

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju urbanisasi yang terus meningkat telah menjadi tantangan utama bagi keberlanjutan global, karena kota saat ini bertanggung jawab atas sekitar 75% konsumsi energi dan 70% emisi karbon dioksida (CO₂) dunia (Development, 2021). Urbanisasi memiliki hubungan *non-linier* dengan emisi karbon meningkat pada tahap awal urbanisasi, namun dapat ditekan melalui efektivitas kebijakan pemerintah yang tinggi (Chen *et al.*, 2022). Di Indonesia, fenomena ini tercermin dalam peningkatan tajam proporsi penduduk perkotaan, termasuk di Provinsi Jawa Tengah, yang laju urbanisasinya telah tumbuh dari 40,4% pada tahun 2000 menjadi 56,2% pada tahun 2015, dengan konsentrasi pembangunan intensif di pusat-pusat metropolitan seperti Kota Semarang, didorong oleh ketersediaan fasilitas dan peluang ekonomi (Budianti, 2021). Untuk mengimbangi dampak destruktif dari ekspansi ini, seperti konversi lahan alami yang memicu degradasi lingkungan, instrumen perencanaan spasial berupa Rencana Pola Ruang (RPR) menjadi pilar normatif utama dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) (Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, 2024).

RPR didefinisikan sebagai arahan fungsional yang memisahkan alokasi ruang menjadi Kawasan Lindung (KL), yaitu ruang yang ditetapkan untuk melindungi kelestarian ekosistem, menjaga fungsi biogeofisik, dan mitigasi bencana dari Kawasan Budidaya (Pemerintah Republik Indonesia, 2021). Secara normatif, RPR bertujuan untuk memberikan perlindungan terhadap kelestarian Kawasan Lindung. Namun, dalam praktiknya, orientasi perencanaan yang lebih menekankan pada pertumbuhan ekonomi sering kali menimbulkan tantangan dalam implementasi kebijakan spasial. Kondisi ini menyebabkan kawasan dengan fungsi ekologis penting menjadi semakin rentan terhadap tekanan pembangunan, yang pada akhirnya dapat memicu ketidaksesuaian antara tujuan normatif pelestarian dan hasil ekologis aktual (He *et al.*, 2025).

Kualitas Ekologis (KE) atau *Ecological Environmental Quality* (EEQ) adalah kondisi yang mencerminkan apakah ekosistem sehat dan sesuai untuk kelangsungan hidup manusia serta pembangunan sosial-ekonomi yang berkelanjutan (Guo *et al.*, 2024). Untuk mengatasi keterbatasan metode evaluasi tradisional yang bersifat subjektif dan terhambat oleh masalah perolehan data, penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif berbasis penginderaan jauh (Zhang *et al.*, 2024). Berbagai studi telah menunjukkan manfaat teknologi penginderaan jauh, yang mampu memberikan cakupan luas, *real-time*, dan data multi-temporal untuk pemantauan ekologis regional (Lu *et al.*, 2025). Secara khusus, *Remote*

Sensing Ecological Index (RSEI) telah diakui sebagai kerangka kerja yang andal untuk menilai KE/EEQ secara objektif. RSEI mengintegrasikan beberapa indikator ekologis utama hasil penginderaan jauh, yakni *greenness* (*Normalized Difference Vegetation Index/NDVI*), *wetness* (*Tasseled Cap Wetness/WET*), *dryness* (*Normalized Difference Built-up and Soil Index/NDBSI*), dan *heat* (*Land Surface Temperature/LST*) ke dalam satu indeks komprehensif. Penggunaan analisis komponen utama (*Principal Component Analysis/PCA*) lebih lanjut memastikan penilaian yang objektif dan dapat divisualisasikan dengan menghilangkan potensi bias subjektif (Xu *et al.*, 2018; Meng *et al.*, 2024).

Fenomena masalah utama ini terbukti nyata di Kota Semarang, yang mengalami perluasan perkotaan mencapai lebih dari 70% pada periode 1998 hingga 2018, yang secara kausal mengakibatkan penurunan luas vegetasi hingga lebih dari 35% dan memicu kenaikan suhu udara rata-rata yang signifikan. Data RSEI multi-temporal menunjukkan tren penurunan kualitas ekologis yang stabil, dibuktikan dengan nilai rata-rata RSEI yang menurun dari 0,69 (2013) menjadi 0,68 (2018) dan 0,66 (2023), mengindikasikan bahwa tekanan pembangunan tidak dapat diimbangi secara memadai oleh RTRW yang berlaku. Penurunan kualitas ekologis ini diperparah oleh kenyataan bahwa luas area yang mengalami degradasi ekologi melebihi area perbaikan lebih dari 20% di zona hijau dan lahan terbangun dalam rentang waktu 2013–2023, seiring dengan penurunan luas zona hijau sebesar 7,07% (2016–2019) (Mahendra *et al.*, 2025). Temuan kuantitatif ini menunjukkan adanya ketidakselarasan signifikan antara rencana normatif Kawasan Lindung dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031 (Perda Nomor 14 Tahun 2011, telah diubah dengan Perda Nomor 5 Tahun 2021) dan realitas kualitas ekologis yang terukur di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan proses evaluasi kebijakan tata ruang.

Evaluasi didefinisikan sebagai penilaian terstruktur terhadap efektivitas dan akuntabilitas kebijakan dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan, yaitu menjaga keseimbangan ekologis dan keberlanjutan (Zhang & Kuang, 2025). Evaluasi ini harus didukung oleh metrik spasial objektif, alih-alih berfokus pada kepatuhan prosedural semata. Kompleksitas penerapan RSEI terlihat jelas di kawasan lindung pesisir Kota Semarang, di mana pembangunan masif dan perubahan tata guna lahan telah memicu banjir rob di wilayah tetangga, yaitu Kabupaten Demak. Fenomena tersebut ditandai dengan penurunan nilai RSEI yang signifikan dari 0,614 pada tahun 1999 menjadi 0,3933 pada tahun 2019, serta anomali pada indeks kelembapan (WET) yang menunjukkan korelasi negatif karena mencerminkan genangan rob yang destruktif, bukan kondisi tanah yang sehat (Wiratmaja & Sejati, 2021). Selain itu, peningkatan kekeruhan (*turbidity*) dan ekspansi perairan pesisir akibat reklamasi

dan penurunan muka tanah juga memperburuk kondisi ekologis kawasan pantai Kota Semarang (Buchori *et al.*, 2018). Oleh karena itu, kawasan lindung pesisir yang menjadi ruang lingkup wilayah penelitian memerlukan evaluasi dan validasi kebijakan yang kontekstual agar keseimbangan antara fungsi ekologis dan pembangunan dapat terjaga (Mehvar *et al.*, 2018).

Tinjauan pustaka kritis menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) dalam penerapan indeks ekologis berbasis penginderaan jauh terhadap kebijakan tata ruang. Meskipun RSEI telah diakui sebagai alat yang objektif untuk memantau kualitas ekologis melalui integrasi empat komponen utama (kehijauan, kelembapan, kekeringan, dan panas permukaan) serta menunjukkan korelasi negatif yang kuat antara Permukaan Kedap Air (*Impervious Surface/IS*) dan nilai RSEI (Lu *et al.*, 2025), sebagian besar studi masih berfokus pada deskripsi spasial tanpa mengaitkan hasil RSEI secara eksplisit dengan efektivitas kebijakan tata ruang. Penelitian Mahendra *et al.*, (2025) di Kota Semarang hanya menampilkan tren penurunan kualitas ekologis dan hubungan statistik antara IS dan RSEI, namun belum membandingkan hasil tersebut dengan delineasi normatif kawasan lindung yang ditetapkan dalam dokumen perencanaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa RSEI belum dimanfaatkan sebagai metrik akuntabilitas spasial untuk menguji kesesuaian antara kondisi ekologis aktual dan kebijakan tata ruang yang berlaku. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan pemanfaatan RSEI tidak hanya sebagai alat pemantauan deskriptif, tetapi juga sebagai instrumen evaluatif, dengan membandingkan kualitas ekologis aktual hasil pengukuran RSEI terhadap Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dalam RTRW Kota Semarang tahun 2011-2031. Pendekatan ini dapat menghasilkan evaluasi berbasis bukti (*evidence-based evaluation*) yang menilai sejauh mana kebijakan tata ruang mampu mempertahankan integritas ekologis dan efektivitas implementatifnya.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan utama penelitian ini terletak pada kesenjangan antara tujuan normatif Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dalam RTRW Kota Semarang dengan kondisi aktual ekologis yang menunjukkan indikasi degradasi (Mahendra *et al.*, 2025). Guna mengevaluasi efektivitas spasial kebijakan tersebut, penelitian ini menganalisis pola sebaran dan tren perubahan kualitas ekologis menggunakan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) secara multi-temporal pada periode 2011, 2016, 2021, dan 2026. Selanjutnya, dilakukan analisis kesesuaian spasial antara kualitas ekologis aktual dan delineasi kawasan lindung normatif dalam RTRW Kota Semarang sebagai dasar

evaluasi implementasi pola ruang (Yang *et al.*, 2023). Berdasarkan hal tersebut, dirumuskan pertanyaan penelitian: **“Apakah Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang efektif dalam mempertahankan kualitas ekologis lingkungan berdasarkan analisis RSEI?”**

1.3 Tujuan dan Sasaran

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang dalam mempertahankan kualitas ekologis wilayah dengan menggunakan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) sebagai metrik kuantitatif. Evaluasi dilakukan melalui analisis tren perubahan kualitas ekologis secara multi-temporal (2011, 2016, 2021, dan 2026) serta pengujian kesesuaian spasial antara kondisi ekologis aktual dan delineasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung normatif dalam RTRW Kota Semarang, sehingga diperoleh temuan evaluatif berbasis bukti spasial. Sasaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perubahan spasial kualitas ekologis (RSEI) secara multi-temporal di Kota Semarang tahun 2011, 2016, 2021, dan 2026 melalui integrasi indikator NDVI, WET, NDBSI, dan LST menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA).
2. Menganalisis tingkat kesesuaian spasial antara peta kualitas ekologis aktual (RSEI) dan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang melalui teknik *overlay* spasial.
3. Melakukan validasi terhadap hasil klasifikasi RSEI pada kawasan lindung melalui perbandingan antara kelas kualitas ekologis hasil RSEI dengan kondisi biofisik aktual berdasarkan data observasi lapangan.
4. Mengevaluasi efektivitas implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang dalam mendukung kualitas ekologis wilayah berdasarkan hasil perubahan spasial dan kesesuaian spasial RSEI.

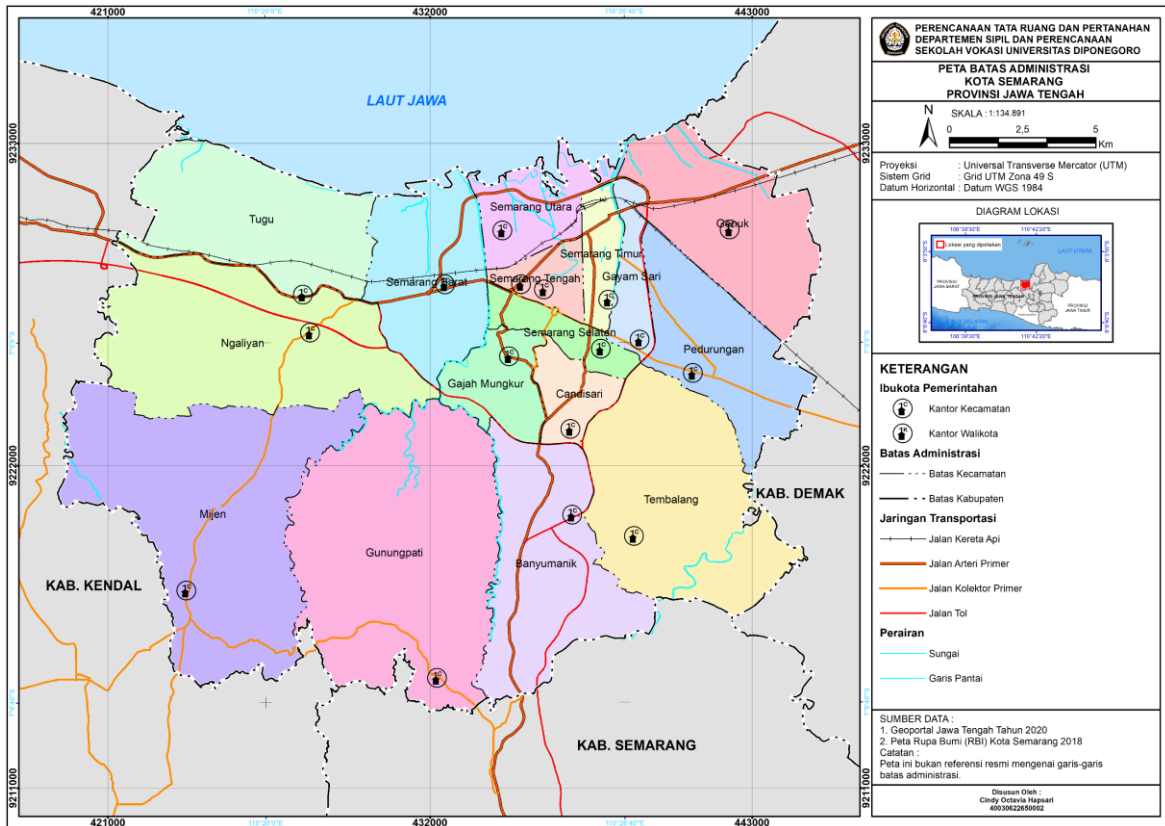
1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup materi.

1.4.1 Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup penelitian ini berada di Kota Semarang, yang secara geografis terletak pada koordinat 6°50'–7°10' Lintang Selatan dan 110°17'–110°35' Bujur Timur. Kota

Semarang memiliki luas wilayah sekitar 373,78 km² dan terdiri atas 16 kecamatan serta 177 kelurahan. Peta batas administrasi Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut:



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 1. 1 Peta Batas Administrasi Kota Semarang

- Sebelah Barat : Kabupaten Kendal
- Sebelah Timur : Kabupaten Demak
- Sebelah Selatan : Kabupaten Semarang
- Sebelah Utara : Laut Jawa

Kota Semarang, sebagai ibu kota Provinsi Jawa Tengah, membentang di area seluas sekitar 373,78 km². Secara administratif, wilayah ini terbagi menjadi 16 kecamatan dan 177 kelurahan. Dari sudut geografis, Kota Semarang berbatasan dengan Laut Jawa di utara, Kabupaten Demak di timur, Kabupaten Semarang di selatan, dan Kabupaten Kendal di barat (BPS, 2025). Topografinya menunjukkan variasi yang signifikan mulai dari dataran pesisir yang hampir sejajar dengan permukaan laut hingga jajaran perbukitan di bagian selatan dengan elevasi hingga ± 348 m di atas permukaan laut (Martuti *et al.*, 2023). Kombinasi karakteristik wilayah pesisir, dataran rendah dan perbukitan ini menjadikan Kota Semarang memiliki peran ekologis penting sebagai daerah resapan dan daerah pengaliran (lepasan) air. Namun demikian, karena letak strategisnya sebagai pusat aktivitas urban dan konektivitas

tinggi dengan wilayah sekitarnya, kota ini menghadapi tekanan yang cukup besar dari urbanisasi, konversi penggunaan lahan, dan potensi degradasi lingkungan terutama di kawasan pesisir dan dataran rendah (Zahra *et al.*, 2021).

1.4.2 Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi penelitian ini membatasi substansi kajian pada aspek-aspek yang relevan dengan Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis. Batasan materi dalam penelitian ini meliputi:

A. Kebijakan Tata Ruang Kawasan Lindung

Kajian kebijakan tata ruang dibatasi pada Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung berbasis ekologis yang tercantum dalam Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011–2031. Kawasan lindung berbasis ekologis dalam konteks penelitian ini merujuk pada kawasan lindung yang memiliki fungsi biogeofisik aktif dan dapat diukur kondisi ekologisnya melalui indikator vegetasi, kelembapan, suhu permukaan, dan tutupan lahan. Kawasan ini meliputi:

1. Kawasan resapan air yang berfungsi sebagai daerah infiltrasi air hujan dan memiliki tutupan vegetasi yang dapat diukur melalui NDVI.
2. Kawasan perlindungan setempat meliputi sempadan pantai, sempadan sungai, dan kawasan sekitar waduk/embung yang kondisi ekologisnya dapat diidentifikasi melalui indikator kelembapan (WET), vegetasi (NDVI), dan suhu permukaan (LST).
3. Ruang terbuka hijau (RTH) publik dan privat memiliki fungsi ekologis berupa penyerapan karbon yang terukur melalui keempat komponen RSEI.
4. Kawasan lindung yang tidak termasuk dalam evaluasi adalah kawasan cagar budaya dan kawasan lindung spiritual/kearifan lokal, karena fungsi utamanya bersifat historis-kultural dan bukan biofisik, sehingga tidak relevan untuk dinilai menggunakan indikator kualitas ekologis berbasis penginderaan jauh.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kesesuaian spasial antara rencana normatif dengan kondisi ekologis aktual kawasan lindung berbasis ekologi, tidak mengkaji aspek kelembagaan, perizinan, atau implementasi RTRW secara legal-formal.

B. Kualitas Ekologis Lingkungan

Kualitas ekologis diukur secara kuantitatif menggunakan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) yang mengintegrasikan empat komponen dari data penginderaan jauh:

1. *Greenness* (NDVI): kehijauan dan vitalitas vegetasi
2. *Wetness* (WET): kelembaban permukaan dan kesehatan hidrologi
3. *Dryness* (NDBSI): kekeringan, tanah terbuka, dan area terbangun
4. *Heat* (LST): suhu permukaan dan efek pulau panas perkotaan

Keempat komponen diintegrasikan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk menghasilkan nilai RSEI dalam rentang 0-1, yang kemudian diklasifikasikan menjadi lima kategori: Sangat Baik (0,8-1,0), Baik (0,6-0,8), Sedang (0,4-0,6), Buruk (0,2-0,4), dan Sangat Buruk (0,0-0,2) (Xu *et al.*, 2018).

Dalam penelitian ini, kualitas ekologis yang dimaksud bukanlah kualitas ekosistem secara biologis mendalam seperti keanekaragaman spesies, struktur tajuk pohon secara vertikal, atau parameter kimia air, melainkan kualitas ekologis dalam arti kondisi biofisik permukaan lahan. Istilah biofisik merujuk pada karakteristik fisik dan biologis yang dapat direkam oleh sensor satelit, seperti kerapatan dan kesehatan vegetasi, tingkat kelembaban permukaan, dominasi lahan terbangun, serta intensitas suhu permukaan. Dengan demikian, RSEI mengukur kondisi lingkungan fisik yang menjadi penunjang keberlangsungan ekosistem, bukan komponen biotik secara langsung.

C. Analisis Spasial dan Temporal

Analisis spasial dan temporal dalam penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dinamika perubahan kualitas ekologis Kota Semarang dari waktu ke waktu. Tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Analisis Perubahan Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang, yang dilakukan melalui ekstraksi dan integrasi empat indikator ekologis (NDVI, WET, NDBSI, dan LST) menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA) untuk menghasilkan nilai RSEI pada empat periode (2011, 2016, 2021, 2026), kemudian dianalisis tren perubahan kualitas ekologisnya secara spasial dan temporal.
2. Analisis Kesesuaian Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) dengan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang, yang dilakukan melalui teknik *overlay* antara peta RSEI dan peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung untuk menilai tingkat keselarasan antara kondisi ekologis aktual dan fungsi ruang yang direncanakan dalam RTRW.
3. Validasi Model RSEI, yang dilakukan melalui perbandingan hasil klasifikasi kualitas ekologis RSEI dengan kondisi biofisik aktual di lapangan pada kawasan lindung

berdasarkan data observasi lapangan untuk menilai tingkat kesesuaian hasil analisis dengan kondisi lingkungan sebenarnya.

4. Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis, yang merupakan tahap sintesis untuk menilai efektivitas implementasi pola ruang kawasan lindung berdasarkan hasil perubahan spasial dan tingkat kesesuaian ekologis secara deskriptif–interpretatif.

D. Validasi Model

Validasi hasil klasifikasi kualitas ekologis dilakukan melalui observasi lapangan pada kawasan lindung di Kota Semarang. Pengambilan titik sampel dilakukan menggunakan teknik *stratified random sampling* untuk mewakili variasi kondisi ekologis pada beberapa tipe kawasan lindung, seperti Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota, sempadan sungai, dan sempadan pantai (Congalton & Green, 2019). Hasil observasi lapangan kemudian dibandingkan dengan kelas kualitas ekologis yang dihasilkan dari analisis *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) untuk menilai kesesuaian antara kondisi biofisik aktual dengan hasil klasifikasi kualitas ekologis secara spasial.

E. Evaluasi Efektivitas Kawasan Lindung

Evaluasi efektivitas kawasan lindung dalam penelitian ini dibatasi pada penilaian kemampuan kawasan lindung dalam mempertahankan kualitas ekologis wilayah berdasarkan indikator biofisik. Pengukuran efektivitas dilakukan melalui dua aspek utama, yaitu proporsi luas kawasan lindung yang memiliki kualitas ekologis baik hingga sangat baik sebagai indikator utama, serta perbandingan nilai rata-rata RSEI antara kawasan lindung dan kawasan budidaya sebagai penguat analisis. Pendekatan ini digunakan untuk menilai apakah kawasan lindung tidak hanya memiliki kondisi ekologis yang baik secara internal, tetapi juga mampu mempertahankan kualitas ekologis yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah di luar kawasan lindung. Evaluasi dilakukan secara deskriptif–interpretatif dengan mempertimbangkan dinamika perubahan kualitas ekologis secara temporal, sehingga diperoleh gambaran tingkat efektivitas implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dalam RTRW Kota Semarang.

1.5 Tahapan/Proses

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama yang sistematis untuk mencapai tujuan Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis. Berikut adalah penjelasan masing-masing tahapan.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan fase awal penelitian yang bertujuan untuk membangun dasar konseptual, metodologis, dan teknis sebelum pelaksanaan analisis spasial. Kegiatan utama pada tahap ini meliputi studi pustaka, identifikasi ruang lingkup penelitian, persiapan instrumen, serta akuisisi data sekunder. Studi pustaka dilakukan untuk memahami teori-teori kunci yang menjadi landasan penelitian, meliputi konsep Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), Rencana Pola Ruang (RPR), Kawasan Lindung, serta metodologi *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) sebagai pendekatan kuantitatif untuk menilai kualitas ekologis lingkungan. Tahap ini juga mencakup identifikasi ruang lingkup penelitian secara geografis, yaitu Kawasan Lindung di wilayah administratif Kota Semarang, dan secara temporal, yaitu periode 2011, 2016, 2021, dan 2026.

Pemilihan tahun pengamatan tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan yang berkaitan dengan periode implementasi kebijakan tata ruang di Kota Semarang. Tahun 2011 dipilih karena merupakan *milestone* kebijakan, yaitu saat ditetapkannya Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 tentang RTRW, yang menandai dimulainya implementasi rencana tata ruang. Selanjutnya, tahun 2016 digunakan sebagai periode evaluasi jangka menengah (lima tahun) untuk melihat indikasi awal perubahan kualitas ekologis setelah penerapan kebijakan tata ruang. Tahun 2021 dipilih karena bertepatan dengan diterbitkannya Perda Nomor 5 Tahun 2021 tentang RTRW Kota Semarang, yang mencerminkan fase revisi kebijakan sekaligus kondisi ekologis setelah lebih dari satu dekade implementasi RTRW. Sementara itu, tahun 2026 digunakan sebagai kondisi terkini (*up-to-date*) untuk menggambarkan kondisi ekologis terbaru serta menilai efektivitas dan akuntabilitas implementasi kebijakan tata ruang, sekaligus menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi evaluatif berbasis bukti empiris.

2. Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dibagi menjadi dua kategori. Pertama, pengumpulan data sekunder yang meliputi:

1. Citra satelit Landsat diunduh dari *USGS Earth Explorer* untuk lima periode waktu: 2011 (Landsat 5 TM), 2016 (Landsat 8 OLI/TIRS), 2021 (Landsat 8 OLI/TIRS), dan 2026 (Landsat 9 OLI-2/TIRS-2). Kriteria pemilihan citra meliputi tutupan awan maksimal 10% untuk memastikan kualitas visual dan akurasi ekstraksi indikator, periode akuisisi pada musim kemarau (Mei–September) guna menjaga konsistensi

vegetasi serta meminimalkan pengaruh variasi musiman, dan cakupan *path/row* yang mencakup seluruh wilayah Kota Semarang.

2. Perolehan peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dari Perda RTRW Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 dan perubahannya (Perda Nomor 5 Tahun 2021) melalui Dinas Penataan Ruang Kota Semarang;
3. Pengumpulan dokumen kebijakan berupa Perda RTRW melalui website resmi JDIH (Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum) Kota Semarang; serta

Kedua, pengumpulan data primer diperoleh melalui observasi lapangan pada kawasan lindung sebagai bagian dari proses validasi hasil klasifikasi RSEI. Mengingat luas dan variasi karakteristik kawasan lindung, pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *stratified random sampling* untuk memastikan keterwakilan seluruh jenis zona lindung. Stratifikasi dilakukan berdasarkan kategori kawasan lindung. Sampel kemudian diambil secara acak pada masing-masing strata untuk dibandingkan dengan hasil klasifikasi RSEI sebagai data referensi (*ground truth*).

3. Tahap Analisis

Tahap ini dilakukan untuk mengolah data penelitian guna menjawab tujuan penelitian. Pada tahap ini dilakukan empat analisis utama, yaitu:

1. Analisis Perubahan Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang

Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi dinamika kualitas ekologis wilayah secara spasial dan temporal. Empat variabel utama, yaitu NDVI, WET, NDBSI, dan LST, diekstraksi dari citra Landsat untuk merepresentasikan kondisi vegetasi, kelembapan permukaan, kekeringan atau dominasi lahan terbangun, serta suhu permukaan wilayah. Nilai setiap variabel kemudian dinormalisasi ke dalam rentang 0–1 sebelum diintegrasikan menggunakan metode *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA) untuk menghasilkan nilai *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) pada setiap periode penelitian. Nilai RSEI selanjutnya diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas ekologis (sangat baik hingga sangat buruk) dan dianalisis perubahannya antarperiode untuk mengidentifikasi tren peningkatan atau penurunan kualitas ekologis di Kota Semarang serta pola distribusinya pada wilayah penelitian. Analisis ini juga memberikan gambaran mengenai area yang mengalami perbaikan maupun degradasi kualitas lingkungan selama periode penelitian serta wilayah yang relatif stabil secara ekologis. Dengan demikian, analisis ini dapat menunjukkan dinamika kondisi ekologis wilayah secara komprehensif dari waktu ke waktu.

2. Analisis Kesesuaian Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) dengan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang

Analisis ini bertujuan menilai keselarasan antara kondisi ekologis aktual dan fungsi ruang yang direncanakan dalam RTRW Kota Semarang. Metode yang digunakan adalah *overlay* spasial antara Peta Kualitas Ekologis (RSEI) dan Peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung. Hasil *overlay* digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian antara kualitas ekologis dan fungsi kawasan lindung, seperti area dengan kualitas ekologis baik yang sesuai dengan fungsi perlindungan, serta area dengan kualitas ekologis rendah yang memerlukan perhatian dalam pengelolaan ruang. Analisis ini juga membantu mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami konflik pemanfaatan ruang antara kondisi ekologis aktual dan rencana tata ruang yang telah ditetapkan.

3. Validasi Model RSEI

Tahap validasi dilakukan untuk memastikan bahwa nilai dan klasifikasi kualitas ekologis yang dihasilkan oleh *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) mampu merepresentasikan kondisi lingkungan aktual di lapangan. Validasi dilakukan dengan membandingkan kelas kualitas ekologis hasil RSEI dengan kondisi biofisik yang diamati secara langsung pada kawasan lindung, seperti Ruang Terbuka Hijau (RTH) kota, sempadan sungai, dan sempadan pantai. Perbandingan ini digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil analisis citra satelit dan kondisi lapangan sehingga dapat diketahui tingkat keandalan model RSEI dalam menggambarkan kualitas ekologis wilayah. Proses ini penting untuk memastikan bahwa hasil analisis spasial memiliki tingkat akurasi yang memadai.

4. Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis

Analisis ini merupakan tahap sintesis yang mengintegrasikan hasil perubahan kualitas ekologis, kesesuaian spasial, dan validasi model untuk menilai efektivitas implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung dalam mendukung kualitas ekologis wilayah. Evaluasi dilakukan melalui analisis distribusi kualitas ekologis serta persentase luas kawasan lindung pada setiap kelas kualitas ekologis. Hasil tersebut kemudian diperkuat dengan perbandingan nilai rata-rata RSEI antara kawasan lindung dan kawasan budidaya secara temporal untuk melihat konsistensi perbedaan kondisi ekologis. Melalui pendekatan ini, dapat diketahui sejauh mana kebijakan tata ruang mampu mempertahankan dan membedakan kualitas ekologis wilayah, sekaligus menjadi dasar dalam merumuskan arahan pengelolaan kawasan lindung yang lebih berkelanjutan.

1.6 Metode dan Hasil Akhir

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan serta hasil akhir yang dihasilkan dari proses penelitian. Metode penelitian disusun untuk menjawab tujuan penelitian secara sistematis, sedangkan hasil akhir menggambarkan keluaran yang diperoleh dari penerapan metode tersebut.

1.6.1 Metode

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan evaluasi efektivitas spasial Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung di Kota Semarang. Metode disusun secara sistematis mulai dari tahapan kebutuhan data, teknik analisis, hingga hasil akhir yang diharapkan.

A. Data Penelitian

Penelitian ini memerlukan berbagai jenis data yang bersumber dari data sekunder dan data primer untuk mendukung analisis kualitas ekologis dan evaluasi efektivitas Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung. Data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1. 1 Data Penelitian

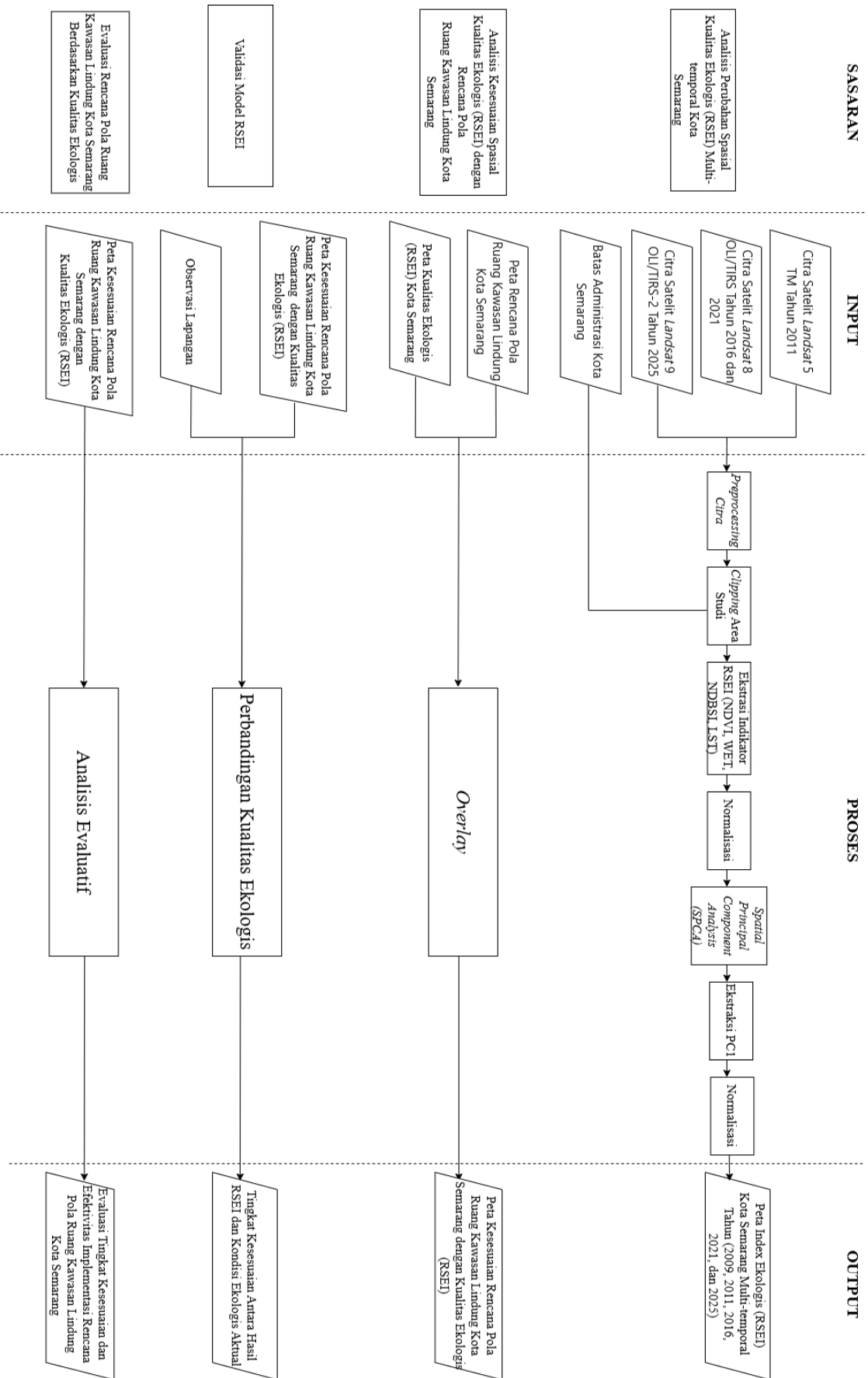
No.	Nama Data	Unit Data	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber Data
1.	Citra Satelit Landsat 5 TM (2011)	<i>Scene/Path-Row</i>	Sekunder	<i>Raster (GeoTIF F)</i>	USGS <i>Earth Explorer</i> (earthexplorer.usgs.gov)
2.	Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS (2016 dan 2021)	<i>Scene/Path-Row</i>	Sekunder	<i>Raster (GeoTIF F)</i>	USGS <i>Earth Explorer</i> (earthexplorer.usgs.gov)
3.	Citra Satelit Landsat 9 OLI/TIRS-2 (2026)	<i>Scene/Path-Row</i>	Sekunder	<i>Raster (GeoTIF F)</i>	USGS <i>Earth Explorer</i> (earthexplorer.usgs.gov)
4.	Peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang	Kawasan	Sekunder	<i>Vektor (Shapefile)</i>	Dinas Penataan Ruang Kota Semarang / Perda No. 14/2011 & Perda No. 5/2021

No.	Nama Data	Unit Data	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber Data
5.	Peta Administratif	Batas Kecamatan/Kelurahan	Sekunder	Vektor (Shapefile)	Dinas Penataan Ruang Kota Semarang / Bappeda Kota Semarang

Sumber: Penulis, 2026

B. Teknik Analisis

Teknik analisis penelitian ini menggambarkan tahapan sistematis dalam evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang berdasarkan kualitas ekologis menggunakan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI). Bagan kerangka analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut:



Sumber: Hasil Analisis, 2026

Gambar 1. 2 Bagan Kerangka Analisis

Proses analisis dibagi menjadi beberapa tahapan utama sebagai berikut.

1. Tahap input berfungsi sebagai dasar penyediaan seluruh data yang diperlukan dalam analisis spasial dan temporal. Data utama yang digunakan berupa:

- Citra Satelit Landsat (Landsat 5 TM tahun 2011; Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2016 & 2021; serta Landsat 9 OLI/TIRS-2 tahun 2026) yang digunakan untuk mengekstraksi empat indikator ekologis penyusun RSEI, yaitu NDVI, WET, NDBSI, dan LST;
- Peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang yang bersumber dari RTRW (Perda No. 14 Tahun 2011 jo. Perda No. 5 Tahun 2021);
- Peta batas administrasi untuk keperluan *clipping* dan analisis spasial.

2. Tahap proses merupakan inti analisis penelitian, terdiri dari empat tahapan utama yang saling berurutan dan terintegrasi:

a. Analisis Perubahan Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang

Analisis ini menggunakan pendekatan kuantitatif spasial berbasis penginderaan jauh untuk mengidentifikasi dinamika kualitas ekologis secara multi-temporal. Proses diawali dengan *preprocessing* citra Landsat dan *clipping* area studi berdasarkan batas administrasi Kota Semarang. Selanjutnya dilakukan ekstraksi empat indikator ekologis, yaitu NDVI, WET, NDBSI, dan LST, yang kemudian dinormalisasi ke rentang 0–1. Keempat indikator tersebut diintegrasikan menggunakan *Spatial Principal Component Analysis* (SPCA), dengan PC1 sebagai representasi nilai RSEI. Nilai RSEI kemudian dinormalisasi dan diklasifikasikan untuk dianalisis perubahannya antartahun (2011–2026) guna melihat tren peningkatan atau penurunan kualitas ekologis.

b. Analisis Kesesuaian Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) dengan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang

Analisis ini bertujuan menilai keselarasan antara kondisi ekologis aktual dan rencana pola ruang kawasan lindung dalam RTRW Kota Semarang. Teknik yang digunakan adalah *overlay* spasial antara peta RSEI terklasifikasi dan peta Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung. Hasil *overlay* dianalisis untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian fungsi lindung dengan kualitas ekologis aktual serta menghitung luas dan persentase masing-masing kategori kesesuaian sebagai dasar evaluasi spasial.

c. Validasi Model RSEI

Tahap ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil klasifikasi kualitas ekologis yang dihasilkan oleh model RSEI mampu merepresentasikan kondisi lingkungan aktual. Validasi dilakukan melalui observasi lapangan pada beberapa titik sampel yang mewakili variasi kondisi ekologis pada kawasan lindung. Nilai dan kelas kualitas ekologis hasil RSEI kemudian dibandingkan dengan kondisi biofisik aktual yang diamati di lapangan. Hasil perbandingan ini digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi RSEI dengan kondisi ekologis sebenarnya serta untuk memastikan konsistensi spasial model dalam merepresentasikan kualitas ekologis kawasan lindung.

d. Evaluasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang Berdasarkan Kualitas Ekologis

Tahap ini merupakan analisis sintesis yang mengintegrasikan hasil perubahan kualitas ekologis, kesesuaian spasial, serta observasi lapangan untuk menilai efektivitas implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis distribusi kualitas ekologis serta proporsi luasan kawasan lindung yang memiliki kualitas ekologis baik, yang kemudian diperkuat melalui perbandingan nilai rata-rata RSEI antara kawasan lindung dan kawasan budidaya secara temporal, sehingga dapat menggambarkan sejauh mana kawasan lindung mampu mempertahankan dan membedakan kualitas ekologis wilayah selama periode perencanaan.

3. Tahap output merupakan luaran akhir dari seluruh rangkaian proses analisis yang mencakup:

1. Peta Sebaran Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang Tahun 2011, 2016, 2021, dan 2026.
2. Peta Kesesuaian Spasial antara Kualitas Ekologis (RSEI) dan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang.
3. Tingkat Kesesuaian Antara Hasil RSEI dan Kondisi Ekologis Aktual.
4. Evaluasi Tingkat Kesesuaian dan Efektivitas Implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang berdasarkan Kualitas Ekologis.

1.6.2 Hasil Akhir

Hasil akhir penelitian ini mencakup empat keluaran utama yang saling berhubungan dan dirancang untuk menjawab tujuan penelitian secara komprehensif.

1. Peta Sebaran Spasial Kualitas Ekologis (RSEI) Multi-temporal Kota Semarang Tahun 2011, 2016, 2021, dan 2026, yang menampilkan distribusi dan dinamika kualitas ekologis berdasarkan klasifikasi nilai RSEI sehingga menggambarkan tren perubahan kondisi lingkungan antarperiode secara spasial.
2. Peta Kesesuaian Spasial antara Kualitas Ekologis (RSEI) dan Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang, yang merupakan hasil *overlay* antara kondisi ekologis aktual dan rencana pola ruang untuk menunjukkan tingkat keselarasan fungsi lindung dengan kualitas ekologis wilayah.
3. Hasil Validasi Model RSEI melalui Observasi Lapangan, yang menyajikan perbandingan antara kelas kualitas ekologis hasil RSEI dengan kondisi biofisik aktual pada titik-titik observasi di kawasan lindung. Hasil ini digunakan untuk menunjukkan tingkat kesesuaian antara nilai RSEI dengan kondisi ekologis sebenarnya sebagai indikator keandalan model dalam merepresentasikan kualitas ekologis wilayah.
4. Evaluasi Tingkat Kesesuaian dan Efektivitas Implementasi Rencana Pola Ruang Kawasan Lindung Kota Semarang berdasarkan Kualitas Ekologis, yang merupakan sintesis seluruh hasil analisis untuk menilai secara empiris efektivitas kebijakan tata ruang dalam mendukung kualitas ekologis kawasan lindung.