

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekologi perkotaan merupakan cabang ilmu yang mempelajari interaksi antara sistem lingkungan dan aktivitas manusia di wilayah perkotaan. Konsep ini menekankan keseimbangan antara unsur biofisik (seperti vegetasi, air, tanah, dan udara) dengan aspek sosial-ekonomi yang berkembang di kota. Dalam perkembangannya, ekologi perkotaan menghadapi tantangan besar akibat tekanan pembangunan, perubahan penggunaan lahan, dan peningkatan aktivitas manusia yang intensif (Grimm et al., 2008; Alberti, 2010). Kota-kota modern menjadi pusat pertumbuhan sekaligus penyedia layanan pendidikan, kesehatan, dan transportasi (WHO, 2010). Namun, di balik peran strategis tersebut, urbanisasi juga menghadirkan tantangan serius terhadap kualitas ekologi perkotaan. Ketidakteraturan tata ruang dan pertumbuhan kota yang pesat tanpa perencanaan matang dapat memicu penurunan kualitas lingkungan, degradasi ekosistem, serta meningkatnya kerentanan terhadap bencana (Grimm et al., 2008; Angel et al., 2016).

Salah satu fenomena nyata dari pertumbuhan kota adalah meningkatnya luasan lahan terbangun, yang umumnya ditandai oleh konversi ruang terbuka hijau (RTH), lahan pertanian, maupun kawasan lindung menjadi permukiman, kawasan komersial, dan infrastruktur. Peningkatan lahan terbangun berdampak pada berkurangnya tutupan vegetasi, meningkatnya suhu permukaan (Urban Heat Island/UHI), menurunnya kelembaban tanah, hingga terganggunya daya dukung lingkungan perkotaan (Buyantuyev & Wu, 2010; Zhao et al., 2021). Kondisi ini mempercepat menurunnya kualitas ekologi perkotaan, yaitu keseimbangan antara komponen vegetasi, tanah, udara, dan iklim mikro. Tanpa pemantauan yang sistematis, degradasi ekologi kota sering tidak terdeteksi hingga menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan masyarakat maupun keberlanjutan pembangunan.

Kota Parepare, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu wilayah yang dalam periode 2015–2025 mengalami peningkatan signifikan pada luasan lahan terbangun. Ramdani & Furqan (2023) mencatat peningkatan lahan terbangun sebesar 1,87% yang mengkonversi lahan sawah, vegetasi, dan lahan terbuka. Pertumbuhan ini diiringi dengan penyusutan ruang terbuka hijau akibat tingginya aktivitas manusia yang meningkatkan kebutuhan lahan (Ishaq, 2023), serta meningkatnya tekanan lingkungan seperti kenaikan suhu permukaan dan berkurangnya kapasitas resapan air tanah. Penelitian Ahmad (2021) mengkonfirmasi bahwa di Kota Parepare, suhu tertinggi dominan terjadi pada lahan terbangun dan lahan pertanian, dengan hubungan yang berbanding lurus antara kerapatan bangunan (NDBI) dengan suhu permukaan, dan berbanding terbalik

dengan kerapatan vegetasi (NDVI). Temuan ini diperkuat oleh Utami dkk. (2024) yang menunjukkan korelasi negatif signifikan antara kepadatan vegetasi dan suhu permukaan lahan di Parepare, serta Ramdani & Furqan (2023) yang mengungkapkan bahwa akibat penambahan lahan terbangun, kota ini kehilangan daerah suhu rendah 20°C dan memunculkan suhu 28-32°C. Dari aspek hidrologi, Wattimury (2024) memproyeksikan akan terjadi masalah air tanah pada bulan-bulan musim kemarau periode 2021-2030, sementara Sideng dkk. (2021) memetakan bahwa tingkat kekritisian daerah resapan di Kota Parepare tersebar secara acak seluas 59,24 km². Padahal, dokumen RTRW Kota Parepare menargetkan ketersediaan RTH minimal 30% sebagai syarat keseimbangan ekologis perkotaan. Perbedaan antara kondisi faktual dengan ketentuan normatif ini menunjukkan perlunya evaluasi ekologi kota yang lebih komprehensif. Untuk mendukung analisis tersebut, penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8 dengan waktu pengambilan pada 22 Juli 2015, 20 Agustus 2020, dan 25 Juli 2025 yang merepresentasikan kondisi musim kemarau dengan tutupan awan minimal.

Beberapa penelitian sebelumnya cenderung mengukur kondisi ekologi kota secara parsial, misalnya dengan NDVI untuk vegetasi, NDBI untuk bangunan terbangun, atau LST untuk suhu permukaan. Namun, pendekatan parsial belum mampu menggambarkan kualitas ekologi kota secara utuh. Remote Sensing Ecological Index (RSEI) hadir sebagai metode yang lebih integratif karena menggabungkan empat parameter utama—NDVI (vegetasi), Wetness (kelembaban tanah), NDBSI (lahan terbangun dan tanah kering), dan LST (suhu permukaan)—ke dalam satu indeks ekologis. Keempat indikator ini diekstraksi melalui analisis raster, kemudian diintegrasikan menggunakan Principal Component Analysis (PCA) untuk menghasilkan nilai RSEI yang objektif dan representatif terhadap kondisi ekologi perkotaan (Xu, 2013; Liang et al., 2021). Selanjutnya, nilai RSEI diklasifikasikan ke dalam lima kategori kualitas ekologi untuk memudahkan interpretasi spasial-temporal.

Selain menilai kualitas ekologi, penelitian ini juga mengidentifikasi perkembangan lahan terbangun dan pola urban sprawl yang terjadi di Kota Parepare. Analisis perubahan lahan terbangun multi-temporal dilakukan dengan membandingkan luas area terbangun dari tahun 2015, 2020, dan 2025 menggunakan klasifikasi NDBSI. Pola urban sprawl kemudian diidentifikasi berdasarkan tipologi Yunus (2000) yang membedakan menjadi tiga tipe: perembetan konsentris, perembetan memanjang (ribbon development), dan perembetan meloncat (leapfrog development). Untuk memahami distribusi dan variasi karakteristik ekologi antarwilayah, dilakukan analisis spasial berbasis batas administrasi kecamatan menggunakan teknik overlay dan tabulate area.

Langkah selanjutnya adalah menganalisis keterkaitan antara kualitas ekologi (RSEI) dan pola urban sprawl menggunakan uji statistik Chi-Square. Metode ini dipilih karena kedua variabel bersifat kategorikal, dengan RSEI diklasifikasikan

menjadi tiga kategori (rendah, sedang, tinggi) dan pola sprawl dikategorikan menjadi tiga tipe (konsentris, memanjang, meloncat). Hasil uji ini diharapkan dapat membuktikan secara empiris apakah terdapat hubungan signifikan antara pola perkembangan fisik kota dengan kualitas lingkungan yang dihasilkan.

Dalam konteks penelitian ini, RSEI digunakan untuk mengevaluasi dinamika kualitas ekologi Kota Parepare pada periode 2015–2025, serta mengkaji keterkaitannya dengan perkembangan lahan terbangun dan pola urban sprawl. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran spasial-temporal mengenai degradasi ekologi yang terjadi, sekaligus menjadi dasar bagi perumusan rekomendasi pengendalian perkembangan kota yang lebih berkelanjutan. Melalui perbandingan antara hasil evaluasi dengan dokumen tata ruang yang berlaku, penelitian ini juga bertujuan mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi faktual dan kebijakan normatif, sehingga dapat dirumuskan strategi penguatan RTH, pengendalian alih fungsi lahan, serta perencanaan kota berbasis ekologi yang spesifik-lokasi.

1.2 Pertanyaan Penelitian

1. Bagaimana kondisi kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare pada periode 2015-2025 berdasarkan analisis *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI)?
2. Bagaimana perkembangan lahan terbangun dan Pola *Urban Sprawl* di Kota Parepare selama periode 2015-2025?
3. Bagaimana keterkaitan antara kondisi kualitas ekologi perkotaan (RSEI) dengan pola urban sprawl di Kota Parepare, serta implikasinya terhadap pengendalian perkembangan perkotaan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kondisi kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare pada periode 2015-2025 dengan menggunakan pendekatan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI).
2. Mengidentifikasi perkembangan lahan terbangun dan Pola *Urban Sprawl* di Kota Parepare selama periode 2015-2025 berdasarkan hasil analisis spasial dan temporal.
3. Menganalisis keterkaitan antara kondisi kualitas ekologi perkotaan (RSEI) dan pola *Urban Sprawl* sebagai dasar perumusan rekomendasi pengendalian perkembangan perkotaan

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan, hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat, antara lain sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang ekologi perkotaan dan perencanaan wilayah, khususnya dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh (*Remote Sensing*) untuk menilai kualitas lingkungan.
- b. Menegaskan relevansi penggunaan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI) sebagai metode kuantitatif dan komprehensif untuk mengevaluasi kualitas ekologi perkotaan secara spasial-temporal.
- c. Menambahkan kajian empiris mengenai keterkaitan antara urban sprawl dengan penurunan kualitas ekologi, yang dapat menjadi referensi akademik untuk penelitian sejenis di wilayah perkotaan lain di Indonesia.
- d. Memberikan kontribusi terhadap pengayaan literatur mengenai metode integrasi NDVI, Wetness, NDBI, dan LST dengan PCA dalam konteks kota menengah-pesisir seperti Parepare, yang selama ini lebih jarang dikaji dibanding kota besar.

2. Manfaat Praktis

- a. Menyediakan data ilmiah dan peta spasial-temporal mengenai tingkat *urban sprawl* dan kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare periode 2015–2025.
- b. Menjadi bahan evaluasi bagi Pemerintah Kota Parepare, khususnya dalam menilai efektivitas implementasi RTRW (2011–2031) terkait target minimal 30% RTH.
- c. Memberikan rekomendasi strategi pengendalian sprawl dan arah pengembangan RTH yang dapat digunakan sebagai dasar kebijakan dalam penataan ruang dan pembangunan berkelanjutan.
- d. Dapat digunakan oleh masyarakat dan komunitas lokal sebagai informasi untuk meningkatkan kesadaran lingkungan dan partisipasi dalam menjaga ekologi perkotaan.
- e. Menjadi referensi praktis bagi akademisi, peneliti, maupun mahasiswa yang tertarik melakukan studi lanjutan terkait urban sprawl, kualitas ekologi, serta aplikasi penginderaan jauh dalam perencanaan kota.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini mencakup dua aspek utama, yaitu ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup substansi, yang dijelaskan sebagai berikut :

1. Ruang Lingkup Wilayah

Penelitian ini dilakukan di seluruh wilayah administrasi Kota Parepare. Kota Parepare dipilih karena dalam periode 2015–2025 mengalami perkembangan pesat

di sektor permukiman dan infrastruktur, yang ditandai dengan pola pertumbuhan bangunan menyebar (*Urban Sprawl*) serta berkurangnya ruang terbuka hijau. Kondisi ini menjadikan Parepare sebagai lokasi strategis untuk meneliti keterkaitan antara urban sprawl dan kualitas ekologi perkotaan.

2. Ruang Lingkup Substansi

Penelitian ini berfokus pada analisis kualitas ekologi perkotaan dengan menitikberatkan pada kondisi ekologis di wilayah kota parepare. Substansi kajian mencakup evaluasi faktor faktor lingkungan, seperti tinggi kerapatan lahan, kelembaban tanah, kerapatan vegetasi dan suhu permukaan. Kajian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara dinamika perkotaan dengan perubahan ekologi di wilayah perkotaan. Analisis dilakukan dengan menggunakan pendekatan citra penginderaan jauh dan teknologi GIS untuk mendukung hasil yang akurat dan relevan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipahami dalam menginterpretasikan hasil. Pertama, analisis Land Surface Temperature (LST) dilakukan berdasarkan data citra satelit yang merekam suhu dari atas kanopi, sehingga nilai yang dihasilkan merupakan estimasi suhu permukaan dan belum divalidasi dengan pengukuran lapangan secara langsung. Kedua, identifikasi pola Urban Sprawl dalam penelitian ini didasarkan pada interpretasi spasial perubahan tutupan lahan dari citra satelit, bukan pada analisis legalitas kepemilikan lahan atau kepatuhan terhadap izin mendirikan bangunan (IMB). Penelitian ini menyadari bahwa regulasi penataan ruang pasca berlakunya UU Cipta Kerja telah memperketat pembangunan, namun fokus kajian ini adalah pada pola fisik perembetan kota yang teramati secara spasial-temporal. Ketiga, penelitian ini tidak menganalisis secara mendalam faktor-faktor sosial-ekonomi yang mendorong terjadinya perubahan kualitas ekologi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penelitian terbagi atas lima bagian, yaitu sebagai berikut :

1. Bagian Pertama

Bagian pertama memuat latar belakang, kajian teori, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bagian Kedua

Bagian kedua memuat jenis, sumber dan teknik pengumpulan data, teknik analisis, waktu dan lokasi penelitian, definisi operasional, variabel penelitian dan alur pikir penelitian.

3. Bagian Ketiga

Bagian ketiga memuat hasil penelitian, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

4. Bagian Keempat
Bagian keempat memuat hasil analisa peneliti, serta pembahasan hasil yang peneliti kemukakan.
5. Bagian Kelima
Bagian kelima memuat kesimpulan dan saran penelitian. Bagian ini berisi kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil pembahasan dan analisis serta saran yang dapat memberikan acuan kedepannya untuk mewujudkan tujuan dan penelitian ini.

1.6 Kajian Teori

Penginderaan jauh merupakan ilmu serta seni memperoleh informasi sebuah objek, menganalisis data tanpa kontak langsung dengan objek tersebut (Humam, dkk., 2020). Sampai saat ini teknologi yang paling mutakhir adalah penggunaan data informasi yang berasal dari foto udara karena memiliki resolusi yang tinggi dan sifat stereoskopisnya sangat baik.

1.7.1 Remote Sensing Ecological Index (RSEI)

Remote Sensing Ecological Index (RSEI) merupakan indeks komposit berbasis penginderaan jauh yang digunakan untuk menilai kondisi ekologi secara menyeluruh melalui integrasi berbagai parameter biofisik yang berasal dari citra satelit. Menurut Xu (2013), RSEI dibangun dari empat indikator utama yang merepresentasikan komponen ekosistem, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) sebagai indikator vegetasi, *Normalized Difference Built-up and Soil Index* (NDBSI) sebagai indikator kecerahan lahan atau tingkat pembangunan, *Land Surface Temperature* (LST) sebagai indikator panas permukaan, serta *Wetness* (WET) sebagai indikator kelembaban tanah dan vegetasi.

Keempat parameter tersebut terlebih dahulu dinormalisasi ke dalam rentang nilai 0–1 untuk menghindari perbedaan skala antar variabel. Selanjutnya, dilakukan analisis *Principal Component Analysis* (PCA) untuk mengintegrasikan seluruh parameter menjadi satu indeks komprehensif. Nilai *Principal Component 1* (PC1) dianggap mewakili variasi utama kondisi ekologis wilayah. Menurut Firoosjaei dkk. (2020), nilai RSEI dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RSEI = 1 - PC1(NDVI, NDBSI, LST, WET) \dots \dots \dots (1)$$

atau dalam bentuk fungsi:

$$RSEI = f(NDVI, NDBSI, LST, WET) \dots \dots \dots (2)$$

Nilai RSEI berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan kondisi ekologi yang sangat baik, sedangkan nilai mendekati 0 menggambarkan kondisi yang sangat rendah atau terdegradasi. RSEI dapat digunakan untuk

menganalisis dinamika spasial dan temporal perubahan kualitas ekologi pada berbagai skala, baik regional maupun perkotaan.

Firosjaei dkk. (2020) menegaskan bahwa pendekatan ini unggul karena bersifat objektif, efisien, serta tidak memerlukan parameter tambahan atau penentuan bobot subjektif sebagaimana metode tradisional. RSEI juga mampu merepresentasikan keseimbangan ekologis antara vegetasi, kelembapan, suhu, dan tingkat pembangunan. Oleh karena itu, penerapan RSEI sangat relevan dalam penelitian yang bertujuan menilai degradasi lingkungan, mengidentifikasi area kritis, serta mendukung arahan pengendalian dan perencanaan tata ruang yang berkelanjutan.

Untuk mengevaluasi perhitungan model RSEI, penelitian ini menggunakan klasifikasi ekologi, sebagai berikut :

Tabel 1.1 Klasifikasi RSEI

Kelas RSEI	Rentang Nilai	Karakteristik Ekologi	Ciri Wilayah
Sangat Buruk	0.0 – 0.2	Degradasi lingkungan ekstrem	1. Urbanisasi tinggi dengan polusi berat 2. Banyak lahan terbuka (tambang, deforestasi) 3. Suhu permukaan sangat tinggi 4. Air permukaan hampir tidak ada
Buruk	0.2 – 0.4	Kondisi ekologi rusak	1. Area industri dengan sedikit vegetasi 2. Lahan kering dan tandus 3. Permukiman padat tanpa ruang hijau 4. Sungai tercemar atau mengering
Sedang	0.4 – 0.6	Ekologi cukup stabil	1. Area pertanian dengan pengelolaan intensif 2. Permukiman dengan taman kota 3. Sungai dan waduk dengan kualitas air sedang 4. Suhu permukaan sedang
Baik	0.6 – 0.8	Lingkungan sehat & stabil	1. Kawasan hijau perkotaan yang luas 2. Hutan sekunder dengan regenerasi baik 3. Lahan basah dan ekosistem alami 4. Polusi rendah dengan suhu terkendali
Sangat Baik	0.8 – 1.0	Ekosistem alami yang optimal	1. Hutan primer dan kawasan konservasi 2. Daerah pegunungan dengan vegetasi lebat 3. Sungai dan danau alami dengan kualitas air tinggi 4. Udara bersih dengan suhu rendah

Sumber : Multi Areal Planning Indonesia (MAPID)

1.7.2 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling banyak digunakan dalam analisis penginderaan jauh untuk menilai tingkat kehijauan dan kesehatan vegetasi suatu wilayah. Indeks ini pertama kali diperkenalkan oleh Rouse et al. (1974) dan telah menjadi indikator penting dalam studi lingkungan karena kemampuannya mengukur aktivitas fotosintesis tanaman melalui perbandingan antara reflektansi spektral pada kanal inframerah dekat (*Near Infrared/NIR*) dan kanal merah (*Red*). NDVI dihitung menggunakan rumus:

$$NDVI = \frac{NIR - Merah}{NIR + Merah} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

NDVI = *Normalised Difference Vegetation Index* (Indeks Vegetasi Berdiferensiasi Normalisasi), digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan vegetasi

NIR = *Near Infrared*, yaitu pantulan cahaya dari kanal inframerah-dekat yang tinggi pada vegetasi sehat.

Red = Merah, yaitu pantulan cahaya dari kanal merah yang diserap oleh vegetasi untuk fotosintesis.

Dimana pada Citra *Landsat 8* dan *9* NIR adalah band 5, dan Merah adalah band 4.

Nilai NDVI berada dalam rentang -1 hingga +1, di mana nilai positif yang mendekati +1 menunjukkan vegetasi hijau dan sehat, sedangkan nilai mendekati nol atau negatif menggambarkan permukaan non-vegetasi seperti air, bangunan, atau tanah kosong (Xu, 2013). Secara ekologis, nilai NDVI yang tinggi menandakan kawasan dengan produktivitas biomassa tinggi, sementara nilai rendah mengindikasikan tekanan ekologis akibat urbanisasi atau degradasi lahan. Dalam konteks penelitian kualitas ekologi perkotaan, NDVI berfungsi sebagai indikator utama untuk mengidentifikasi perubahan tutupan vegetasi dari waktu ke waktu, sehingga membantu memahami hubungan antara pertumbuhan lahan terbangun dan penurunan fungsi ekologis wilayah.

Untuk mengevaluasi perhitungan nilai NDVI, penelitian ini menggunakan klasifikasi, sebagai berikut :

Tabel 1.2 Klasifikasi Kualitas NDVI

Rentang Klasifikasi	Kategori	Keterangan
-1 s/d -0.03	Lahan tidak bervegetasi	Menunjukkan permukaan air atau lahan kosong
-0.03 s/d 0.15	Kehijauan sangat rendah	Hampir tanpa vegetasi

0.15 s/d 0.25	Kehijauan rendah	Semak belukar, padang rumput tipis
0.25 s/d 0.35	Kehijauan sedang	Kebun, hutan muda, sawah
0.35 s/d 1	Kehijauan tinggi	Hutan tropis, lahan hijau tinggi

Sumber : Peraturan Menteri Kehutanan RI nomor P.12/Menhut-II/2012

1.7.3 NDBSI (*Normalized Difference Built-up and Soil Index*)

Kekeringan terkait dengan urbanisasi atau area konstruksi (Boori dkk., 2021). *Normalized Difference Built-Up and Bare Soil Index* (NDBSI) digunakan untuk menunjukkan kekeringan dan dihasilkan oleh *Built-up Index* (BI) dan *Soil Index* (SI) (Xu 2013). NDBSI memanfaatkan gabungan *Soil Index* (SI) dan *Index-based Build-up Index* (BI). Indeks tanah dianggap valid jika nilai *Build-up Index* (BI) berada dalam kisaran $0 < IBI < 200$. Nilai BI yang lebih tinggi, yang menunjukkan proporsi lahan terbangun yang lebih besar, sesuai dengan permukaan lahan terbuka atau tidak bervegetasi dan biasanya dikaitkan dengan warna yang lebih cerah. Sebaliknya, nilai SI yang lebih rendah menunjukkan area bervegetasi atau permukaan lahan tidak terbuka, yang dicirikan oleh warna yang lebih gelap. Ini juga menegaskan bahwa Indeks tanah valid dan mencerminkan keberadaan vegetasi atau lahan tidak terbuka sebagaimana ditunjukkan oleh pantulan yang lebih gelap (Sitorus dkk., 2019), berikut persamaan yang digunakan:

a. IBI (*Index-based Build-up Index*)

$$IBI = (Float("B6") - Float("B5")) / (Float("B6") + Float("B5")) \dots\dots\dots(4)$$

B6: *Band Shortwave Infrared 1* (SWIR1) - sensitif terhadap material bangunan dan tanah kering

B5: *Band Near Infrared* (NIR) - sensitif terhadap vegetasi

NDBI Mendeteksi daerah terbangun (urban areas) dengan interpretasi nilai positif adalah daerah terbangun dan nilai negatif adalah non-terbangun

b. SI (*Soil Index*)

$$SI = (Float("B4") - Float("B6")) / (Float("B4") + Float("B6")) \dots\dots\dots(5)$$

B4: *Band Red* - diserap kuat oleh klorofil

B6: *Band SWIR1*

Component Bare Soil Index berfungsi mendeteksi tanah terbuka (bare soil) dengan interpretasi nilai tinggi adalah tanah terbuka/ekspos

c. NDBSI

$$NDBSI = ("IBI" + "SI") / 2.....(6)$$

Merupakan rata-rata dari dua komponen di atas yang menggabungkan informasi daerah terbangun dan tanah terbuka dengan rentang nilai: -1 hingga +1

d. Koreksi Dengan MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*)

$$MNDWI = (Float("B3") - Float("B6")) / (Float("B3") + Float("B6")).....(7)$$

B3: *Band Green* - direfleksikan kuat oleh air

B6: *Band SWIR1* - diserap kuat oleh air

MNDWI berfungsi mengidentifikasi badan air dengan interpretasi MNDWI > 0 adalah area perairan dan MNDWI ≤ 0 adalah area non-perairan

e. Koreksi NDBSI

$$NDBSI\ Cor = Con("MNDWI" > 0.0, -0.8, "IBI").....(8)$$

Air memiliki karakteristik spektral yang dapat dikonfusi dengan tanah terbuka. Dalam konteks NDBSI, air harus memiliki nilai sangat rendah (negatif kuat). Nilai -0.8 dipilih sebagai threshold jelas untuk memisahkan air dari kategori lain

Perhitungan NDBSI dalam penelitian ini mengacu pada konsep yang dikembangkan oleh Xu (2013) dengan modifikasi untuk meningkatkan akurasi pemisahan kelas lahan. Metode ini mengkombinasikan NDBI (Zha et al., 2003) dan indeks tanah terbuka, kemudian dikoreksi dengan MNDWI (Xu, 2006) untuk menghindari misklasifikasi badan air sebagai lahan terbangun.

Beberapa penelitian terkini telah mengimplementasikan koreksi serupa dalam perhitungan NDBSI. Wang dan Xu (2019) menerapkan masking air berdasarkan MNDWI sebelum analisis NDBSI untuk studi di area Three Gorges Reservoir. Demikian pula, Yang et al. (2020) menggunakan logika kondisional untuk mengatur nilai NDBSI pada area air menjadi nilai negatif konstan, meningkatkan akurasi analisis tekanan antropogenik.

1.7.4 WET (*Wetness*)

Wetness Index merupakan persamaan yang dihasilkan melalui *Tasseled Cap Transform* (TCT). TCT merupakan pendekatan yang berguna untuk meminimalisir hilangnya informasi pada setiap band dengan menggunakan teknik kompresi spektral (Xu et al., 2018). TCT sering digunakan dalam pemantauan ekosistem untuk merepresentasikan objek seperti vegetasi, air, kelembaban tanah, dan kerusakan tanah (Healey et al., 2005; Jin & Sader, 2005). Dalam penelitian ini, indeks kebasahan yang digunakan untuk menyusun RSEI menggunakan Citra *Landsat 8* disajikan dibawah ini:

Formula umum *Wetness* menggunakan bobot pada pita spektral Landsat sebagai:

$$Wetness = 0.1511 \times Band_{Blue} + 0.1973 \times Band_{Green} + 0.3283 \times Band_{Red} + 0.3407 \times Band_{NIR} - 0.7117 \times Band_{SWIR1} - 0.4559 \times Band_{SWIR2} \dots \dots \dots (9)$$

atau

$$Wetness = 0.1511 * "B1" + 0.1973 * "B2" + 0.3283 * "B3" + 0.3407 * "B4" - 0.7117 * "B5" - 0.4559 * "B6" - 0.5703 * "B7" \dots \dots \dots (10)$$

Nilai *Wetness* yang lebih tinggi mencerminkan kondisi kelembaban tanah yang lebih baik (Crist & Cicone, 1984). Koefisien TCT untuk reflektansi satelit *Landsat 8* dapat dilihat pada **Tabel 5**. Dengan klasifikasi rentang nilai *Wetness Index*, disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 1.3 Koefisien TCT untuk reflektansi satelit *Landsat 8*

TCT	(Blue) Band 2	(Green) Band 3	(Red) Band 4	(NIR) Band 5	(SWIR1) Band 6	(SWIR2) Band 7
<i>Brightness</i>	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.508	0.1872
<i>Greenness</i>	-0.2941	-0.243	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
<i>Wetness</i>	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559
TCT4	-0.8239	0.0849	0.4396	-0.058	0.2013	-0.2773
TCT5	-0.3294	0.0557	0.1056	0.1855	-0.4349	0.8085
TCT6	0.1079	-0.9023	0.4119	0.0575	-0.0259	0.0252

Sumber : *Geographic Information System (GIS)*

Tabel 1.4 Klasifikasi *Wetness*

Nilai <i>Wetness Index</i>	Kategori	Keterangan
<-0.5	Sangat Kering	Tanah tandus atau permukaan keras
-0.5 s/d -0.3	Kering	Tanah lapang, vegetasi miring,
-0.3 s/d -0.1	Lembab	Wilayah agraris, vegetasi sedang
-0.1 s/d 0	Sangat Lembab	Area revegetasi lebat
> 0	Basah	Lahan basah

Sumber : Jamil (2013)

1.7.5 LST (*Land Surface Temperature*)

Suhu Permukaan Tanah (*Land Surface Temperature* atau LST) merupakan parameter yang digunakan untuk merepresentasikan tingkat panas suatu wilayah (Feng & Zou, 2019). Menurut Becker dan Li (1990) dalam Utomo dkk. (2017), LST

dipengaruhi oleh keseimbangan energi di permukaan tanah, kondisi atmosfer di atas permukaan, serta karakteristik media di bawah permukaan tanah.

LST mencerminkan suhu permukaan yang dipengaruhi oleh interaksi udara, perbedaan kondisi antarwilayah, serta kadar air yang terkandung di permukaan bumi. Fenomena ini memiliki peran penting dalam kajian perubahan iklim global, mengingat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer dapat menyebabkan kenaikan suhu permukaan tanah. Oleh karena itu, LST didefinisikan sebagai suhu permukaan tanah yang diukur pada permukaan bumi dan berfungsi sebagai indikator penting untuk memahami perubahan iklim serta dampaknya terhadap lingkungan.

LST diperoleh melalui pengolahan band termal (band 10) pada Citra *Landsat 8* dan *Landsat 9* untuk mewakili indikator suhu permukaan. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengubah digital number (DN) menjadi data radian top of atmosphere (ToA). Untuk mendapatkan data ToA pada Citra *Landsat 8 OLI/TIRS* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL - O_i \dots \dots \dots (11)$$

dimana:

- $L\lambda$ = ToA spektral radian
- ML = *radiance multiplicative band*
- AL = *radiance add band*
- Q_{cal} = *quantized and calibrated standard product pixel value (DN)*
- O_i = *correction value band10*

Langkah selanjutnya adalah mengubah data spektral radian menjadi data *brightness temperature* (BT). Proses yang digunakan untuk mendapatkan nilai BT dalam satuan derajat celcius dapat memanfaatkan nilai thermal constant K_1 dan K_2 . Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai BT adalah:

$$L\lambda = \frac{x}{\ln(\frac{K_1}{L\lambda} + 1)} - 273,15 \dots \dots \dots (12)$$

dimana:

- L_λ = radiance spektral,
 - K_1, K_2 = konstanta kalibrasi sensor (dari metadata),
 - $\ln$ = logaritma natural.
- (Hasnat. 2021)

Perhitungan LST juga dapat dilakukan dengan cara berikut :

- a. *Radiansi Top of Atmosphere (TOA)*

Menggunakan faktor penskalaan radiansi, nilai digital Thermal Infra-Red dapat dikonversi menjadi radiansi spektral TOA.

Rumus:

$$LA = ML \times Qcal + AL - Oi \dots\dots\dots(13)$$

Untuk *Band 10*:

$$LA = 0,0003342 \times Band10 + 0,10000 - 0,29 \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

- LA = Radiansi spektral TOA (Watt/(m² × sr × μm))
- ML = Faktor multiplikatif radiansi band
- AL = Faktor aditif radiansi band
- Qcal = Nilai piksel terkuantisasi dan terkalibrasi (DN)
- Oi = Nilai koreksi untuk Band 10 adalah 0,29

b. *Brightness Temperature (BT) Top of Atmosphere (TOA)*

Data radiansi spektral dikonversi menjadi *brightness temperature top of atmosphere* menggunakan nilai konstanta termal dari metadata.

Rumus:

$$BT = K2 / \ln(K1/LA + 1) - 273,15 \dots\dots\dots(15)$$

Untuk *Band 10*:

$$BT = (1321,0789 / \ln(774,8853/LA + 1)) - 273,15 \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

- BT = *Brightness temperature top of atmosphere* (°C)
- LA = *Radiansi spektral TOA* (Watt/(m² × sr × μm))
- K1 = Konstanta K1 untuk band termal
- K2 = Konstanta K2 untuk band termal

c. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

NDVI dihitung menggunakan band Near Infra-red (Band 5) dan Red (Band 4).

Rumus:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \dots\dots\dots(17)$$

Atau:

$$NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4) \dots\dots\dots (18)$$

Dimana :

RED = Nilai DN dari band merah (Band 4)

NIR = Nilai DN dari band near-infrared (Band 5)

d. *Land Surface Emissivity* (LSE)

Emisivitas permukaan tanah dihitung dari nilai NDVI.

1. Hitung Proporsi Vegetasi (PV):

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

PV = Proporsi vegetasi

NDVI = Nilai NDVI

NDVI_{min} = Nilai minimum NDVI dalam citra

NDVI_{max} = Nilai maksimum NDVI dalam citra

2. *Hitung Land Surface Emissivity* (E):

$$E = 0,004 \times PV + 0,986 \dots\dots\dots (20)$$

Dimana :

E = *Emisivitas* permukaan tanah

0,986 adalah nilai koreksi dari persamaan

e. *Land Surface Temperature* (LST)

Suhu permukaan tanah dihitung menggunakan brightness temperature, panjang gelombang, dan emisivitas permukaan.

Rumus:

$$LST = BT / [1 + (\lambda \times BT / c2) \times \ln(E)] \dots\dots\dots (21)$$

Dimana :

LST = Suhu permukaan tanah (°C)

BT = *Brightness temperature top of atmosphere* (°C)

λ = Panjang gelombang radiasi yang dipancarkan (untuk Band 10: 10,8 μm ; untuk Band 11: 12,0 μm)

E = *Emisivitas* permukaan tanah

c_2 = Konstanta = 14388 $\mu\text{m K}$

Catatan:

$c_2 = h \times c / s = 1,4388 \times 10^4 \mu\text{m K}$

h = *Konstanta Planck* = $6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

s = *Konstanta Boltzmann* = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

c = Kecepatan cahaya = $2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$

Sumber : Youtube GIS & RS Solution “*Estimating Land Surface Temperature Landsat 8/9*”

1.7.6 Normalisasi

Komponen penyusun RSEI yang terdiri dari 4 indikator, memiliki perbedaan dalam rentang nilai. Proses normalisasi berfungsi untuk menyeragamkan rentang nilai di antara 4 indikator penyusun RSEI. Rentang nilai yang dihasilkan dari proses normalisasi adalah 0 hingga 1, dimana 0 mencerminkan nilai terendah dan nilai 1 mencerminkan nilai tertinggi pada masing masing indikator.

Perhitungan normalisasi perlu mempertimbangkan aspek fungsi indikator dalam menyusun RSEI, dimana indikator kehijauan (NDVI) dan indikator Kebasahan (WET) berkorelasi positif terhadap ekologi, sedangkan indikator kekeringan (NDBSI) dan suhu (LST) berkorelasi negatif terhadap ekologi. Berikut persamaannya :

$$NI = (I - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}) \dots\dots\dots(22)$$

$$NI = (I_{max} - I) / (I_{max} - I_{min}) \dots\dots\dots(23)$$

dimana NI sebagai nilai normalisasi setiap indikator, I merupakan data indikator yang dihitung, Imin merupakan nilai minimum indikator dan Imax merupakan nilai maksimum indikator (Xu, 2013).

1.7.7 Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) digunakan untuk mengintegrasikan keempat indikator setelah normalisasi dan dibobot berdasarkan kontribusi masing-masing indikator terhadap PC1 (Zhu et al., 2020). PCA memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi variabel yang paling penting dan PCA dapat menghilangkan efek *co-linearity* diantara 4 variabel (Seddon et al., 2016). PC1 yang menghasilkan nilai RSEI₀ secara rumus dapat ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$RSEI_0 = PC1 (f NDVI, WET, NDBSI, LST).....(24)$$

dimana $RSEI_0$ merupakan hasil analisis PCA pada PC1, NDVI untuk indikator kehijauan, WET untuk indikator kebasahan, NDBSI untuk indikator kekeringan, dan LST untuk indikator suhu permukaan.

Hasil perhitungan RSEI secara lebih lanjut perlu dilakukan normalisasi kembali hingga menghasilkan nilai dengan rentang 0 – 1 yang dibagi dalam 5 kelas. Proses normalisasi dalam RSEI digunakan untuk memudahkan interpretasi hasil dengan membaginya setiap rentang nilai 0,2 dengan kategori nilai 0–0,2 (sangat buruk), 0,2–0,4 (buruk), 0,4–0,6 (sedang), 0,6–0,8 (baik), 0,8–1 (sangat baik). Berikut persamaan normalisasinya:

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0-min}) / (RSEI_{0-max} - RSEI_{0-min}).....(25)$$

dimana RSEI adalah hasil normalisasi, $RSEI_{0-min}$ merupakan nilai minimum pada $RSEI_0$, dan $RSEI_{0-max}$ merupakan nilai maksimum pada $RSEI_0$.

1.7.8 Urban Sprawl

Meningkatnya jumlah penduduk perkotaan berdampak langsung pada meningkatnya kebutuhan masyarakat dalam berbagai aspek kehidupan, meliputi aspek politik, ekonomi, sosial, budaya, dan teknologi. Kondisi tersebut mendorong intensifikasi aktivitas penduduk perkotaan. Sementara itu, ketersediaan ruang di wilayah perkotaan bersifat tetap dan terbatas, sehingga peningkatan kebutuhan ruang untuk permukiman serta berbagai fungsi perkotaan lainnya cenderung mengarah ke wilayah pinggiran kota. Proses pengambilalihan lahan non-perkotaan di kawasan pinggiran dikenal sebagai *invasion*, sedangkan perembetan kenampakan fisik kekotaan ke arah luar wilayah kota disebut sebagai *Urban Sprawl* (Yunus, 2000).

Urban sprawl, yang juga dikenal sebagai pemekaran kota, merupakan proses bertambah luasnya wilayah kota secara fisik akibat pertumbuhan penduduk dan tingginya arus urbanisasi. Peningkatan jumlah penduduk perkotaan mendorong bertambahnya kebutuhan akan perumahan, perkantoran, serta berbagai fasilitas sosial dan ekonomi. Keterbatasan lahan di pusat kota menyebabkan terjadinya alih fungsi lahan di kawasan sekitar kota (*urban periphery*) sebagai bentuk adaptasi terhadap kebutuhan ruang tersebut (Apriani, 2015).

Lebih lanjut, urban sprawl dapat digambarkan sebagai pola pembangunan yang tidak terencana, menyebar, berkepadatan rendah, dan tidak terstruktur di kawasan pinggiran kota. Salah satu manifestasi nyata dari fenomena ini adalah meningkatnya pembangunan kawasan perumahan yang tersebar di wilayah pinggiran. Perkembangan perumahan tersebut kemudian diikuti oleh bertambahnya

jaringan jalan serta munculnya berbagai aktivitas ekonomi, khususnya kegiatan komersial (Hanief, 2014).

Urban sprawl juga dipahami sebagai salah satu bentuk pertumbuhan kota (*urban growth*) yang cenderung bersifat negatif. Dari aspek fisik, fenomena ini ditandai dengan bertambahnya bangunan secara horizontal maupun vertikal yang disertai dengan perubahan fungsi lahan di wilayah sekitar kota. Pembangunan perumahan baru, jaringan jalan, dan bangunan komersial menyebabkan wilayah perkotaan meluas hingga ke kawasan pedesaan serta meningkatkan intensitas permukiman pada daerah yang sebelumnya bersifat rural. Dalam jangka panjang, kota yang mengalami urban sprawl akan terus membesar dan seolah menyatu dengan wilayah sekitarnya, sehingga membentuk satu kesatuan kenampakan kekotaan meskipun secara administratif wilayah tersebut terpisah, sebagaimana karakteristik kota metropolitan.

Berdasarkan berbagai teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa urban sprawl merupakan proses perembetan fisik kota yang berlangsung secara menyebar, tidak terencana, tidak teratur, dan sering kali bersifat acak (*leapfrog development*) di kawasan pinggiran kota atau *urban periphery*. Fenomena ini umumnya ditandai oleh meningkatnya pembangunan perumahan di wilayah pinggiran, berkembangnya permukiman dengan kepadatan rendah, bertambahnya bangunan secara horizontal maupun vertikal, penggunaan lahan yang terpisah, serta tingginya ketergantungan terhadap kendaraan pribadi. Urban sprawl menjadi salah satu faktor utama yang mendorong perkembangan penggunaan lahan di kawasan pinggiran kota.

1.7.9 Karakteristik Urban Sprawl

Keberadaan urban sprawl dapat diidentifikasi melalui perubahan pola penggunaan lahan yang terjadi secara bersamaan dan saling berkaitan. Menurut Yunus (2000), terdapat beberapa karakteristik utama yang menandai terjadinya urban sprawl. Pertama, *single-use zoning*, yaitu kondisi di mana fungsi-fungsi lahan seperti kawasan permukiman, komersial, dan industri berkembang secara terpisah satu sama lain. Pola ini menyebabkan terjadinya segregasi fungsi ruang yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan mobilitas antar kawasan.

Kedua, *low-density zoning*, yang menunjukkan bahwa perkembangan wilayah perkotaan cenderung terjadi pada kawasan dengan tingkat kepadatan penduduk yang relatif rendah. Pertumbuhan pada wilayah berkepadatan rendah ini mencerminkan penggunaan lahan yang kurang efisien serta mendorong meluasnya wilayah terbangun ke kawasan pinggiran kota.

Ketiga, *car-dependent communities*, yaitu kondisi kawasan yang mengalami urban sprawl dengan tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap kendaraan pribadi,

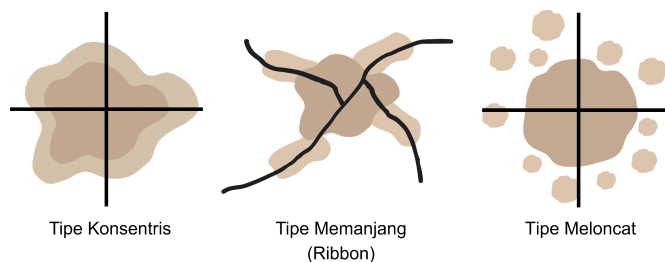
khususnya mobil. Ketergantungan ini muncul akibat terpisahnya zona pemukiman dari kawasan industri dan komersial, sehingga sebagian besar aktivitas sehari-hari, seperti bekerja dan berbelanja, membutuhkan penggunaan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi utama.

1.7.10 Tipe Urban Sprawl

Menurut Yunus (2000), proses perluasan wilayah perkotaan (*urban sprawl*) secara umum dapat dibedakan ke dalam tiga tipe utama. Pertama, perembetan konsentris (*concentric development* atau *low density continuous development*), yaitu pola perluasan kota yang berlangsung secara perlahan dan merata ke segala arah dari pusat kota. Harvey Clark (1971) menyebut tipe ini sebagai perkembangan perkotaan berkepadatan rendah yang bersifat kontinyu, sedangkan Wallace (1980) mengistilahkannya sebagai perkembangan konsentris. Dibandingkan dengan tipe lainnya, perembetan konsentris merupakan bentuk urban sprawl yang terjadi paling lambat.

Kedua, perembetan memanjang (*ribbon development*, *linear development*, atau *axial development*), yaitu pola perkembangan kota yang tidak merata di seluruh sisi wilayah pinggiran, melainkan terkonsentrasi di sepanjang jalur transportasi utama, khususnya yang bersifat radial dari pusat kota. Pada tipe ini, intensitas perkembangan paling tinggi terjadi di sepanjang koridor transportasi, sehingga kawasan di sepanjang rute utama mengalami tekanan pembangunan yang paling besar.

Ketiga, perembetan meloncat (*leap frog development* atau *checkerboard development*), yang merupakan tipe urban sprawl paling tidak efisien. Pola perkembangan ini ditandai oleh pembangunan kawasan perkotaan yang tersebar secara sporadis dan terfragmentasi di tengah wilayah non-perkotaan, terutama lahan pertanian. Banyak pakar lingkungan menilai tipe ini sebagai bentuk perkembangan yang paling merugikan, baik dari segi ekonomi maupun estetika, karena menyulitkan pemerintah dalam penyediaan infrastruktur dan fasilitas pelayanan publik. Biaya pembangunan jaringan prasarana pada pola ini relatif tinggi dan tidak sebanding dengan jumlah penduduk yang dilayani, terutama jika dibandingkan dengan kawasan perkotaan yang berkembang secara kompak.



Gambar 1.1 Tipe *Urban Sprawl*

1.7 Penelitian Terdahulu

Peneliti terdahulu merupakan salah satu cara yang digunakan oleh peneliti untuk mendapatkan suatu perbandingan untuk penelitian selanjutnya. Penelitian terdahulu juga menjadi referensi atau sumber yang kemudian digunakan penulisan untuk mengetahui bagaimana metode penelitian, hasil penelitian hingga kesimpulan pada penelitian terdahulu. Hal ini membantu peneliti menjaga orisinalitas dari sebuah penelitian. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang telah dikaji oleh penulis dijabarkan pada **Tabel 7.** di bawah

1.8 Kerangka Konsep

Kerangka konsep penelitian menggambarkan secara sistematis pelaksanaan penelitian oleh peneliti. Dokumen ini merinci topik yang dibahas mulai dari identifikasi masalah NSPK, hingga referensi literatur yang dipakai serta menjabarkan tujuan penelitian dan variabel-variabel yang dikaji. Kerangka konsep juga memuat kelurahan yang diharapkan di akhir penelitian. Kerangka konsep penelitian dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 1** di bawah ini.

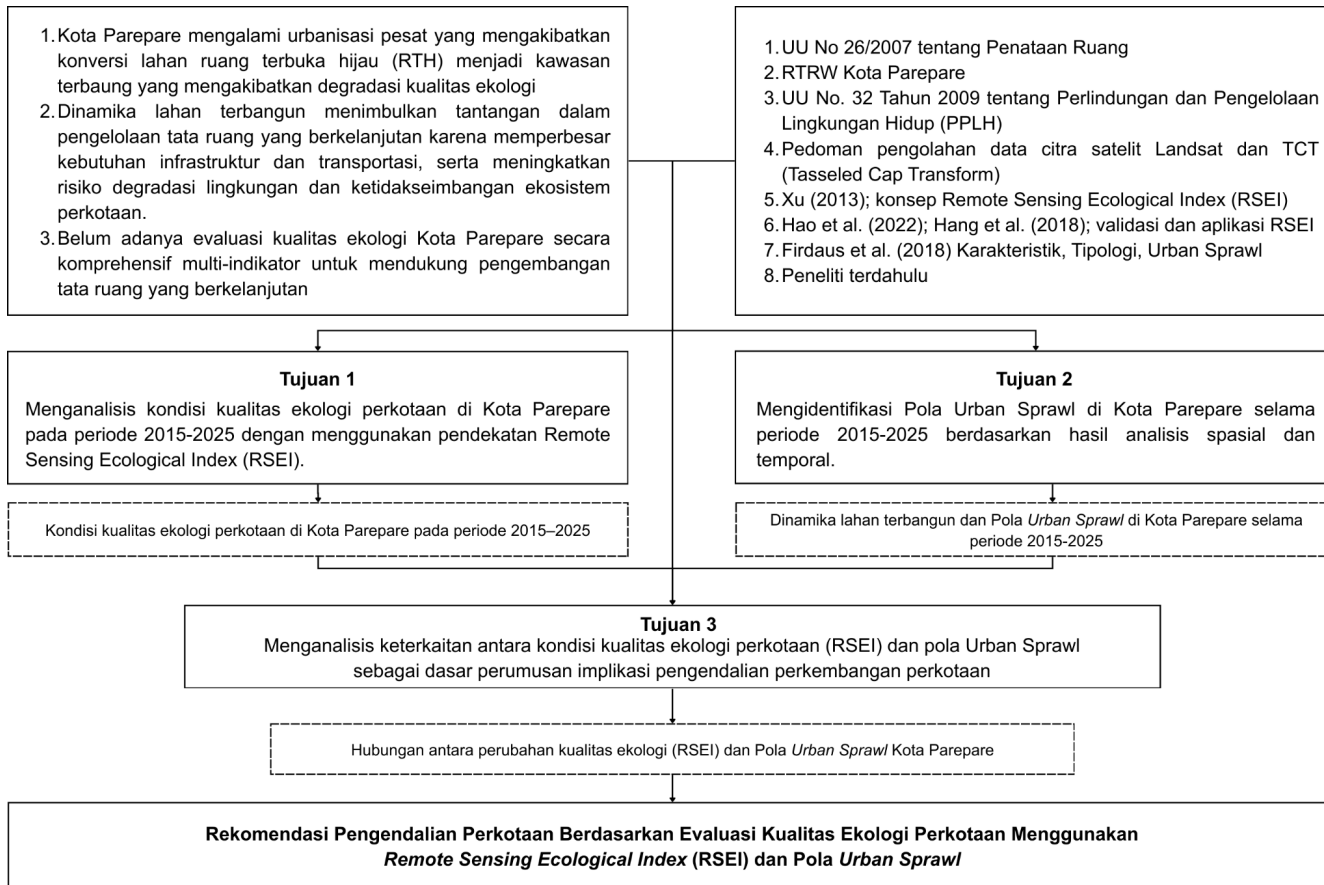
Tabel 1.5 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis	Variabel Penelitian	Metode Penelitian	Persamaan dengan Penelitian Saya	Perbedaan	Output Jurnal
1	<i>A Remote Sensing Index for Evaluation of Urban Ecological Quality: The RSEI</i>	Xu, H. (2013)	NDVI, Wetness, NDBI, LST	PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	Sama-sama menggunakan RSEI untuk evaluasi kualitas ekologi perkotaan	Hanya mengembangkan konsep dasar RSEI tanpa analisis spasial-temporal atau keterkaitan dengan tata ruang	RSEI terbukti efektif, obyektif, dan sederhana untuk menilai kualitas ekologi perkotaan
2	<i>Urban Ecosystem Quality Assessment Based on the Improved Remote Sensing Ecological Index</i>	Zhang, G., & Kuang, H. (2025) – <i>PeerJ</i>	NDVI, Wetness, NDBI, LST, <i>Difference Index</i> (PM2.5)	PCA + Analisis Spasial (GEE)	Sama-sama menggunakan RSEI untuk menilai kualitas ekologi kota	Mengganti LST dengan PM2.5 untuk menghasilkan DRSEI; fokus pada polusi udara	DRSEI lebih akurat untuk wilayah urban padat, lebih sensitif dibanding RSEI
3	<i>Assessment of Optimal Seasonal Selection for RSEI Construction: A Case Study of Ecological Environment Quality Assessment in the Beijing–Tianjin–Hebei Region</i>	Fang et al. (2023)	NDVI, Wetness, NDBI, LST (Musim Hujan–Kemarau)	RSEI + Analisis Temporal	Sama-sama menggunakan RSEI untuk analisis kualitas ekologi	Fokus pada pengaruh musim dalam pemilihan citra optimal, bukan perkembangan lahan terbangun	Musim lembap menghasilkan nilai RSEI lebih representatif untuk ekologi

No	Judul	Penulis	Variabel Penelitian	Metode Penelitian	Persamaan dengan Penelitian Saya	Perbedaan	Output Jurnal
4	<i>Spatiotemporal Variations of Urban Ecological Quality Using RSEI: A Case Study in China</i>	Liang, J., Chen, J., & Xu, H. (2021)	NDVI, Wetness, NDBI, LST (2000–2020)	Remote Sensing + PCA + GIS	Sama-sama menilai dinamika kualitas ekologi perkotaan	Penelitian jangka panjang di China, tanpa integrasi kebijakan tata ruang	Penurunan RSEI akibat urban sprawl; kebijakan RTH terbukti membantu perbaikan
5	<i>Ecological Environment Quality Assessment Based on RSEI and Landscape Pattern in Chengdu, China</i>	Chen et al. (2024) – <i>Remote Sensing</i>	NDVI, Wetness, NDBI, LST, Metrik Lanskap	PCA + Analisis FRAGSTATS	Sama-sama menilai kualitas ekologi perkotaan berbasis RSEI	Menambahkan metrik fragmentasi lanskap untuk menilai konektivitas ekologis	Hubungan negatif antara fragmentasi lahan dan nilai RSEI
6	<i>Urban Expansion and Land Surface Temperature in Tropical Cities: A Case of Makassar, Indonesia</i>	Nugraha, A., et al. (2020)	Tutupan Lahan, Suhu Permukaan (LST)	Landsat + NDVI + LST + Regresi	Sama-sama menilai dampak pertumbuhan kota terhadap lingkungan	Tidak menggunakan RSEI, hanya fokus pada LST dan UHI	Pertumbuhan lahan terbangun meningkatkan suhu dan memperparah UHI
7	<i>Measuring Urban Sprawl Using Remote Sensing and Landscape Metrics</i>	Ji, W., Xu, W., & Yang, Y. (2021)	Lahan Terbangun, Fragmentasi Lahan, Kepadatan	Landsat + GIS + Landscape Metrics	Sama-sama menganalisis sprawl perkotaan dengan citra satelit	Tidak menggunakan RSEI, fokus pada metrik spasial	Urban sprawl memperburuk degradasi ekologi dan menurunkan RTH

No	Judul	Penulis	Variabel Penelitian	Metode Penelitian	Persamaan dengan Penelitian Saya	Perbedaan	Output Jurnal
8	<i>Sustainability of Urban Area Development Based on the Preparation of Green Open Spaces in Parepare City</i>	Azilia, A.M., Selintung, M., & Syafri (2023)	Ruang Terbuka Hijau (RTH), Kebijakan RTRW	Deskriptif Kualitatif	Sama-sama meneliti aspek ekologis di Kota Parepare	Tidak menggunakan penginderaan jauh, hanya fokus pada kebijakan RTH	Kota Parepare belum mencapai target 30% RTH, perlu strategi peningkatan
9	<i>Urban Ecological Environment Quality Assessment Based on RSEI and Sentinel-2 Imagery: A Case of Wuhan, China</i>	Liu et al. (2024) – <i>Remote Sensing</i>	NDVI, Wetness, NDBI, LST (Sentinel-2)	RSEI + PCA + GIS	Sama-sama memakai RSEI dan analisis citra multi-temporal	Menggunakan Sentinel-2, bukan Landsat, untuk resolusi spasial lebih tinggi	RSEI Sentinel-2 menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan tutupan lahan
10	<i>Keberlanjutan Pembangunan Kawasan Perkotaan Berbasis Penyiapan Ruang Terbuka Hijau di Kota Parepare (Kec. Bacukiki)</i>	Mirza Azilia, M., Selintung, & Syafri (2023) – <i>URSJ</i>	RTH Eksisting, Kebijakan Tata Ruang	Kualitatif Deskriptif + Interpretasi Citra	Sama-sama fokus pada aspek ekologis Parepare	Tidak memakai RSEI atau citra Landsat, lebih ke strategi kebijakan	Diperlukan peningkatan RTH privat dan publik untuk keseimbangan ekologi

Gambar 1. Kerangka Konsep



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif merupakan metode yang digunakan untuk menetapkan fakta melalui penjelasan yang memadai, termasuk melakukan penelitian untuk mendeskripsikan secara akurat atribut beberapa kelompok dan fenomena individu, dan melakukan penelitian untuk menentukan frekuensi kejadian untuk meminimalkan penyimpangan dan memaksimalkan reliabilitas. Sedangkan pendekatan kuantitatif merupakan metode sistematis yang berlandaskan filsafat positivisme, dimana dalam mengumpulkan data hingga analisis datanya menggunakan bantuan statistik. Biasanya digunakan untuk menentukan populasi dan sampel secara random. Diharapkan dengan metode deskriptif pendekatan kuantitatif dapat menjelaskan dan menjawab permasalahan pada penelitian yang telah dirumuskan oleh peneliti. Penelitian ini, khususnya menggunakan metode penginderaan jauh. Penginderaan jauh adalah proses untuk memperoleh gambaran singkat tentang suatu bidang studi, termasuk ilmu pengetahuan, teknologi atau seni, bila menghasilkan dari suatu definisi yang diberikan oleh para ahli dalam bidang tertentu. Dengan metode analisis yaitu menggunakan indeks ekologi atau *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI).

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Parepare, yang terletak di wilayah pesisir Provinsi Sulawesi Selatan dan berfungsi sebagai pusat ekonomi, pendidikan dan pemerintahan di kawasan tersebut. Kota ini memiliki peran strategis sebagai perkotaan dengan tingkat urbanisasi yang tinggi, ditandai oleh perkembangan infrastruktur yang pesat serta dinamika sosial-ekonomi yang kompleks. Pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan September 2025



PETA LOKASI PENELITIAN

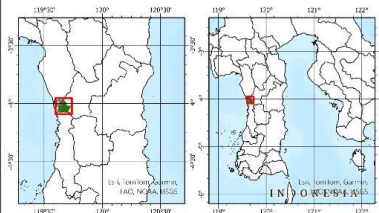


Scale: 1:40.000

0 0.39 0.78 1.57 2.35 3.14 Km

Spatial Reference
Name: GCS WGS 1984
GCS: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Map Units: Degree

INSET PETA :



Legend

Batas Administrasi

- Kota Parepare
- Batas Administrasi Kabupaten

Sumber Peta :

1. RTRW Kota Parepare Shp Batas Administrasi Kabupaten
2. RTRW Kota Parepare Shp Batas Administrasi Kecamatan

Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian

2.3. Populasi dan Sampel

Populasi merupakan jumlah keseluruhan dari objek penelitian yang akan diteliti (Sugiyono, 2013). Kumpulan objek penelitian ini dapat berupa makhluk hidup maupun benda mati berupa bangunan, gedung dan sebagainya. Populasi dalam penelitian ini, yaitu semua masyarakat yang berada di lokasi penelitian.

2.3.1 Populasi

Populasi merupakan jumlah keseluruhan dari objek penelitian yang akan diteliti (Sugiyono, 2013). Kumpulan objek penelitian ini dapat berupa makhluk hidup maupun benda mati berupa bangunan, gedung dan sebagainya. Berdasarkan definisi tersebut, populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh wilayah administratif Kota Parepare yang terdiri dari 4 Kecamatan dan 22 Kelurahan, dengan luas total sekitar 99,33 Km². Wilayah ini secara administratif dan fungsional merupakan kawasan perkotaan yang mengalami tekanan pembangunan tinggi, baik dari segi pertumbuhan permukiman. Ekspansi infrastruktur, maupun perubahan penggunaan lahan yang berpengaruh langsung terhadap kualitas ekologi.

Secara spasial, populasi penelitian ditentukan berdasarkan cakupan area pada citra satelit Landsat 8 yang mencakup keseluruhan Kota Parepare. Setiap piksel citra (Beresolusi 30x30 meter) merepresentasikan satuan observasi yang menggambarkan kondisi lingkungan fisik tertentu, seperti vegetasi, suhu permukaan, kelembaban dan permukaan terbangun.

2.3.2 Sample

Menurut Sugiyono (2017), sampel merupakan bagian dari populasi yang berfungsi sebagai sumber data dalam suatu penelitian. Arikunto (2019) juga menyatakan bahwa sampel adalah sebagian kecil dari populasi yang digunakan untuk mewakili keseluruhan populasi dalam kajian ilmiah. Oleh karena itu, dapat dipahami bahwa sampel merupakan elemen representatif dari populasi yang dijadikan dasar pengumpulan data. Pemilihan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan metode dan teknik tertentu yang disesuaikan dengan tujuan penelitian.

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode *total sampling*. Menurut Sugiyono (2020). *Total sampling* adalah teknik penentuan sampel bila semua anggota populasi digunakan sebagai sampel. Hal ini sering dilakukan bila jumlah populasi relatif kecil atau penelitian yang ingin membuat generalisasi dengan kesalahan yang sangat kecil. Maka seluruh populasi unit spasial yang tercakup dalam citra satelit Landsat 8. Kota Parepare tahun 2015 - 2025 digunakan sebagai sampel total, dimana semua piksel valid dalam cakupan wilayah studi dianalisis tanpa reduksi.

2.4. Jenis Data dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu data citra satelit dan data sekunder. Data citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini

adalah Landsat 8, yang merupakan data penginderaan jauh dari satelit Landsat. Dan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta penggunaan lahan dan administrasi Kota Parepare, data statistik dan laporan terkait lingkungan dari Dinas Lingkungan Hidup atau instansi terkait.

2.5. Teknik Pengumpulan Data

Pada proses penelitian, peneliti menggunakan beberapa metode untuk mengumpulkan data yang digunakan. Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Studi literatur, menurut Darmadi (2011), adalah metode yang dilakukan oleh peneliti setelah mereka menentukan topik penelitian dan rumusan masalah. Metode ini berfungsi untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber tertulis yang relevan dengan isu yang diteliti. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan studi literatur pada saat proses pembuatan tinjauan pustaka. Peneliti mengumpulkan beberapa jurnal maupun penelitian ilmiah terkait penelitian kualitas ekologi menggunakan penginderaan jauh untuk menguatkan penelitian yang sedang dilakukan serta menganalisis dan mempraktikkan metode terbaru.

2. Studi Dokumentasi

Menurut Sugiyono (2017), dokumentasi adalah salah satu cara yang digunakan untuk memperoleh data dan informasi yang dapat membantu penelitian. Dalam memperoleh penelitian ini studi dokumentasi dilakukan dalam referensi untuk tinjauan pustaka dan saat pra penelitian yaitu pengumpulan data-data sekunder seperti peta, data citra Landsat 8.

3. Studi Observasi

Menurut Basrowi dan Suwandi (2008, hlm. 94), observasi sebagai teknik pengumpulan data memiliki karakteristik khusus yang membedakannya dari teknik lain seperti wawancara dan angket. Jika wawancara dan angket terbatas pada interaksi langsung dengan individu, observasi memberikan cakupan yang lebih luas dalam pengumpulan data, karena diperolehnya deskripsi objektif mengenai individu, hubungan mereka secara aktual satu sama lain, serta interaksi mereka dengan lingkungan. Hal ini dilakukan tanpa mengganggu aktivitas kelompok atau individu yang sedang diamati. Observasi ini dilakukan dengan mengunjungi langsung ke lapangan berupa lokasi wilayah berdasarkan klasifikasi kualitas ekologi bertujuan untuk melakukan validasi nilai RSEI.

2.6. Teknik Analisis Data

Sugiyono (2016) mengemukakan bahwa analisis data merupakan proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dokumentasi dengan cara mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkan ke dalam kategori, menjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Analisis *Raster*, *Geostatistical Analyst*, *Ratio Frekuensi* dan *Gap Analyst*.

2.6.1 Analisis Raster

Dalam tujuan penelitian pertama menganalisis karakteristik kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare menggunakan RSEI, dilakukan analisis menggunakan teknik teknik raster dengan langkah-langkah sistematis.

Analisis ini menggunakan citra satelit *Landsat 8* yang mencakup spektrum *near-infrared (NIR)*, *red*, *blue*, *green*, *SWIR1*, *SWIR2*, serta *band termal (Band 10)* untuk wilayah Kota Parepare. Data ini kemudian diproses melalui koreksi atmosferik untuk meningkatkan akurasi, serta dipotong sesuai dengan batas administrasi Kota Parepare. Selanjutnya, dilakukan ekstraksi indikator ekologi yang menjadi komponen utama dalam perhitungan RSEI, yaitu :

1. *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, yang dihitung untuk mengukur tingkat kehijauan vegetasi di wilayah penelitian.
2. *WET (Humidity Index)*, yang mencerminkan kelembaban tanah dan air permukaan dihitung menggunakan komponen *wetness* dari *Tasseled Cap Transform (TCT)*.
3. *NDBSI (Normalized Difference Built-Up & Soil Index)*, yang digunakan untuk menilai tingkat kekeringan lahan.
4. *LST (Land Surface Temperature)*, yang menggambarkan suhu permukaan tanah diperoleh melalui pengolahan data termal dari Band 10.

Hasil analisis menunjukkan karakteristik kualitas ekologi berdasarkan distribusi keempat nilai RSEI. Hasil analisis akan berupa peta masing-masing komponen : NDVI, WET, NDBSI dan LST yang menunjukkan variasi spasial karakteristik lingkungan; NDVI menunjukkan tingkat kehijauan vegetasi; WET: distribusi kelembaban tanah dan vegetasi; NDBSI : tingkat kekeringan akibat permukaan terbangun dan tanah terbuka; LST : pola distribusi suhu permukaan.

2.6.2 Principal Component Analysis (PCA)

Untuk menjawab tujuan penelitian kedua, yaitu mengidentifikasi pola perubahan spasial dan temporal kualitas ekologi wilayah perkotaan di Kota Parepare melalui *Principal Component Analyst (PCA)*. Empat index *Remote Sensing Ecological*

Index (RSEI), yaitu *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, *LST (Land Surface Temperature)* yang dianalisis dari citra Landsat secara terpisah.

Selanjutnya, keempat indeks RSEI dihitung melalui analisis *Principal Component Analyst (PCA)* yang dirancang untuk mengevaluasi perubahan kualitas lingkungan ekologi regional secara kuantitatif dari tahun 2015 hingga 2025. Karena setiap indikator memiliki satuan dan rentang nilai yang berbeda, maka perlu dilakukan normalisasi terhadap keempat indikator tersebut ke dalam rentang [0, 1] (Jing., 2020)

Setelah seluruh indeks ekologis dinormalisasi ke dalam rentang [0, 1] untuk menyeragamkan skala dan menghindari bias dalam proses analisis PCA. PCA diterapkan untuk mengurangi dimensi data dan menggabungkan seluruh indeks ekologi ke dalam satu komponen utama (PC1). Komponen ini mewakili variasi terbesar dalam data dan mencerminkan kondisi ekologi komprehensif dari wilayah studi.

Nilai PC1 yang diperoleh dikonversi menjadi nilai RSEI dengan rumus :

$$RSEI = 1 - PC1 \dots\dots\dots (26)$$

Transformasi ini dilakukan agar nilai RSEI yang lebih tinggi mempresentasikan kondisi ekologi yang lebih baik. Setelah transformasi dilakukan maka nilai RSEI dapat dihasilkan menggunakan analisis PCA diplot dalam bentuk peta tematik untuk memvisualisasikan distribusi spasial kualitas lingkungan ekologi pada berbagai periode waktu. Peta-peta RSEI dari tahun yang berbeda dibandingkan untuk mengidentifikasi dinamika spasial dan temporal kualitas ekologi.

Pola perubahan yang diamati memberikan gambaran mengenai degradasi atau peningkatan kualitas lingkungan seiring waktu. Wilayah dengan nilai RSEI rendah diidentifikasi sebagai area yang memiliki kualitas ekologi buruk, seperti kawasan industri atau permukiman padat. Sebaliknya, wilayah dengan nilai RSEI tinggi, seperti ruang terbuka hijau atau area vegetasi alami, menunjukkan kualitas ekologi yang baik. Analisis ini memberikan pemahaman komprehensif tentang karakteristik kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare. Data yang dihasilkan dapat menjadi dasar untuk evaluasi lingkungan dan perencanaan tata ruang yang lebih berkelanjutan.

2.6.3 Analisis Perubahan Lahan Terbangun *Multi-Temporal*

Analisis perubahan lahan terbangun multi-temporal merupakan teknik yang digunakan untuk mengukur dinamika perubahan penggunaan lahan terbangun dalam rentang waktu tertentu secara spasial dan temporal. Pada penelitian ini, analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana pertumbuhan fisik Kota Parepare terjadi dari tahun 2015 hingga 2025. Sumber data utama yang digunakan adalah citra satelit multi-temporal, khususnya Landsat series (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, dan Landsat 8/9 OLI), yang memiliki keunggulan dalam ketersediaan data

jangka panjang dengan resolusi spasial 30 meter. Sebelum dianalisis, citra terlebih dahulu melalui tahap koreksi radiometrik dan geometrik untuk memastikan kualitas data yang konsisten.

Metode klasifikasi citra digunakan untuk memisahkan kelas penutup lahan, dengan fokus membedakan kategori lahan terbangun dan non-terbangun. Teknik klasifikasi yang umum dipakai adalah Supervised Classification dengan algoritma Maximum Likelihood Classifier (MLC) yang berbasis pada distribusi probabilitas tiap piksel (Jensen, 2015). Selain itu, metode berbasis machine learning seperti Random Forest juga dapat digunakan karena akurasi tinggi dalam mengklasifikasikan kategori penutup lahan yang kompleks (Weng, 2012).

Setelah citra terklasifikasi, dilakukan post-classification comparison untuk membandingkan hasil antar periode. Perubahan luas lahan terbangun dihitung dengan formula:

$$\Delta A = A_t - A_{t-1} \dots \dots \dots (27)$$

dengan:

- ΔA = perubahan luas lahan terbangun,
- A_t = luas lahan terbangun pada tahun ke-t,
- A_{t-1} = luas lahan terbangun pada tahun sebelumnya.

Output analisis berupa peta distribusi lahan terbangun tiap periode serta data kuantitatif luas perubahan, yang dapat divisualisasikan dalam grafik tren. Informasi ini penting untuk menggambarkan pola pertumbuhan kota, mengidentifikasi area yang paling terkonversi, serta menjadi dasar analisis hubungan dengan kualitas ekologi (RSEI). Dengan demikian, teknik ini secara langsung menjawab pertanyaan penelitian mengenai dinamika spasial-temporal lahan terbangun di Parepare.

2.6.4 Analisis Spasial Berbasis Batas Administrasi Kecamatan

Untuk memahami distribusi dan variasi karakteristik ekologi antarwilayah, dilakukan analisis spasial berbasis unit administrasi kecamatan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola sebaran serta dinamika perubahan indikator ekologi—seperti NDVI, Wetness, NDBSI, LST, dan RSEI—pada tingkat kecamatan sebagai unit perencanaan dan pengambilan keputusan.

Analisis dilakukan dengan teknik tumpang susun (overlay) antara peta hasil klasifikasi masing-masing indikator dengan batas administrasi empat kecamatan di Kota Parepare menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro. Setiap peta indikator yang telah dinormalisasi dan diklasifikasikan ditumpangkan dengan layer batas administrasi untuk mengekstrak nilai statistik per kecamatan. Luas setiap kelas indikasi dihitung menggunakan alat Tabulate Area yang menghasilkan tabulasi luas

dalam satuan kilometer persegi untuk masing-masing kelas pada setiap kecamatan.

Hasil dari analisis ini berupa tabel yang menunjukkan luas dan persentase setiap kelas indikator per kecamatan untuk tahun 2015, 2020, dan 2025. Data tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan kondisi dan perubahan antarwilayah, sehingga dapat diidentifikasi kecamatan mana yang mengalami perbaikan atau degradasi ekologi, serta faktor-faktor lokal yang mungkin mempengaruhinya.

Pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih kontekstual karena karakteristik lingkungan dan tekanan pembangunan seringkali berbeda antar kecamatan. Dengan demikian, hasil analisis dapat menjadi masukan yang lebih operasional bagi perencana dan pengambil kebijakan dalam merumuskan intervensi yang tepat sasaran dan sesuai dengan kondisi spesifik setiap wilayah.

2.6.5 Analisis Deskripsi

Analisis deskriptif merupakan metode analisis kualitatif yang berfungsi untuk menginterpretasikan hasil kuantitatif dari analisis spasial sebelumnya. Data yang diperoleh dari analisis multi-temporal, buffer/concentric ring, serta RSEI berupa peta, tabel, dan grafik, kemudian diuraikan dalam bentuk narasi yang menjelaskan makna dan fenomena perkotaan yang terjadi. Menurut Neuman (2014), analisis deskriptif sangat penting untuk membangun pemahaman fenomenologis di balik data statistik, sehingga hasil penelitian tidak hanya berhenti pada angka tetapi juga mampu memberikan konteks.

Dalam penelitian ini, analisis deskriptif digunakan untuk:

1. Menjelaskan bagaimana distribusi spasial nilai RSEI di Kota Parepare berubah selama 2015 - 2025.
2. Menafsirkan pola *Urban Sprawl*, apakah termasuk tipe konsentris, memanjang atau melompat.
3. Mengaitkan kaitan RSEI dengan Tipe *Urban Sprawl* sebagai dasar perumusan implikasi pengendalian perkembangan perkotaan

Dengan analisis deskriptif, hasil RSEI yang menunjukkan degradasi ekologi dapat dihubungkan dengan kenaikan lahan terbangun. Begitu pula arah pertumbuhan kota yang terdeteksi dengan buffer dapat diinterpretasikan sebagai kecenderungan linear (misalnya mengikuti koridor jalan utama) atau radial (menyebar ke seluruh arah).

Pendekatan deskriptif ini menjembatani antara hasil analisis spasial dengan implikasi kebijakan. Melalui penjelasan naratif, penelitian tidak hanya menghasilkan data kuantitatif, tetapi juga interpretasi yang kaya tentang bagaimana urbanisasi di Parepare berdampak pada ekologi perkotaan. Dengan demikian, analisis ini

memperkuat argumentasi akademik sekaligus memberi dasar bagi rekomendasi kebijakan tata ruang yang lebih tepat sasaran.

2.6.6 Analisis Chi-Square

Uji Chi-Square (Chi-Square Test of Independence) secara umum digunakan untuk menguji apakah terdapat hubungan yang signifikan antara dua variabel yang bersifat kategorikal.

Data disusun dalam tabel kontingensi (crosstab) 3×3 yang menunjukkan frekuensi observasi setiap kombinasi kategori pada tingkat kecamatan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan statistik Chi-Square dengan rumus:

$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

2.7. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut dan ditarik kesimpulannya (Sugiyono., 2019). Sementara itu, Kerlinger (2006) mendefinisikan variabel sebagai konstruk atau sifat yang akan dipelajari dan memiliki nilai yang bervariasi antar individu atau objek.

Berikut adalah variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yang dirangkum secara lebih rinci pada **Tabel 2.1**

2.8. Definisi Operasional

1. Evaluasi Kualitas Ekologi Perkotaan

Evaluasi kualitas ekologi perkotaan diartikan sebagai proses penilaian kondisi keseimbangan lingkungan di wilayah Kota Parepare yang dilakukan secara spasial dan temporal menggunakan *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI). RSEI mengintegrasikan empat indikator utama, yaitu NDVI (vegetasi), *Wetness* (kelembaban), NDBSI (lahan terbangun/tanah kering), dan LST (suhu permukaan), melalui teknik *Principal Component Analysis* (PCA). Hasil evaluasi berupa nilai RSEI rentang 0–1 yang diklasifikasikan ke dalam lima kategori kualitas (sangat buruk hingga sangat baik), yang kemudian dianalisis keterkaitannya dengan pola urban sprawl untuk perumusan arahan pengendalian perkotaan.

2. *Remote Sensing Ecological Index* (RSEI)

RSEI adalah indeks komposit berbasis penginderaan jauh yang digunakan untuk menilai kualitas ekologi suatu wilayah secara objektif dan terintegrasi. Dalam penelitian ini, RSEI dibangun melalui *Principal Component Analysis* (PCA) terhadap empat indikator yang telah dinormalisasi, yaitu: (1) NDVI (vegetasi), (2) *Wetness*

(kelembaban tanah dan vegetasi), (3) NDBSI (lahan terbangun dan tanah kering), (4) LST (suhu permukaan). Nilai RSEI berkisar antara 0 hingga 1, dengan kategori: 0–0,2 (sangat buruk), 0,2–0,4 (buruk), 0,4–0,6 (sedang), 0,6–0,8 (baik), dan 0,8–1 (sangat baik). Semakin tinggi nilai RSEI, semakin baik kualitas ekologi wilayah tersebut.

3. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

NDVI adalah indeks vegetasi (-1 hingga +1) yang menunjukkan kepadatan dan kesehatan vegetasi, dihitung dari pantulan spektral band Near Infrared (NIR) dan Red pada citra Landsat. Dalam penelitian ini, NDVI digunakan sebagai proksi tutupan hijau; nilai tinggi (>0,3) menunjukkan vegetasi sehat, nilai rendah atau negatif menunjukkan lahan terbuka, terbangun, atau air.

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

NDBSI merupakan indeks (-1 hingga +1) yang mengidentifikasi lahan terbangun dan tanah terbuka/kering, dihitung dari kombinasi Index-based Built-up Index (IBI) dan Soil Index (SI). Dalam penelitian ini, NDBSI dikoreksi dengan MNDWI untuk menghindari misklasifikasi air. Nilai tinggi (>0) mengindikasikan dominasi permukaan terbangun/keras, berkorelasi negatif dengan kualitas ekologi.

5. LST (*Land Surface Temperature*)

LST menggambarkan suhu permukaan tanah (°C) yang diperoleh dari band termal (Band 10) citra Landsat, melalui konversi radiasi termal dan koreksi emisivitas berbasis NDVI. Dalam penelitian ini, LST digunakan sebagai indikator urban heat island (UHI); suhu tinggi mengindikasikan tekanan termal dan degradasi lingkungan.

6. Wetness (Indeks Kelembaban)

Wetness adalah indeks kelembaban tanah dan vegetasi yang dihasilkan dari komponen wetness transformasi Tasseled Cap (TCT) pada citra Landsat. Dalam penelitian ini, WET merepresentasikan ketersediaan air permukaan/tanah; nilai positif tinggi menunjukkan area basah/lembab, nilai negatif rendah menunjukkan area kering.

7. *Principal Component Analysis (PCA)*

PCA merupakan teknik statistik multivariat untuk mereduksi dimensi dan mengintegrasikan keempat indikator (NDVI, WET, NDBSI, LST) yang telah dinormalisasi menjadi satu komponen utama (PC1). Dalam penelitian ini, PC1 mewakili variasi terbesar data ekologi dan dikonversi menjadi nilai RSEI akhir melalui transformasi linier.

8. Lahan Terbangun (*Built-up Land*)

Lahan terbangun didefinisikan sebagai area yang telah mengalami konversi dari lahan alami atau semi-alami menjadi permukiman, industri, perdagangan, jasa, dan infrastruktur. Dalam penelitian ini, identifikasi dilakukan melalui ekstraksi kelas

"Lahan Terbangun" dari hasil klasifikasi NDBSI dan konfirmasi visual citra, dengan resolusi spasial 30x30m per piksel Landsat.

9. Perubahan Lahan Terbangun *Multi-Temporal*

Perubahan lahan terbangun multi-temporal merupakan analisis komparatif spasial untuk mengukur dinamika pertumbuhan/penyusutan lahan terbangun antar periode waktu (2015, 2020, dan 2025). Dalam penelitian ini, dilakukan dengan teknik post-classification comparison dan penghitungan luas absolut serta persentase perubahan di tiap kecamatan.

10. Arah Ekspansi

Arah ekspansi adalah kecenderungan perkembangan spasial lahan terbangun di wilayah perkotaan yang diamati berdasarkan perubahan tutupan lahan dari waktu ke waktu. Dalam penelitian ini, arah ekspansi mengacu pada sebaran pertumbuhan fisik kota yang diidentifikasi melalui analisis multi-temporal citra Landsat 8 pada periode 2015–2025, yang diklasifikasikan ke dalam empat orientasi utama, yaitu utara, selatan, timur, dan barat. Identifikasi arah ekspansi dilakukan dengan membandingkan luasan dan sebaran piksel lahan terbangun (berdasarkan klasifikasi NDBSI) pada tahun 2015, 2020, dan 2025, kemudian dianalisis secara spasial untuk mengetahui pola pertumbuhan dominan di setiap kecamatan. Informasi arah ekspansi ini menjadi dasar dalam mengidentifikasi tipe urban sprawl (konsentris, memanjang, atau meloncat) serta merumuskan arahan pengendalian perkembangan perkotaan yang lebih spesifik dan terarah.

11. *Urban Sprawl*

Urban Sprawl didefinisikan sebagai fenomena perembetan fisik kota yang diidentifikasi melalui analisis spasial-temporal dari citra satelit. Dalam penelitian ini, *Urban Sprawl* diukur berdasarkan perubahan tutupan lahan terbangun dan pola sebarannya mengacu pada tipologi yang dikemukakan oleh Yunus (2000), yaitu:

- a. Perembetan Konsentris (*Concentric Development*): Perluasan kota yang berlangsung secara lambat dan merata ke segala arah dari pusat kota.
- b. Perembetan Memanjang (*Ribbon/Axial Development*): Perkembangan yang terkonsentrasi di sepanjang koridor transportasi utama.
- c. Perembetan Meloncat (*Leapfrog Development*): Perkembangan yang sporadis dan terfragmentasi, membentuk kantong-kantong pembangunan di tengah lahan non-terbangun.

Penting untuk dicatat bahwa identifikasi pola *Urban Sprawl* dalam penelitian ini semata-mata didasarkan pada interpretasi spasial dari data penginderaan jauh (citra Landsat), yang merekam perubahan fisik tutupan lahan dari waktu ke waktu. Penelitian ini tidak mengkaji aspek legalitas kepemilikan lahan, status perizinan mendirikan bangunan (IMB), maupun kesesuaian pola tersebut dengan regulasi penataan ruang yang berlaku. Dengan demikian, hasil identifikasi pola *Urban Sprawl* merupakan gambaran spasial empiris mengenai arah dan bentuk pertumbuhan fisik kota, bukan penilaian terhadap kepatuhan hukum pembangunan.

12. Analisis Deskriptif Spasial

Analisis deskriptif spasial merupakan interpretasi kualitatif terhadap hasil kuantitatif dan peta tematik untuk menjelaskan makna, pola, dan hubungan spasial-temporal antar variabel. Dalam penelitian ini, digunakan untuk menghubungkan dinamika RSEI, pola urban sprawl, dan data sekunder (kepadatan penduduk, RTRW) guna menjawab rumusan masalah.

13. Pertumbuhan Fisik Perkotaan

Pertumbuhan fisik perkotaan mencakup peningkatan luas area terbangun dan infrastruktur akibat penambahan penduduk dan aktivitas ekonomi. Dalam penelitian ini, dimanifestasikan sebagai peningkatan luas dan persebaran piksel terkategori sebagai "Lahan Terbangun" dari hasil analisis NDBSI multi-temporal.

14. Arahan Pengendalian Perkotaan

Arahan pengendalian perkotaan merupakan rekomendasi kebijakan dan strategi tata ruang yang dirumuskan berdasarkan temuan degradasi ekologi dan pola sprawl. Dalam penelitian ini, difokuskan pada tiga aspek: 1) Penguatan dan perluasan RTH, 2) Pengendalian alih fungsi lahan berbasis daya dukung, 3) Penataan ruang berbasis ekologi (ecological spatial planning).

15. Ruang Terbuka Hijau (RTH)

RTH adalah area terbuka dengan dominasi tumbuhan yang berfungsi ekologis (penyerap polutan, pengatur iklim mikro), sosial, dan estetika. Dalam penelitian ini, RTH menjadi variabel kebijakan kunci; kondisi eksisting diukur via NDVI, sementara target normatif mengacu pada ketentuan UU No. 26/2007 dan RTRW Kota Parepare (minimal 30% luas wilayah).

16. Tekanan Ekologis Perkotaan

Tekanan ekologis perkotaan menggambarkan tingkat gangguan terhadap fungsi lingkungan akibat aktivitas pembangunan dan urbanisasi. Tekanan ini diukur melalui kombinasi parameter suhu permukaan (LST), kekeringan (NDBSI), dan penurunan vegetasi (NDVI).

17. Validasi dan Uji Akurasi

Validasi dan uji akurasi merupakan proses verifikasi kebenaran hasil klasifikasi dan analisis citra. Dalam penelitian ini, dilakukan dengan: 1) Confusion Matrix berbasis sampel titik acak untuk menghitung Overall Accuracy dan Kappa Coefficient; 2) Observasi lapangan (ground truth) selektif di titik representatif setiap kelas RSEI.

2.9. Alur Pikir Penelitian

Pada penelitian ini alur penelitian memperlihatkan tentang bagaimana hubungan antara konsep, teori dan variabel yang digunakan dalam penelitian, serta bagaimana semuanya mengarah pada rumusan masalah dan tujuan penelitian. Alur pikir penelitian dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 2.1**

Tabel 2.1 Variabel Penelitian

No	Tujuan Penelitian	Variabel	Indikator	Kebutuhan Data	Jenis Data	Sumber Data	Metode Analisis
1	Menganalisis kondisi kualitas ekologi perkotaan di Kota Parepare pada periode 2015–2025 dengan menggunakan pendekatan <i>Remote Sensing Ecological Index (RSEI)</i>	Kualitas Ekologi (RSEI)	. NDVI .. WET .i. NDBSI .i. LST .i. Nilai RSEI	Citra Landsat 8 Kota Parepare (2015-2025) Administrasi Kota Parepare	Data sekunder kuantitatif	USGS (United States Geological Survey) RTRW Kota Parepare	Analisis Raster- Analisis PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)
2	Mengidentifikasi Pola <i>Urban Sprawl</i> di Kota Parepare selama periode 2015-2025 berdasarkan hasil analisis spasial dan temporal.	Lahan Terbangun (Pola <i>Urban Sprawl</i>)	. Luas lahan terbangun per tahun- Persentase perubahan lahan terbangun .. Arah ekspansi (utara, selatan, timur, barat)	Citra Landsat 8 Kota Parepare (2015-2025) Administrasi Kota Parepare	Data sekunder spasial	USGS (United States Geological Survey) RTRW Kota Parepare	Analisis perubahan lahan multi-temporal
3	Menganalisis keterkaitan antara kondisi kualitas ekologi perkotaan (RSEI) dan urban sprawl sebagai dasar perumusan implikasi pengendalian perkembangan perkotaan	Hubungan antara RSEI dan tipe <i>Urban Sprawl</i>	. Nilai rata-rata RSEI Kota Parepare Tahun 2025 .. Luas lahan terbangun Kota Parepare tahun 2025	Data hasil analisis RSEI Data hasil analisis tipe <i>Urban Sprawl</i>	Data hasil olahan (sekunder)	Hasil Analisis Tujuan 1 dan 2	Analisis Overlay Analisis Deskripsi

Gambar 2.1 Alur Pikir Penelitian

