI - NDBSI_{min}}{NDBSI_{max} - NDBSI_{min}}$$

$$LST_{norm} = 1 - \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}}$$

Keterangan:

Indikator NDBSI dan LST dibalik (inversi) karena memiliki korelasi negatif terhadap kualitas ekologis, semakin tinggi nilainya, semakin rendah kualitas lingkungan.

ii. Konstruksi Matriks Korelasi

Pada tahap ini, dibentuk matriks korelasi (R) dari keempat indikator ekologis ternormalisasi (NDVI, WET, NDBSI, dan LST) untuk mengidentifikasi hubungan linier antar variabel. Korelasi antar variabel dihitung menggunakan rumus:

$$R = [r_{ij}] \text{ dimana } r_{ij} = \frac{cov(X_i, X_j)}{\sigma_i \times \sigma_j}$$

Hasil matriks korelasi ini menjadi dasar dalam proses ekstraksi komponen utama.

iii. Ekstraksi Komponen Utama

Proses *Principal Component Analysis* (PCA) dilakukan dengan menghitung eigenvalue (λ) dan eigenvector (v) dari matriks korelasi melalui metode dekomposisi spektral, dengan persamaan:

$$R \times v = \lambda \times v$$

Komponen utama pertama (PC_1) dipilih karena memiliki nilai eigen terbesar dan menjelaskan proporsi varians tertinggi (biasanya 70–85%) dari total varians seluruh indikator ekologis.

iv. Perhitungan Nilai RSEI

Setelah nilai eigen dan eigenvector diperoleh, dilakukan perhitungan nilai awal RSEI ($RSEI_0$) melalui kombinasi linier dari empat indikator ekologis ternormalisasi. Masing-masing indikator diberi bobot sesuai nilai eigenvector PC_1 menggunakan persamaan:

$$RSEI_0 = w_1 \times NDVI_{norm} + w_2 \times WET_{norm} + w_3 \times NDBSI_{norm} + w_4 \times LST_{norm}$$

Keterangan:

w_1, w_2, w_3, w_4 = koefisien eigenvector PC_1 untuk masing-masing indikator.

v. Normalisasi Akhir RSEI

Nilai $RSEI_0$ kemudian dinormalisasi kembali ke rentang 0–1 untuk memudahkan interpretasi spasial dan klasifikasi kondisi ekologis. Proses normalisasi akhir dilakukan dengan rumus:

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0min}}{RSEI_{0max} - RSEI_{0min}}$$

vi. Representasi RSEI

Secara matematis, keseluruhan proses integrasi indikator ekologis melalui PCA dapat direpresentasikan sebagai:

$$RSEI = f(NDVI, WET, NDBSI, LST) = Norm(PC1)$$

Keterangan:

- $PC1$ = komponen utama pertama hasil PCA
- $Norm()$ = proses normalisasi ke skala 0–1
- $f()$ = fungsi integrasi antar variabel ekologis

2.2.7 Klasifikasi Kualitas Ekologis Berdasarkan RSEI

Untuk memudahkan interpretasi dan analisis spasial, nilai RSEI yang berkisar antara 0–1 perlu diklasifikasikan menjadi kategori-kategori kualitas ekologis yang lebih mudah dipahami. Klasifikasi 5 tingkat merupakan pendekatan yang paling umum digunakan karena

sederhana, mudah diinterpretasikan, dan mampu menggambarkan kondisi ekologis secara jelas. Klasifikasi kualitas ekologis berdasarkan RSEI pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kualitas Ekologis Berdasarkan RSEI

| Tingkat | Rentang Nilai RSEI | Kategori Kualitas Ekologis | Deskripsi |
|----------------|---------------------------|-----------------------------------|---|
| 1 | 0,00 – 0,20 | <i>Poor</i> (Sangat Buruk) | Kondisi ekologis sangat terdegradasi; didominasi lahan terbangun padat, vegetasi minim, suhu permukaan tinggi, kelembapan rendah. |
| 2 | 0,20 – 0,40 | <i>Fair</i> (Buruk) | Kondisi ekologis terdegradasi; tekanan urbanisasi tinggi, fragmentasi habitat signifikan. |
| 3 | 0,40 – 0,60 | <i>Moderate</i> (Sedang) | Kondisi ekologis sedang; campuran area terbangun dan vegetasi, memerlukan pengendalian agar tidak menurun. |
| 4 | 0,60 – 0,80 | <i>Good</i> (Baik) | Kondisi ekologis baik; vegetasi cukup, suhu terkontrol, kelembapan memadai. |
| 5 | 0,80 – 1,00 | <i>Excellent</i> (Sangat Baik) | Kondisi ekologis sangat baik; ekosistem alami terpelihara, vegetasi rapat, fungsi ekologis optimal. |

Sumber: (Xu et al., 2018).

Berdasarkan Tabel 2.1, nilai *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai indeks (mendekati 1), semakin baik kondisi ekologis suatu wilayah. Rentang 0,00–0,40 menunjukkan kualitas lingkungan yang rendah yang umumnya didominasi oleh lahan terbangun, suhu permukaan tinggi, serta tutupan vegetasi yang minim. Sebaliknya, rentang 0,60–1,00 menggambarkan wilayah dengan kondisi ekologis yang relatif baik hingga sangat baik, yang ditandai dengan dominasi vegetasi, suhu permukaan yang lebih rendah, dan kelembapan lingkungan yang lebih stabil. Sementara itu, kategori sedang (0,40–0,60) berperan sebagai zona transisi yang menunjukkan kondisi ekologis menengah antara kawasan terbangun dan kawasan dengan vegetasi yang masih baik. Wilayah pada kategori ini penting untuk diperhatikan karena berpotensi mengalami peningkatan maupun penurunan kualitas ekologis tergantung pada intensitas tekanan pembangunan dan pengelolaan lingkungan.

2.2.8 Efektivitas Kawasan Lindung

Efektivitas kawasan lindung merupakan ukuran keberhasilan suatu kawasan dalam menjalankan fungsi perlindungan lingkungan, khususnya dalam mempertahankan kualitas ekologis wilayah dari tekanan pembangunan. Dalam kajian berbasis penginderaan jauh, efektivitas kawasan lindung umumnya dievaluasi melalui perbandingan kondisi ekologis di dalam dan di luar kawasan lindung (*inside–outside approach*), karena penilaian yang hanya berfokus pada kondisi internal kawasan belum cukup untuk menunjukkan keberhasilan perlindungan tanpa adanya pembanding (Gu *et al.*, 2020; Gu *et al.*, 2020). Dalam penelitian ini, efektivitas diukur menggunakan indikator utama berupa persentase luas kawasan lindung yang memiliki kualitas ekologis baik hingga sangat baik berdasarkan nilai *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI), yang dihitung dari perbandingan luas kawasan dengan kualitas ekologis baik terhadap total luas kawasan lindung.

Hingga saat ini belum terdapat regulasi khusus yang secara eksplisit mengatur klasifikasi tingkat efektivitas kawasan lindung berbasis kualitas ekologis. Oleh karena itu, penelitian ini mengadaptasi pendekatan interpretasi persentase dari Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala BPN Nomor 9 Tahun 2017 tentang Pedoman Pemantauan dan Evaluasi Pemanfaatan Ruang. Peraturan tersebut pada dasarnya digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian pemanfaatan ruang terhadap RTRW, sehingga dalam penelitian ini rentang persentase tersebut digunakan sebagai pendekatan interpretatif untuk menggambarkan tingkat keberhasilan kawasan lindung dalam mempertahankan fungsi ekologisnya. Dengan demikian, kategori yang digunakan bukan merupakan klasifikasi resmi efektivitas kawasan lindung, melainkan adaptasi interpretatif berdasarkan pendekatan evaluasi pemanfaatan ruang. Nilai persentase tersebut kemudian diinterpretasikan dengan mengacu pada Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala BPN Nomor 9 Tahun 2017 yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 Kategori Efektivitas Kawasan Lindung

| Persentase | Interpretasi Kategori Efektivitas |
|-----------------|---|
| $\geq 80\%$ | Implementasi perlindungan ekologis berjalan optimal |
| $50\% - < 80\%$ | Implementasi perlindungan ekologis cukup optimal namun masih memerlukan penguatan |
| $< 50\%$ | Implementasi perlindungan ekologis belum optimal |

Sumber: (Pemerintah Indonesia, 2017)

Selain itu, untuk memperkuat penilaian, dilakukan perbandingan nilai rata-rata RSEI antara kawasan lindung dan kawasan budidaya secara temporal, di mana kawasan lindung dikatakan efektif apabila memiliki nilai RSEI yang lebih tinggi dan menunjukkan tren yang stabil atau meningkat dibandingkan dengan kawasan budidaya. Perbedaan atau selisih nilai antara kedua kawasan digunakan sebagai indikator kemampuan kawasan lindung dalam membedakan kualitas ekologis wilayah, di mana selisih yang bernilai positif menunjukkan bahwa kawasan lindung memiliki kondisi ekologis yang lebih baik dibandingkan dengan kawasan nonlindung. Pendekatan berbasis selisih ini sejalan dengan berbagai studi efektivitas kawasan lindung yang menggunakan perbandingan kondisi di dalam dan di luar kawasan sebagai dasar evaluasi, di mana perbedaan kondisi ekologis yang lebih baik di dalam kawasan lindung diinterpretasikan sebagai indikasi keberhasilan dalam menahan degradasi lingkungan (Feng *et al.*, 2021).