



KOMPARASI METODE INDEKS SPEKTRAL UNTUK ANALISIS SPASIAL LAHAN TERBANGUN DI KOTA KENDARI

COMPARISON OF SPECTRAL INDEX METHODS FOR SPATIAL ANALYSIS OF BUILT-UP AREA IN KENDARI CITY

Ld. Asyrazil Maolana Nusriah¹, Nurgiantoro¹, Fitriani^{1*}, Tahir¹, Sawaludin¹, Alfirman²

¹Jurusan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Halu Oleo Kendari

²Jurusan Ilmu Lingkungan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo Kendari

*Korespondensi: fitrianihuni@uho.ac.id

Info Artikel:

• Artikel Masuk: 02/10/2025

• Artikel diterima: 30/03/2026

• Tersedia Online: 31/03/2026

ABSTRAK

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang banyak dimanfaatkan dalam analisis spasial, khususnya untuk pemetaan lahan terbangun dengan menggunakan indeks spektral. Penelitian ini bertujuan untuk mengkomparasikan tiga indeks lahan terbangun dengan menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2023. Metode analisis yang digunakan untuk menganalisis lahan terbangun terdiri dari Urban Index (UI), Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), dan Visible Red Near Infrared-Built Up Index (VrNIR-BI) yang memiliki perbedaan pada penggunaan saluran dan formulasi perhitungan, serta mengkorelasikan dengan Land Surface Temperature (LST). Hasil penelitian menunjukkan indeks VrNIR-BI memiliki akurasi tertinggi dengan nilai kappa sebesar 96,59%, sedangkan NDBI memiliki korelasi tertinggi dengan LST dengan nilai R^2 sebesar 0,5729. Berdasarkan hasil tersebut, VrNIR-BI direkomendasikan untuk analisis akurasi tinggi, sedangkan NDBI lebih sesuai untuk analisis terkait suhu permukaan. Temuan studi ini dapat digunakan sebagai pengendalian perkembangan kawasan terbangun dalam pembangunan perkotaan.

Kata Kunci: Kata Kunci: Komparasi, Lahan Terbangun, Penginderaan Jauh, Urban Index, Normalized Difference Built Up Index, Visible Red Near Infrared Built-Up Index, Landsat 8 OLI/TIRS, Kota Kendari

ABSTRACT

Remote sensing is a technology widely used in spatial analysis, especially for mapping built-up areas using spectral indices. This study aims to compare three built-up area indices using Landsat 8 OLI/TIRS imagery in 2023. The methods applied include the Urban Index (UI), Normalised Difference Built-Up Index (NDBI), and Visible Red Near Infrared-Built Up Index (VrNIR-BI), which differ in band combinations and calculation formulations and are also analysed in correlation to Land Surface Temperature (LST). The results show that the VrNIR-BI index has the highest accuracy with a Kappa value of 96.59%, while NDBI has the strongest correlation with LST with an R^2 value of 0.5729. Based on these findings, VrNIR-BI is recommended for high-accuracy analysis, while NDBI is more suitable for analyses related to surface temperature. These indices can be used to support monitoring and controlling built-up area development in urban planning.

Keywords: Comparison, Built-Up Land, Remote Sensing, Urban Index, Normalised Difference Built-Up Index, Visible Red Near-Infrared Built-Up Index, Landsat 8 OLI/TIRS, Kendari City

1. PENDAHULUAN

Urbanisasi yang berlangsung di kawasan perkotaan di Indonesia telah mendorong konversi lahan, sehingga terjadi perubahan lahan non terbangun menjadi lahan terbangun. Lahan terbangun merupakan kawasan yang telah mengalami proses pengembangan fisik berupa konstruksi bangunan atau pengerasan tanah yang mencakup permukiman, perkantoran, kawasan industri, perdagangan dan jasa (Oktinova dan Rudiarto, 2019). Perkembangan lahan terbangun di wilayah perkotaan cenderung mengalami peningkatan seiring dengan Pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan meningkatnya aktivitas ekonomi yang mendorong kebutuhan ruang terbangun (Handayani dan Rudiarto, 2014; Harimudin dan Fitriani, 2020; Naisabury dkk., 2025; Rakuasa, 2022). Kondisi ini menjadikan pemantauan lahan terbangun secara akurat dan efisien sebagai kebutuhan mendasar dalam mendukung perencanaan tata ruang yang berkelanjutan.

Kota Kendari sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Tenggara mengalami urbanisasi, sehingga lahan terbangun di Kota Kendari tercatat mengalami peningkatan dalam rentang waktu 1999-2019 yang ditandai adanya konversi lahan non terbangun menjadi lahan terbangun serta kecenderungan ekspansi ke wilayah pinggiran kotan akibat pertumbuhan penduduk, aktivitas ekonomi, dan peningkatan aksesibilitas (Harimudin dan Fitriani, 2020). Fenomena ini diperkuat oleh arus urbanisasi penduduk dan lemahnya kontrol terhadap pemanfaatan ruang (Alwan dkk., 2020), dan lahan terbangun di sejumlah kecamatan di Kota Kendari terus mengalami peningkatan luasan akibat pembangunan perkotaan (Amiruddin, 2014; Irsan dkk., 2024; Jaya dkk., 2024). Dinamika spasial tersebut menunjukkan Kota Kendari membutuhkan instrument pemantauan lahan berbasis data spasial untuk mendukung pengendalian pembangunan dan tata kelola ruang kota.

Teknologi penginderaan jauh menawarkan solusi efektif dalam pemantauan lahan terbangun secara spasial, temporal, dan kuantitatif (Javed dkk., 2021). Kemajuan teknologi sensor satelit multispektral pada wahana satelit Landsat 8/9 OLI dan Sentinel-2 MSI menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam resolusi spasial, temporal, dan radiometrik, serta kualitas kalibrasi dan koreksi atmosfer (Phiri dkk., 2020; Wulder dkk., 2022). Teknologi penginderaan jauh mengalami perkembangan, baik dari sensor satelit dan algoritma pengolahan data, kajian yang sebelumnya terpaku pada klasifikasi sederhana kini sudah berganti pada pemanfaatan indeks spektral. Indeks spektral digunakan sebagai alat ukur untuk menggambarkan kondisi dan karakteristik objek atau fenomena di permukaan bumi secara kuantitatif (Apriyanto dkk., 2023; Javed dkk., 2021). Berbagai indeks spektral telah dikembangkan untuk membantu klasifikasi citra satelit dalam mengidentifikasi fitur-fitur urban seperti lahan terbangun (Waladi, 2025), vegetasi dan kepadatan bangunan (Miranda, 2025), tanah kosong, dan badan air (Ramadhan dan Nugroho, 2025), serta menunjukkan peningkatan dalam studi penggunaan lahan dan tutupan lahan perkotaan (Javed dkk., 2021).

Beberapa metode indeks spektral lahan terbangun yang telah dikembangkan dan diuji dalam berbagai kajian antara lain adalah Normalized Difference Built-up Index (NDBI) (Ali dkk., 2019; Azhari, 2020; Muhaimin dkk., 2022; Prasetyo dkk., 2020), Urban Index (UI) (Bashit dkk., 2019; Muhaimin dkk., 2022), dan Visible and Near-Infrared Built-up Index (VrNIR-BI) (Estoque dan Murayama, 2015; Ezimand dkk., 2018). Ketiga indeks spektral tersebut memiliki perbedaan dalam kombinasi pita spektral dan formulasi matematis yang digunakan (Estoque dan Murayama, 2015; Javed dkk., 2021). Perbedaan formulasi tersebut mengakibatkan variasi dalam mendeteksi permukaan terbangun atau lahan terbangun dan vegetasi dalam konteks spasial.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji efektivitas berbagai indeks spektral dalam pemetaan lahan terbangun diberbagai kawasan perkotaan, baik di tingkat global maupun regional. Studi Javed dkk. (2021) di wilayah perkotaan menunjukkan indeks spektral dalam mendeteksi lahan terbangun dapat bervariasi tergantung pada karakteristik data, jenis sensor yang digunakan serta kondisi wilayah studi. He dkk. (2021) dalam studinya menyatakan bahwa tidak terdapat satu indeks spektral yang secara universal unggul dalam seluruh konteks spasial, karena karakteristik wilayah perkotaan yang heterogen serta keterbatasan masing-masing indeks, sehingga pemilihan dan evaluasi indeks perlu disesuaikan dengan kondisi studi. Hal ini

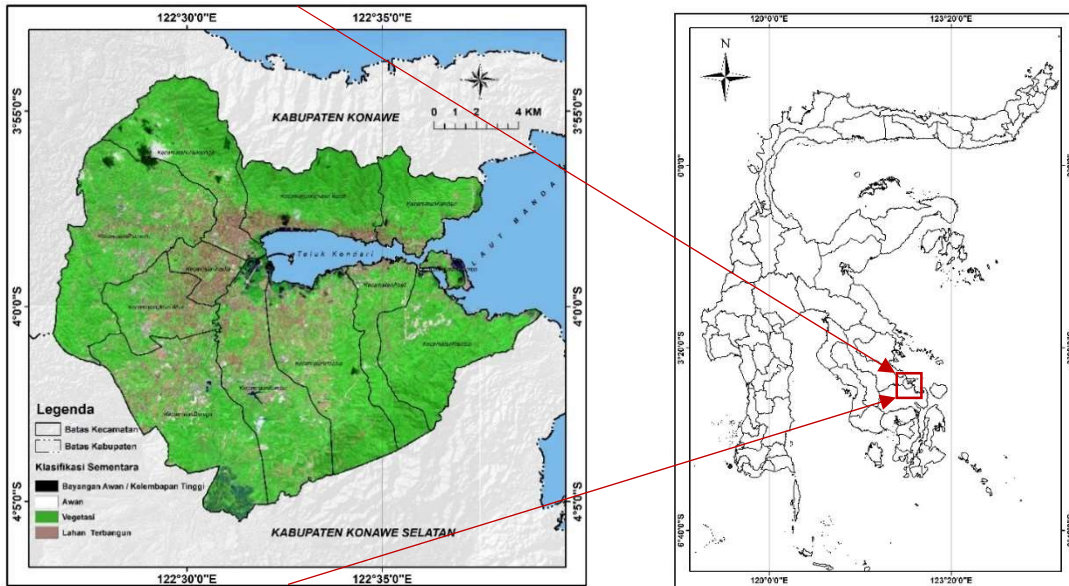
menegaskan pentingnya kajian komparatif antar indeks spektral yang dilakukan secara kontekstual pada wilayah dengan karakteristik perkotaan yang spesifik.

Di Indonesia, khususnya di Kota Kendari, kajian yang khusus membandingkan NDBI, UI, dan VrNIR-BI dalam mendeteksi lahan terbangun di kawasan perkotaan Sulawesi Tenggara masih sangat terbatas. Kesenjangan penelitian ini perlu diisi mengingat Kota Kendari merupakan wilayah yang tengah mengalami pertumbuhan lahan terbangun yang dinamis dan memerlukan instrument deteksi spasial berbasis peninderaan jauh yang dapat membantu dalam perencanaan tata ruang. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan indeks spektral lahan terbangun dengan menggunakan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), *Urban Indeks* (UI), dan *Visible Red-Near Infrared Built-up Index* (VrNIR-BI). Penelitian ini mengenai komparasi indeks spektral lahan terbangun untuk mengetahui indeks mana yang terbaik dalam menganalisis sebaran lahan terbangun di wilayah Kota Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi metodologis bagi pengembangan kajian penginderaan jauh perkotaan di Indonesia, khususnya di Kota Kendari sekaligus mendukung perencanaan tata ruang dan pengelolaan lahan berbasis data spasial.

2. DATA DAN METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Kota Kendari sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara memiliki karakteristik fisik wilayah berupa keberadaan Teluk Kendari yang membelah kawasan perkotaan serta topografi yang bervariasi antara wilayah pesisir, dataran, dan perbukitan (Gambar 1). Kondisi fisik ini terdapat keragaman respon spektral pada citra satelit yang menjadi tantangan tersendiri dalam proses deteksi lahan terbangun. Selain itu Kota Kendari telah teridentifikasi dan menunjukkan intensitas peningkatan *Urban Heat Island* (UHI), dimana konversi lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun telah memicu UHI di Kota Kendari, dimana paparan UHI meningkat dari tahun 2001 ke 2019 (Gandri dkk., 2022). Selain itu, kajian tentang *Urban Landscape Composition* (ULC) di Kota Kendari, khususnya pada area permukaan kedap air terus mengalami transformasi besar, dan perubahan UHI secara spasial cenderung bergerak di arah barat Kota Kendari (Nurgiantoro dkk., 2025).



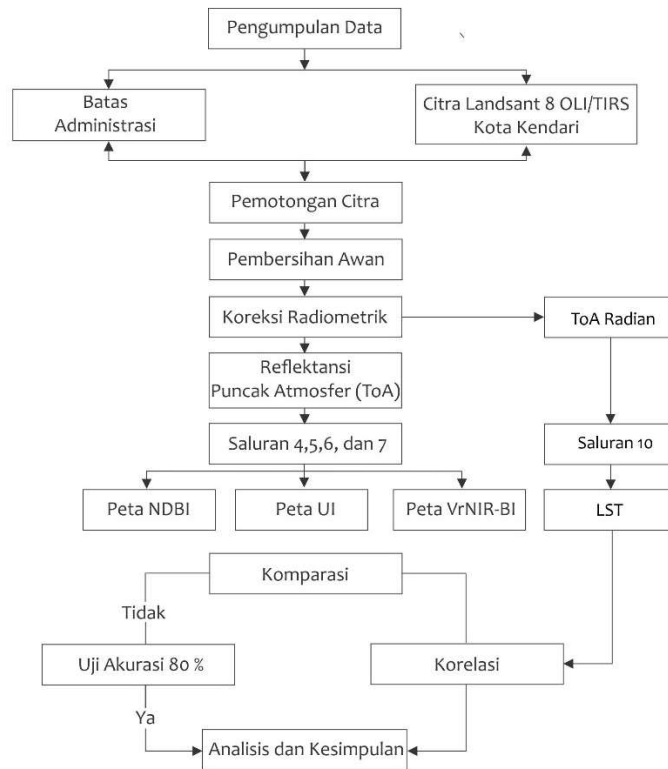
Sumber: penulis, 2025

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Kota Kendari memiliki ketersediaan data citra satelit yang memadai dari wahana Landsat 8/9 OLI dengan tutupan awan yang relatif dapat dikelola pada periode tertentu, sehingga mendukung kelayakan teknis pelaksanaan penelitian berbasis penginderaan jauh. Kondisi ini menegaskan bahwa deteksi lahan terbangun melalui indeks spektral memiliki urgensi dalam mendukung pengontrolan dampak perubahan tutupan lahan perkotaan di Kota Kendari. Oleh karena ini ketersediaan metode deteksi lahan terbangun melalui komparasi indeks spektral NDBI, UI, dan VrNIR-BI menjadi kebutuhan mendasar yang dapat mendukung perencanaan berbasis data spasial.

2.2 Pengolahan Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Data citra satelit *Landsat 8* OLI/TIRS sebelum dianalisis terlebih dahulu perlu dipersiapkan melalui beberapa tahapan pengolahan. Tahap pertama adalah pemotongan citra, yaitu proses pemangkasan bagian citra yang berada diluar kajian, agar analisis lebih terfokus pada area penelitian. Tahap kedua adalah penghilangan tutupan awan, yaitu proses pendeteksian awan dan bayangannya. Tahap ketiga adalah koreksi radiometrik, yaitu proses perbaikan nilai piksel citra untuk meminimalkan kesalahan (Gambar 2).



Sumber: penulis, 2025
Gambar 2. Proses Analisis

Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik merupakan proses penyesuaian nilai citra yang mengalami cacat atau kesalahan radiometrik, seperti pergeseran tingkat keabuan atau nilai piksel pada citra. Kesalahan ini biasanya disebabkan oleh faktor sistem optik, gangguan energi radiasi elektromagnetik di atmosfer, maupun akibat variasi sudut elevasi matahari. Untuk meningkatkan kualitas visual citra, koreksi radiometrik dilakukan agar nilai piksel sesuai kembali dengan pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya (Danoedoro, 2012). Koreksi *Top of Atmosphere* (ToA) Reflektansi dilakukan dengan mengkonversi nilai *digital number* (DN) ke nilai reflektansi (Matiur dan Jaelani, 2019; Octarina dkk., 2019; U.S. Geological Survey, 2019). Persamaan konversi untuk koreksi *Top of Atmosphere* (ToA) reflektansi yaitu sebagai berikut.

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A_p \tag{1}$$

dimana, $\rho\lambda'$ adalah TOA reflektansi, M_p adalah *Reflectance_Mult_Band_x* di mana x adalah nomor band, A_p adalah *Reflectance_Add_Band_x* di mana x adalah nomor band, Q_{cal} adalah nilai *digital number* (DN)

2.3 Analisis Data

2.3.1. Pengolahan Urban Index (UI)

Urban Index (UI) adalah metode untuk menunjukkan perbedaan antara bangunan dan alami, dalam proses pengolahannya menggunakan saluran inframerah tengah dan saluran inframerah dekat. Saluran ini sensitif dan bisa membedakan antara lahan terbangun dan yang masih alami contohnya, badan air, tumbuhan atau vegetasi dan juga tanah terbuka. Pada citra *Landsat 8 OLI/TIRS* metode *urban index* (UI) menggunakan

saluran 7 yaitu saluran inframerah tengah dan saluran 5 untuk saluran nframerah dekat (Permatasari dan Prasetyo, 2022). Rumus perhitungannya dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$UI = \frac{(SWIR2-NI)}{SWIR2+NIR} \quad (2)$$

Dimana, UI adalah *Urban Index*, SWIR2 adalah *Short-wave Infrared 2*, NIR adalah *Near Infrared* (Kawamura dkk., 1996; Sekertekin dkk., 2018)

2.3.2. Pengolahan *Normalized Difference Built – Up Index (NDBI)*

Pranata dan Kurniadin (2021) mengatakan salah satu teknik untuk mengidektifikasi kawasan permukiman atau wilayah yang sudah dilakukan pembangunan di permukaan bumi bisa dengan megggunakan indeks *Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)*. Lahan terbangun maupun bukan lahan terbangun sangat sensitif terhadap NDBI untuk mengidentifikasinya. Indeks ini adalah indeks yang populer digunakan dalam setiap kajian yang berhubungan dengan lahan terbangun (Binangkit dan Sari, 2023; Rachmadhani dkk., 2025; Zha dkk., 2003). Prosesnya juga cukup mudah dilakukan karena NDBI menggunakan saluran SWIR1 dan NIR yang hampir semua citra multispektral memilikinya (Hidayati dkk., 2018). Adapun rumus perhitungan NDBI dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$NDBI = \frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR} \quad (3)$$

Dimana, SWIR adalah *Shortwave Infrared (Inframerah tengah)* NIR adalah *Near Infrared (Inframerah dekat)*

2.3.2. Pengolahan *Visible Red Near Infrared-Buil Up Index (VrNIR-BI)*

Visible Red Near Infrared-Buil Up Index (VrNIR-BI) adalah indeks lahan terbangun yang digunakan untuk memisahkan lahan kedap air seperti bangunan dan lahan terbuka dengan memanfaatkan citra *Landsat ETM+* dan *Landsat OLI/TIRS*. Indeks ini menggunakan nilai reflektan saluran merah dan saluran inframerah dekat untuk menghasilkan daerah permukaan kedap air (Estoque dan Murayama, 2015). Analisis VrNIR-BI menggunakan rumus sebagai berikut.

$$VrNIR - BI = \frac{\rho S(red) - \rho S(NIR)}{\rho S(red) + \rho S(NIR)} \quad (4)$$

Dimana, $\rho S(red)$ adalah reflektan permukaan *band* merah (*Band 4*) dan $\rho S(NIR)$ adalah reflektan permukaan saluran inframerah dekat (*Band 5*) (Estoque dan Murayama, 2015)

2.4 Penilaian Metode Indeks Lahan Terpilih

Setelah dilakukan proses pengolahan dan klasifikasi indeks lahan terbangun, dilakukan penilaian metode indeks lahan terpilih untuk menilai indeks mana yang terbaik. Penilaian ini menggunakan dua metode yaitu uji akurasi dan analisis korelasi. Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix* yang menghasilkan nilai *overall accuracy* dan koefisien kappa sebagai tolak ukur ketelitian klasifikasi, dengan standar minimum akurasi sebesar 85 % berdasarkan ketentuan *United States Geological Survey (USGS)* (Danoedoro, 2012). Selanjutnya setiap indeks lahan terbangun dikorelasikan dengan LST untuk mengukur kekuatan hubungannya. Kekuatan hubungannya dinilai berdasarkan nilai koefisien determinan (R^2) (Fahmi dkk., 2025).

2.4.1. Uji Akurasi

Proses uji akurasi dilakukan dengan menentukan jumlah titik sampel, perhitungan *user accuracy*, perhitungan *producers accuracy*, perhitungan akurasi secara keseluruhan, perhitungan koefisien Kappa, dan menentukan interpretasi nilai koefisien Kappa. Uji akurasi adalah proses untuk menilai sejauh mana hasil klasifikasi suatu metode atau indeks sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Dalam konteks analisis lahan terbangun, matriks konfusi digunakan untuk mengevaluasi keakuratan klasifikasi lahan terbangun dengan membandingkan hasilnya terhadap data validasi atau data lapangan (Xi dkk., 2019). Tetapi dalam penelitian ini dilakukan uji akurasi dengan hasil interpretasi menggunakan *google earth* karena *google earth* menyediakan citra resolusi tinggi dan data historis yang memungkinkan interpretasi visual suatu wilayah tertentu dari tahun ke tahun (Islami dkk., 2022). Penentuan jumlah titik sampel dilakukan dengan berdasarkan rumus Slovin (Kristam M, 2020) seperti pada persamaan 5. Hasil uji akurasi kemudian dilakukan perhitungan *user accuracy* dengan persamaan 6, perhitungan *producers accuracy* dengan persamaan 7, perhitungan akurasi secara keseluruhan dengan persamaan 8, perhitungan koefisien Kappa dengan persamaan 9.

$$n = \frac{N}{1 + N \times e^2} \tag{5}$$

$$n = \frac{26.470}{1 + 26.470 \times 0,1^2} = 100$$

Dimana, n adalah Jumlah Sampel, N adalah Jumlah populasi (luas wilayah) (26.470 ha), e adalah Nilai presisi yang ditetapkan 10% (0,1). Citra satelit disesuaikan dengan data *google earth* yang akan di gunakan yaitu daerah Kota Kendari update citra terbaru hanya di tahun 2023. Jumlah titik sampel yang digunakan pada indeks UI, NDBI dan VrNIR-BI adalah berjumlah 100 titik. Lokasi titik sampel ditentukan secara *stratified random sampling* dengan menggunakan fitur *create random points* pada aplikasi ArcGIS 10.8 (Kristam M, 2020). Setiap titik sampel akan dibandingkan dengan data hasil interpretasi menggunakan *google earth*.

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk uji akurasi hasil klasifikasi lahan terbangun.

$$UA = \frac{\text{Number of Correctly Classified Pixels in each Category}}{\text{Total Number of Classified Pixels in that Category (The Row Total)}} \times 100 \tag{6}$$

$$PA = \frac{\text{Number of Correctly Classified Pixels in each Category}}{\text{Total Number of Classified Pixels in that Category (The Column Total)}} \times 100 \tag{7}$$

$$OA = \frac{\text{Total Number of Correctly Classified Pixels (Diagonals)}}{\text{Total Number of Reference Pixels}} \times 100 \tag{8}$$

$$KC = \frac{(\text{Total Samples} \times \text{Total Corrected Samples}) - \Sigma(\text{Column Total} \times \text{Row Total})}{\text{Total Samples}^2 - (\text{Column Total} - \text{Row Total})} \times 100 \tag{9}$$

Dimana, UA adalah *User's Accuracy*, PA adalah *Producer's Accuracy*, OA adalah *Overall Accuracy*, KC adalah *Kappa Coefficient* (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Ketentuan Koefisien Kappa

Nilai Koefisien Kappa	Strength of Agreement	% Data That are Reliable
0-20	Buruk/Tidak ada kesepakatan	0 – 4 %
0,21 – 0,39	Sangat Lemah	4 – 16 %
0,40 – 0,59	Lemah	16 – 36 %

Nilai Koefisien Kappa	Strength of Agreement	% Data That are Reliable
0,60 – 0,79	Sedang	36 – 64 %
0,80 – 0,90	Kuat	64 – 81 %
> 0,90	Hampir Sempurna	81 – 100 %

Sumber : McHugh (2012)

2.4.2. Korelasi Indeks Lahan Terbangun

Proses Korelasi antara indeks lahan terbangun dengan *Land Surface Temperature* (LST) dilakukan dengan memanfaatkan saluran termal yang terdapat pada persamaan 10. Kemudian dilakukan regresi sehingga akan menghasilkan nilai koefisien determinasi R^2 .

$$LST = (BT/1) + W * (BT/14380) * \ln(E) \quad (10)$$

Dimana, BT adalah *Top of atmosphere brightness temperature* ($^{\circ}C$), W adalah *Wavelength of emitted radiance*, E adalah *land surface emissivity* (Mehare dan Joshi, 2023; Singh dan Mishra, 2020)

Korelasi dilakukan dengan mendapatkan nilai R^2 . Dengan kata lain, R^2 mengindikasikan seberapa baik perubahan pada indeks lahan terbangun dapat memprediksi perubahan pada LST. Dengan nilai R^2 mendekati 1 merupakan hasil korelasi kuat yang bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Interval Kekuatan Korelasi

No	Koefisien Korelasi	Kekuatan Korelasi
1	$R^2 = 0,00$	Tidak ada korelasi
2	$0 < R^2 \leq 0,2$	Korelasi sangat lemah
3	$0,25 < R^2 \leq 0,50$	Korelasi cukup
4	$0,5 < R^2 \leq 0,75$	Korelasi kuat
5	$0,75 < R^2 \leq 0,99$	Korelasi sangat kuat
6	$R^2 = 1,00$	Korelasi sempurna

Sumber : Sarwono (2006)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Klasifikasi Indeks lahan Terbangun

Tabel 3 menunjukkan hasil luasan lahan terbangun berdasarkan tiga metode. Secara umum, ketiganya sama bahwa kategori bukan lahan terbangun mendominasi wilayah Kota Kendari, dengan luasan sekitar 42% untuk UI dan VrNIR-BI, serta 36% untuk NDBI. Metode NDBI cenderung mengklasifikasikan lebih banyak area sebagai lahan terbangun, terutama pada kategori sedang dan tinggi. Sementara UI dan VrNIR-BI memberikan hasil yang lebih seimbang. Untuk kategori tutupan awan, ketiga metode menghasilkan luasan yang sama, yaitu 4.400 Ha atau 17%. ini merupakan area yang tidak dapat diklasifikasikan lebih lanjut karena tertutup awan pada citra satelit. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2. Pada Tabel 3 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa metode VrNIR-BI paling banyak mendeteksi bukan lahan terbangun dengan luas 14.919,07 Ha (56%). Hal ini terjadi karena menurut Javed dkk. (2021), VrNIR-BI menggunakan saluran merah dan NIR, sehingga banyak tanah kosong atau lahan tanpa adanya vegetasi yang terdeteksi salah sebagai lahan terbangun.

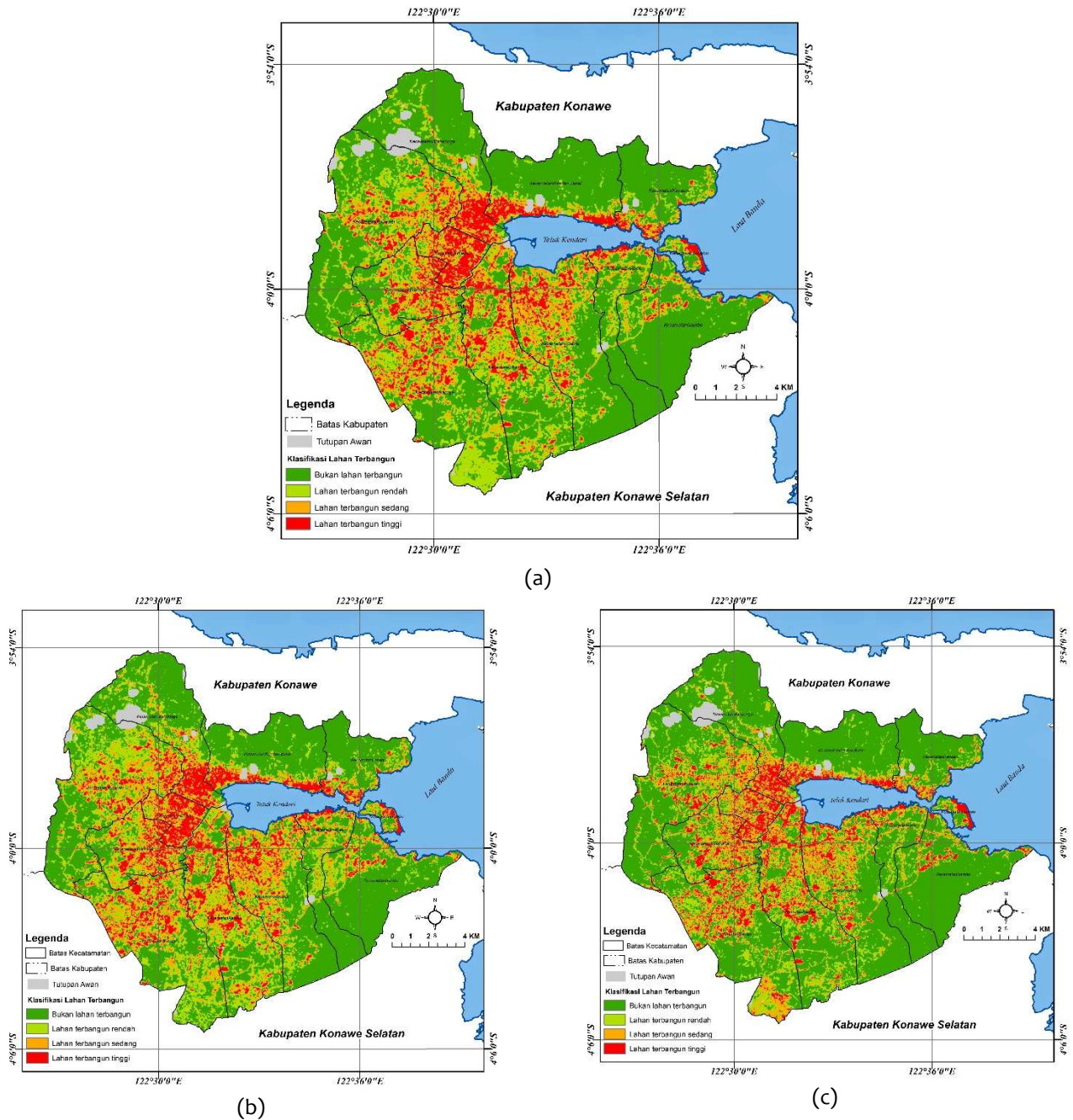
Tabel 3. Persentase Luas lahan Terbangun UI, NDBI dan VrNIR-BI Kota Kendari Tahun 2023

No	Klasifikasi	UI		NDBI		VrNIR-BI	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Bukan lahan terbangun	11.171,92	42	9.675,07	36	11.266,25	42
2	Lahan terbangun rendah	4.483,77	17	5.008,95	19	4.566,05	17
3	Lahan terbangun sedang	3.514,05	13	3.997,34	15	3.437,83	13
4	Lahan terbangun tinggi	2.900	11	3.388,80	13	2.800	11
5	Tutupan Awan	4.400	17	4.400	17	4.400	17
Total		26.470,14	100	26.470,14	100	26.470,14	100

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Pada Gambar 2a, 2b dan 2c dibandingkan maka Gambar 2b pada klasifikasi lahan terbangun rendah, sedang dan tinggi maka metode NDBI yang paling banyak mendeteksi. Hal ini terjadi karena menurut Javed dkk. (2021), saluran SWIR 1 dan NIR, yang efektif membedakan bangunan berdensitas rendah dari vegetasi dan tanah. NDBI sensitif terhadap permukaan keras seperti beton ringan atau atap seng yang umum di kawasan lahan terbangun rendah hingga tinggi. Su dkk. (2022) juga menyatakan bahwa NDBI memanfaatkan saluran SWIR₁ dan NIR untuk membedakan permukaan keras seperti logam, atap, seng, beton, dan aspal dari vegetasi maupun tanah, sehingga efektif mendeteksi kawasan lahan terbangun dari densitas rendah hingga tinggi.

Hasil analisis tiap metode dalam mengkalsifikasikan kawasan terbangun, VrNIR-BI (Gambar 2c) lebih banyak mendeteksi area bukan lahan terbangun, karena lebih sensitif terhadap keberadaan vegetasi dan lahan terbuka. VrNIR-BI memanfaatkan kombinasi saluran merah dan NIR yang identik dengan basis respon spektral vegetasi, sehingga indeks ini cenderung lebih banyak mendeteksi area bukan lahan terbangun akibat sensitivitas yang tinggi terhadap keberadaan vegetasi dan lahan terbuka (Almohamad dan Alshwesh, 2023; Estoque dan Murayama, 2015; Suharyadi dkk., 2022). NDBI cenderung paling banyak mendeteksi area terbangun di semua kategori intensitas (rendah hingga tinggi). UI relatif stabil, tapi sedikit lebih rendah dibandingkan NDBI dalam menangkap detail klasifikasi (Gambar 2a). Meskipun NDBI menunjukkan luas terbesar dalam klasifikasi lahan terbangun, itu hanyalah hasil algoritma otomatis dari citra satelit. Tanpa pengecekan lapangan, hasil ini tidak menjamin akurasi. NDBI bisa saja mengandung *false positive* (tanah kosong dikira bangunan) atau *false negative* (bangunan kecil tidak terdeteksi) (Javed et al., 2021).



Sumber: penulis, 2025
Gambar 3. (a) Peta UI Tahun 2023, (b) Peta NDBI Tahun 2023, (c) Peta VrNIR-BI Tahun 2023

3.2. Penilaian Metode Indeks Lahan Terpilih

3.2.1. Uji Akurasi

Berdasarkan hasil *confusion matrix* dalam penelitian ini metode *urban index* nilai kappa diperoleh adalah 96,56 % sehingga tergolong dalam kategoris korelasi sempurna (Tabel 4), metode NDBI memiliki nilai kappa sebesar 95,01% sehingga tergolong dalam kategori korelasi sempurna (Tabel 5), kemudian untuk metode VrNIR-BI memiliki nilai kappa sebesar 96,59% sehingga tergolong dalam kategori korelasi sempurna (Tabel 6). Dari hasil

analisis tersebut ketiga indeks memiliki hasil akurasi yang tinggi yaitu diatas 90% tetapi indeks VrNIR-BI lah yang memiliki nilai kappa paling tinggi dibandingkan dengan UI, dan NDBI hal ini menunjukkan bahwa indeks VrNIR-BI memiliki tingkat keakurasian yang tinggi. *Producers Accuracy* Kappa mengukur seberapa baik piksel referensi suatu kelas berhasil diklasifikasi dengan benar, sedangkan *user's accuracy* mencerminkan probabilitas bahwa piksel yang diklasifikasikan benar-benar mewakili kelas tersebut di lapangan (Priyankara dkk., 2019).

Tabel 4. *Confusion Matrix* Indeks UI

Klasifikasi	Bukan lahan terbangun	Lahan terbangun rendah	Lahan terbangun sedang	Lahan terbangun tinggi	Total	Usser's Accuracy	Kappa
Bukan lahan terbangun	60	0	0	0	60	100,00%	
Lahan terbangun rendah	0	13	0	0	13	100,00%	
Lahan terbangun sedang	0	0	13	1	14	92,86%	
Lahan terbangun tinggi	1	0	0	12	13	92,31%	
Total	61	13	13	13	100		
<i>Producers Accuracy</i>	98,36%	100,00%	100,00%	92,31%		98,00%	
<i>Kappa</i>							96,56%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Berdasarkan hasil uji akurasi klasifikasi pada Tabel 4 (*confusion matrix* Indeks UI), diperoleh tingkat ketelitian pada klasifikasi lahan terbangun menunjukkan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Kelas bukaan lahan terbangun memiliki akurasi hampir sempurna (*producer's accuracy* sebesar 98,36% dan *user's accuracy* sebesar 100%), hal ini menunjukkan bahwa hampir seluruh piksel berhasil diidentifikasi dengan benar oleh proses klasifikasi. Pada kelas lahan terbangun rendah mencapai akurasi 100% tanpa kesalahan. Pada kelas lahan terbangun sedang, terdapat pada kelas lahan terbangun sedang, terdapat 13 piksel yang terklasifikasi dengan benar dari total 14 piksel hasil klasifikasi sehingga menghasilkan *user's accuracy* sebesar 92,86% dan *producer's accuracy* sebesar 100%, yang menunjukkan terdapat satu piksel yang salah terklasifikasi ke kelas lain. Pada kelas lahan terbangun tinggi, terdapat 12 piksel yang terklasifikasi dengan benar dari total 13 piksel referensi sehingga menghasilkan *producer's accuracy* dan *user's accuracy* sebesar 92,31%. Secara keseluruhan dari 100 sampel referensi, sebanyak 98 piksel berhasil diklasifikasikan dengan benar, sehingga diperoleh *overall accuracy* sebesar 98% dengan nilai Koefisien Kappa sebesar 96,56%. Nilai akurasi secara keseluruhan yang melampaui 85% umumnya diterima sebagai standar minimum yang dapat diandalkan dalam pemetaan lahan berbasis penginderaan jauh (Rwanga dan Ndambuki, 2017; Zahrani dkk., 2025).

Tabel 5. *Confusion Matrix* Indeks NDBI

Klasifikasi	Bukan lahan terbangun	Lahan terbangun rendah	Lahan terbangun sedang	Lahan terbangun tinggi	Total	Usser's Accuracy	Kappa
Bukan lahan terbangun	59	1	0	0	60	98,33%	
Lahan terbangun rendah	0	13	0	0	13	100,00%	
Lahan terbangun sedang	0	0	13	1	14	92,86%	
Lahan terbangun tinggi	1	0	0	12	13	92,31%	
Total	60	14	13	13	100		
<i>Producers Accuracy</i>	98,33%	92,86%	100,00%	92,31%		97,00%	
<i>Kappa</i>							95,01%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Berdasarkan hasil uji akurasi klasifikasi pada Tabel 5 *Confusion Matrix* Indeks NDBI, diperoleh klasifikasi lahan terbangun menunjukkan ketelitian yang tinggi. Kelas bukaan lahan terbangun memiliki akurasi 98,33% dengan satu kesalahan klasifikasi, sedangkan kelas lahan terbangun rendah memiliki *producer's accuracy* sebesar 92,86% dan *user's accuracy* sebesar 100%. Kelas lahan terbangun sedang *producer's accuracy* sebesar 100% dan *user's accuracy* sebesar 92,86% akibat adanya satu piksel dari kelas lain, kemudian kelas lahan terbangun tinggi memiliki akurasi 92,31%. Secara keseluruhan, 97 dari 100 piksel terklasifikasi dengan benar dan menghasilkan akurasi secara keseluruhan 97% dengan koefisien kappa 95,01% yang menunjukkan hal ini sesuai yang tinggi dengan data referensi (Rwanga dan Ndambuki, 2017; Zahrani dkk., 2025).

Tabel 6. *Confusion Matrix* Indeks VrNIR-BI

Klasifikasi	Bukan lahan terbangun	Lahan terbangun rendah	Lahan terbangun sedang	Lahan terbangun tinggi	Total	Usser's Accuracy	Kappa
Bukan lahan terbangun	59	1	0	0	60	98,33%	
Lahan terbangun rendah	0	13	0	0	13	100,00%	
Lahan terbangun sedang	0	0	13	0	13	100,00%	
Lahan terbangun tinggi	1	0	0	13	14	92,86%	
Total	60	14	13	13	100		
<i>Producers Accuracy</i>	98,36%	92,86%	100,00%	92,31%		97,00%	
<i>Kappa</i>							96,59%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2025

Berdasarkan hasil uji akurasi klasifikasi pada Tabel 6 *confusion matrix* indeks VrNIR-BI, diperoleh klasifikasi lahan terbangun menunjukkan ketelitian tinggi, dimana kelas bukaan lahan terbangun memiliki akurasi 98,33% dengan satu kesalahan, sedangkan kelas lahan terbangun rendah dan sedang mencapai akurasi 100% tanpa adanya kesalahan. Pada kelas lahan terbangun tinggi terdapat satu kesalahan dengan akurasi 92,86%. Secara keseluruhan, 97 dari 100 piksel terklasifikasi dengan benar dan menghasilkan akurasi secara keseluruhan sebesar 98% dengan koefisien kappa 96,59%. Hal ini menunjukkan bahwa klasifikasi sangat sesuai dengan data referensi (Rwanga dan Ndambuki, 2017; Zahrani dkk., 2025).

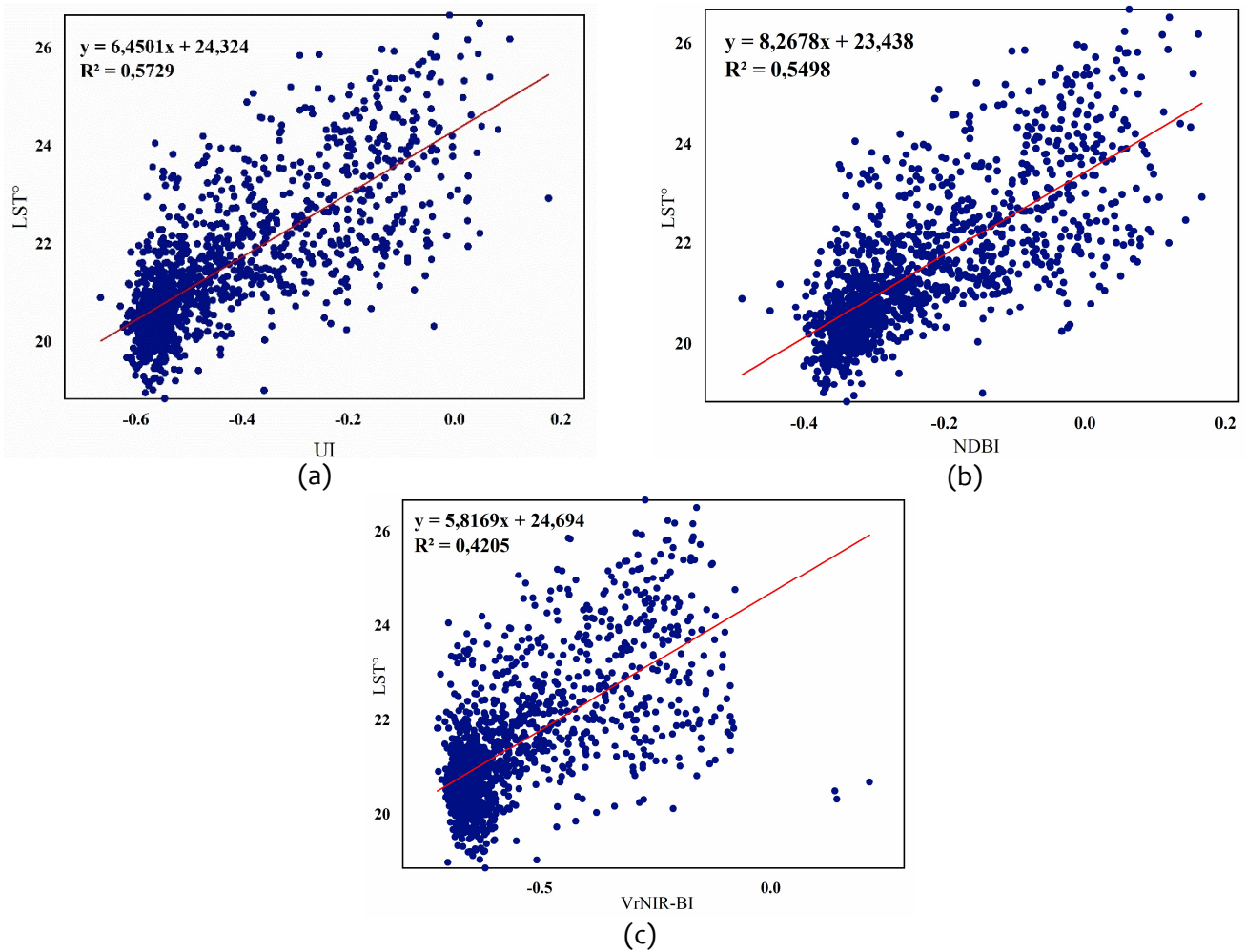
3.2.2. Korelasi Indeks Lahan Terbangun terhadap LST

Dalam studi ini, peneliti menggunakan fitur *fishnet* di ArcGIS untuk membagi area studi menjadi grid persegi panjang. Kemudian, *fitur extract multi values to points* digunakan untuk mengekstrak nilai dari beberapa hasil indeks UI, NDBI, VrNIR-BI dan LST pada lokasi penelitian (Naraani & Nagalakshmi, 2024). Pada Gambar 3a, 3b, dan 3c menunjukkan hasil uji korelasi antara indeks lahan terbangun dan *Land Surface Temperature* (LST) yang menunjukkan bahwa ketiga indeks ini memiliki hubungan positif yang signifikan terhadap LST, dimana NDBI menghasilkan koefisien determinan tinggi ($R^2 = 0,5498$), diikuti UI ($R^2 = 0,5729$), dan VrNIR-BI ($R^2 = 0,4025$). Hal ini mengindikasikan bahwa korelasi antara LST terhadap UI, dan LST terhadap NDBI menunjukkan korelasi yang kuat, sedangkan LST terhadap VrNIR-BI (Gambar 3c) menunjukkan korelasi cukup (Sarwono, 2006).

Perbedaan nilai korelasi antara ketiga indeks terhadap LST menegaskan bahwa pemilihan indeks spektral berpengaruh terhadap kemampuan prediksi LST, dimana indeks berbasis pita SWIR-NIR seperti NSBI dan UHI terbukti lebih unggul dalam menangkap dinamika termal permukaan perkotaan dibandingkan indeks berbasis pita tampak VrNIR-BI (Guha dkk., 2021; Saini dkk., 2025). Ketiga indeks menunjukkan korelasi positif yang signifikan dengan LST, yang mengkonfirmasi bahwa peningkatan lahan terbangun merupakan pendorong tertinggi terhadap kenaikan suhu permukaan. Temuan ini memiliki implikasi bagi perencanaan tata ruang dan mitigasi UHI, dimana konversi lahan alami menjadi permukaan kedap air secara langsung memperburuk kondisi termal perkotaan, sementara keberadaan ruang terbuka hijau dan badan air memiliki kapasitas yang signifikan

dalam memitigasi kenaikan LST (Halder dkk., 2022; Mohiuddin dan Mund, 2024).

Metode analisis seperti ini, memiliki kelebihan dan kekurangan yaitu lebihnya cepat dan luas cakupannya (bisa mencakup satu kota atau wilayah besar), dapat dilakukan berulang secara temporal dan efisien dari sisi biaya dan tenaga. Kekurangannya, karena hanya estimasi dari reflektan dan radiasi dari sensor citra satelit, suhu bisa berbeda dari kondisi sebenarnya di lapangan (Mohiuddin dan Mund, 2024).



Sumber: penulis, 2025

Gambar 4. (a) Grafik Korelasi UI terhadap LST, (b) Grafik Korelasi NDBI Terhadap LST, (c) Grafik Korelasi VrNIR-BI terhadap LST

4. KESIMPULAN

Hasil klasifikasi dari masing-masing metode indeks menunjukkan variasi luas yang berbeda. Indeks VrNIR-BI menghasilkan persentase lahan bukan terbangun terbesar (56%), sedangkan indeks NDBI menghasilkan proporsi lahan terbangun rendah dan sedang yang lebih besar dibandingkan UI dan VrNIR-BI, yang mengindikasikan sensitivitasnya dalam mendeteksi area urbanisasi tingkat sedang. Adapun indeks UI menunjukkan hasil klasifikasi yang relatif seimbang antara lahan terbangun dan tidak terbangun. Hasil perbandingan tingkat akurasi indeks lahan terbangun antara metode *Urban Index* (UI), *Normalized Differenced Built-up Index* (NDBI) dan *Visible Red Near Infraered – Built Up Index* (VrNIR-BI) pada citra *Landsat 8*

menunjukkan adanya perbedaan. Berdasarkan uji akurasi menggunakan nilai koefisien Kappa, untuk indeks UI memiliki nilai sebesar 96,56%, NDBI sebesar 95,01%, dan VrNIR-BI sebesar 96,59%. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai indeks VrNIR-BI baik digunakan untuk analisis yang membutuhkan akurasi tinggi. Berdasarkan hasil korelasi indeks lahan terbangun dengan *Land Surface Temperature* (LST) nilai dari koefisien R^2 untuk metode UI memiliki nilai sebesar $R^2 = 0,5498$, NDBI sebesar 0,5729, dan VrNIR-BI sebesar 0,4205, maka dari data tersebut indeks NDBI lebih sesuai digunakan untuk analisis yang mempertimbangkan keterkaitan adengan suhu permukaan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan berupa memperoleh data sekunder dan primer, sehingga sangat mendukung pelaksanaan penelitian ini. Dukungan yang diberikan kepada penulis juga menjadi faktor penting hingga penelitian ini terselesaikan dengan baik, khususnya kepada Ketua Jurusan Geografi Universitas Halu Oleo yang telah memberikan arahan, dukungan, serta fasilitas selama proses penelitian berlangsung.

6. REFERENSI

- Ali, M. I., Hasim, A. H., dan Abidin, M. R. (2019). Monitoring the built-up area transformation using urban index and normalized difference built-up index analysis. *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, 32(5), 647-653. <https://doi.org/10.5829/ije.2019.32.06b.04>
- Almohamad, H., dan Alshwesh, I. O. (2023). Evaluation of Index-Based Methods for Impervious Surface Mapping from Landsat-8 to Cities in Dry Climates; A Case Study of Buraydah City, KSA. *Sustainability*, 15(12), 9704. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9704>
- Alwan, A., Barkey, R. A., dan Syafri, S. (2020). Perubahan penggunaan lahan dan keselarasan rencana pola ruang di Kota Kendari. *Urban and Regional Studies Journal*, 3(1), 1-5. <https://doi.org/10.35965/ursj.v3i1.605>
- Amiruddin, A. (2014). Pengaruh Keberadaan Universitas Haluoleo Terhadap Perubahan Tata Guna Lahan Di Kawasan Andonuohe Kota Kendari [University of Haluoleo; system activities; land use changes; changes in spatial pattern]. 2014, 2(1), 16. <https://doi.org/10.14710/jwl.2.1.73-88>
- Apriyanto, A., Saleh, F., Nurgiantoro, Fitriani, dan Karim, J. (2023). Perbandingan Tutupan Lahan Spectral Indices Dan Class Signature Terhadap Pembentukan UHI Perkotaan Muna. *JAGAT (Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi)*, 7(2), 1-14. <https://doi.org/10.33772/jagat.v7i2.44235>
- Azhari, A. P. (2020). Sebaran Lahan Terbangun Berdasarkan Normalized Difference Built-up Index Citra Landsat 8 di Kota Mataram. *SainsTech Innovation Journal*, 3(1), 35-40. <https://doi.org/10.37824/sij.v3i1.2020.191>
- Bashit, N., Prasetyo, Y., dan Sukmono, A. (2019). Kajian Perkembangan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Menggunakan Metode Urban Index (UI). *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 2(02), 12-18. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2019.6440>
- Binangkit, Y. K., dan Sari, D. K. (2023). Pemantauan Perubahan Lahan Terbangun Dengan Metode NDBI (Daerah Studi: Kawasan Cekungan Bandung, Tahun 2002– 2022). *Prosiding FTSP Series*, 1399-1404. <https://e-proceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2584>
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Estoque, R. C., dan Murayama, Y. (2015). Classification and Change Detection of Built-Up Lands From Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS Imageries: A Comparative Assessment of Various Spectral Indices. *Ecological Indicators*, 56, 205-217. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.037>
- Ezimand, K., Kakroodi, A., dan Kiavarz, M. (2018). The development of spectral indices for detecting built-up land areas and their relationship with land-surface temperature. *International journal of remote sensing*, 39(23), 8428-8449. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1488282>
- Fahmi, S., Wahyudi, D., dan Arif, M. F. (2025). Analisis Hubungan Perkembangan Kawasan Terbangun dan Land Surface Temperature Terhadap Environmental Criticality Index di Kota Bandung Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh [Environmental Criticality Index; Enhance Built-up and Bareness Index; Land Surface Temperature; Penginderaan Jauh]. 2025, 12(3), 14. <https://doi.org/10.14710/jwl.12.3.307-320>
- Gandri, L., Hidayat, H., Tuwu, E. R., Irawati, I., Bana, S., Fitriani, V., dan Indriyani, L. (2022). Analisis Spasial Fenomena Urban Heat Island Menggunakan Algoritma Land Surface Temperature Kota Kendari. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 23(2), 109-118. <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i2.852>
- Guha, S., Govil, H., Gill, N., dan Dey, A. (2021). A Long-Term Seasonal Analysis On The Relationship Between LST and NDBI Using Landsat Data. *Quaternary International*, 575, 249-258. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.06.041>

- Halder, B., Bandyopadhyay, J., Khedher, K. M., Fai, C. M., Tangang, F., dan Yaseen, Z. M. (2022). Delineation Of Urban Expansion Influences Urban Heat Islands And Natural Environment Using Remote Sensing and GIS-Based In Industrial Area. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(48), 73147-73170. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20821-x>
- Handayani, W., dan Rudiarto, I. (2014). Dynamics of Urban Growth in Semarang Metropolitan–Central Java: An Examination Based on Built-Up Area and Population Change. *Journal of Geography and Geology*, 6(4), 80-87. <https://doi.org/10.5539/jgg.v6n4p80>
- Harimudin, J., dan Fitriani. (2020). Prediction Of Development Direction In Kendari City Based On Changes In Density Of Built-Up Area. *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 9(2), 27-36. <https://doi.org/10.24252/jpm.v9i2.17629>
- Hidayati, I. N., Suharyadi, R., dan Danoedoro, P. (2018). Kombinasi indeks citra untuk analisis lahan terbangun dan vegetasi perkotaan. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1), 24-32. <https://doi.org/10.22146/mgi.31899>
- Irsan, L. M., Hasanah, N., Musyawarah, R., Garusu, E. H., dan Aldiansyah, S. (2024). Analisis transformasi lahan menggunakan citra satelit landsat multi temporal. *Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi*, 9(1), 34-43. <https://doi.org/10.36709/jppg.v9i1.203>
- Islami, F. A., Tarigan, S. D., Wahjunie, E. D., & Dasanto, B. D. (2022, January). Accuracy assessment of land use change analysis using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 950, No. 1, p. 012091). IOP Publishing.
- Javed, A., Cheng, Q., Peng, H., Altan, O., Li, Y. A., Iffat, Huq, E., Ali, Y., dan Saleem, N. (2021). Review of Spectral Indices for Urban Remote Sensing. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 87(7), 513-524(512). <https://doi.org/10.14358/PERS.87.7.513>
- Jaya, M. R., Gandri, L., Qadri, M. S., Teke, J., Fahidu, W. O. H., Setiawan, A., dan Hidayat, H. (2024). Analisis perubahan Penggunaan Lahan Di Kecamatan Baruga Kota Kendari. *Welvaart: Jurnal Ilmu Kesejahteraan Sosial*, 5(1), 146-153. <https://doi.org/10.52423/welvaart.v5i1.32>
- Kawamura, M., Jayamanna, S., dan Tsujiko, Y. (1996). Relation Between Social And Environmental Conditions In Colombo, Sri Lanka And The Urban Index Estimated By Satellite Remote Sensing Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXI(B7)*, 321-326. https://www.isprs.org/proceedings/XXXI/congress/part7/321_XXXI-part7.pdf
- Kristam M, W. (2020). *Identifikasi Pengaruh Jumlah Dan Metode Pengambilan Titik Sampel Penguji Terhadap Nilai Akurasi Pemetaan Penutup Lahan Skala 1:10.000 Menggunakan Citra Penginderaan Jauh Di Sebagian Kota Salatiga Universitas Gadjad Mada*. Yogyakarta. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/192275>
- Matiur, A., dan Jaelani, L. M. (2019). Pembuatan Dashboard Data Penginderaan Jauh Menggunakan Platform GeoNode (Studi Kasus : Provinsi Jawa Timur). *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), A1-A4. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.38210>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater Reliability: The Kappa Statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282. <https://doi.org/10.11613/BM.2012.031>
- Mehare, N. N., dan Joshi, M. (2023). Spatio-Temporal Analysis of Urban Heat Island in Pune City, India. *European Chemical Bulletin*, 12, 1736-1742. <https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.s3.194>
- Miranda, P. M. (2025). Hubungan Kerapatan Vegetasi dan Kepadatan Bangunan terhadap Suhu Permukaan Kota Saltiga Tahun 2022 Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI/TIRS. 2025, 14(3), 10. <https://doi.org/10.14710/tpwk.2025.39438>
- Mohiuddin, G., dan Mund, J.-P. (2024). Spatiotemporal Analysis of Land Surface Temperature in Response to Land Use and Land Cover Changes: A Remote Sensing Approach. *Remote Sensing*, 16(7), 1286. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs16071286>
- Muhaimin, M., Fitriani, D., Adyatma, S., dan Arisanty, D. (2022). Mapping Build-Up Area Density Using Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) and Urban Index (UI) Wetland in The City Banjarmasin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Naisabury, M. R. A., Nurjannah, D. L., Ainunnisa, N. F., Birahma, A. S. F., Fariz, T. R., dan Heriyanti, A. P. (2025). Analisis Perubahan Lahan Terbangun di Wilayah Dataran Fluvial-Vulkanik di Kabupaten Pekalongan. *Proceeding Seminar Nasional IPA*,
- Nurgiantoro, Hadini, L., Alfat, S., Uslinawaty, Z., Mokui, H., dan Aris, A. (2025). Spatio-Temporal Characteristics of UHI in Coastal Urban Area and its Impact on Land Unit: A Case Study in the Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, 21(2), 123-140. <https://doi.org/10.52939/ijg.v21i2.3945>
- Octarina, T. M., Putra, I., dan Wirdiani, N. K. A. (2019). Penginderaan Jauh Pemrosesan Data Satelit Landsat 8 Untuk Deteksi Genangan. *Jurnal Ilmiah Merpati (Menara Penelitian Akademika Teknologi Informasi)*, 7(1), 77. <https://doi.org/10.24843/JIM.2019.v07.i01.p09>
- Oktinova, N., dan Rudiarto, I. (2019). Kajian Penggunaan Lahan Di Sekitar Kawasan Bukit Semarang Baru. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 15(4), 262. <https://doi.org/10.14710/pwk.v15i4.21534>
- Permatasari, A. D., dan Prasetyo, S. Y. J. (2022). Identifikasi Wilayah Resiko Kerusakan Lahan Terbangun Sebagai Dampak Tsunami Berdasarkan Analisis Building Indices. *J. Transform*, 20(1), 13-21. <https://doi.org/10.26623/transformatika.v20i1.5209>
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., dan Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sensing*, 12(4), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Pranata, S., dan Kurniadin, N. (2021). Identifikasi Perubahan Indeks Kerapatan Bangunan Pasca Likuifaksi di Kota Palu. *Buletin Poltanesa*, 22(1), 27-32. <https://doi.org/10.51967/tanesa.v22i1.469>
- Prasetyo, Y., Bashit, N., dan Sasmito, B. (2020). Kajian Perubahan Pola Kawasan Terbangun Berdasarkan Metode Index-Based Built-Up Index (IBI) di Jakarta Utara. *Elipsoida: Jurnal Geodesi dan Geomatika*, 3(02), 164-168. <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2020.9198>
- Priyankara, P., Ranagalage, M., Dissanayake, D., Morimoto, T., dan Murayama, Y. (2019). Spatial Process of Surface Urban Heat Island in Rapidly Growing Seoul Metropolitan Area for Sustainable Urban Planning Using Landsat Data (1996–2017). *Climate*, 7(9), 110. <https://doi.org/10.3390/cli7090110>

- Rachmadhani, D., Zalsabilah, P., Kamal, M., dan Widayani, P. (2025). Hubungan Nilai Indeks Permukaan Terhadap Temperatur Permukaan di Kabupaten Bantul [NDVI, NDBI, BSI, LST]. 2025, 21(4), 16. <https://doi.org/10.14710/pwk.v21i4.71617>
- Rakuasa, H. (2022). Analisis Spasial-Temporal Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Maluku Barat Daya. *GEOGRAPHIA: Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 3(2), 115-122. <https://doi.org/10.53682/gjppg.v3i2.5262>
- Ramadhan, G. D., dan Nugroho, H. (2025). Analisis Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Algoritma CART untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan Terhadap RTRW Kabupaten Tangerang. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 9(1), 44-57. <https://doi.org/10.26760/jrh.v9i1.44-57>
- Rwanga, S. S., dan Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(4), 611-622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>.
- Saini, J., Gupta, A. K., Dhupper, R., dan Shrivastava, A. (2025). Spatio-Temporal Study Of Urban Dynamics With Implications On Land Surface Temperature Of Gurugram City, India. *Environmental monitoring and assessment*, 197(8), 946. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14392-w>
- Sarwono, J. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif (1)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sekertekin, A., Abdikan, S., dan Marangoz, A. M. (2018). The Acquisition of Impervious Surface Area from Landsat 8 Satellite Sensor Data Using Urban Indices: A Comparative Analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(7), 381. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6767-3>
- Singh, A., dan Mishra, V. N. (2020). Estimation of Changes in Land Surface Temperature Using Multi-Temporal Landsat Data of Ghaziabad District, India. *Forum Geografic*, XIX(1), 45-59. <https://doi.org/10.5775/fg.2020.040.i>
- Su, S., Tian, J., Dong, X., Tian, Q., Wang, N., dan Xi, Y. (2022). An Impervious Surface Spectral Index on Multispectral Imagery Using Visible and Near-Infrared Bands. *Remote Sensing*, 14(14), 3391. <https://doi.org/10.3390/rs14143391>
- Suharyadi, R., Umarhadi, D. A., Awanda, D., dan Widyatmanti, W. (2022). Exploring Built-Up Indices and Machine Learning Regressions for Multi-Temporal Building Density Monitoring Based on Landsat Series. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(13), 4716. <https://doi.org/10.3390/s22134716>
- U.S. Geological Survey. (2019). *Using the USGS Landsat Level-1 Data Product*. USGS. Diakses 22 September from <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>
- Waladi, A. (2025). Peningkatan Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Random Forest pada Data Sentinel-2 di Jambi. *Jurnal Fasilkom*, 15(1), 17-24. <https://doi.org/10.37859/jf.v15i1.8886>
- Wulder, M. A., Roy, D. P., Radeloff, V. C., Loveland, T. R., Anderson, M. C., Johnson, D. M., Healey, S., Zhu, Z., Scambos, T. A., Pahlevan, N., Hansen, M., Gorelick, N., Crawford, C. J., Masek, J. G., Hermosilla, T., White, J. C., Belward, A. S., Schaaf, C., Woodcock, C. E., Cook, B. D. (2022). Fifty Years of Landsat Science and Impacts. *Remote sensing of environment*, 280(113195), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>
- Xi, Y., Thinh, N. X., dan Li, C. (2019). Preliminary Comparative Assessment of Various Spectral Indices for Built-Up Land Derived from Landsat-8 OLI and Sentinel-2A MSI Imageries. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 240-252. <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1584737>
- Zahrani, N., Suhartanto, E., dan Andawayanti, U. (2025). Reliable Assessment of Long-Term Land Use Change to Support Sustainable Watershed Management Using Multi-Sensor Landsat Imagery. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 12(2), 515-523. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i2.14076>
- Zha, Y., Gao, J., dan Ni, S. (2003). Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>