

Geomedia

Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian

Geomedia Vol. 22 No. 1 Tahun 2024 | 60 – 72

<https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>

Analisis Kualitas Ekologi Perkotaan Berbasis Data Penginderaan Jauh di Kota Bandung Tahun 2023

Auzaie Ihza Mahendra ^{a, 1*}, Sigit Heru Murti Budi Santosa ^{b, 2}, Prima Widayani ^{b, 3}

^a Magister Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

^b Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

¹ auzaieihzamahendra@mail.ugm.ac.id; ² sigit.heru.m@gmail.com; ³ primawidayani@ugm.ac.id

*korespondensi penulis

Informasi artikel	ABSTRAK
<p><i>Sejarah artikel</i></p> <p>Diterima : 30 April 2024</p> <p>Revisi : 6 Mei 2024</p> <p>Dipublikasikan : 31 Mei 2024</p> <p>Kata kunci:</p> <p>Kualitas Ekologi Perkotaan</p> <p>RSEI</p> <p>Landsat</p> <p>Perbedaan Musim</p>	<p>Urbanisasi menimbulkan konsekuensi bagi lingkungan kota seperti pencemaran lingkungan yang berdampak langsung terhadap kualitas ekologi perkotaan. Dalam memonitoring kualitas lingkungan perkotaan, RSEI merupakan salah satu metode yang dapat digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas ekologi perkotaan menggunakan RSEI di Kota Bandung tahun 2023 pada musim hujan dan musim kemarau. RSEI menggabungkan empat indikator utama berupa NDVI, WET, NDBSI, dan LST dari data Citra Landsat 8 dan 9 yang dianalisis menggunakan metode PCA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan waktu perekaman citra pada kedua musim sangat mempengaruhi hasil RSEI, dimana RSEI memiliki kondisi yang lebih baik saat musim hujan daripada musim kemarau yang ditinjau dari luasan dan distribusi spasialnya, hal tersebut dibuktikan dengan luasan RSEI pada kategori baik dan sangat baik yang cenderung lebih tinggi saat musim hujan.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Urban Ecological Quality</p> <p>RSEI</p> <p>Landsat</p> <p>Seasonal Differences</p>	<p>ABSTRACT</p> <p>Urbanization has consequences for the urban environment, such as environmental pollution, which has a direct impact on the quality of urban ecology. In monitoring the quality of the urban environment, RSEI is one method that can be used. This study aims to assess the quality of urban ecology using RSEI in Bandung City in 2023 during the rainy season and dry season. RSEI combines four main indicators in the form of NDVI, WET, NDBSI, and LST from Landsat 8 and 9 image data analyzed using the PCA method. The results showed that the difference in image recording time in both seasons greatly affected the RSEI results, where RSEI had better conditions during the rainy season than the dry season in terms of area and spatial distribution. This was evidenced by the RSEI area in the good and very good categories tending to be higher during the rainy season.</p>

© 2018 (Auzaie Ihza Mahendra). All Right Reserved

Pendahuluan

Pembangunan fisik dan urbanisasi di perkotaan menimbulkan banyak dampak lingkungan, seperti perubahan iklim, perubahan tutupan lahan dan penggunaan lahan pada skala lokal, regional, dan global, termasuk perubahan lingkungan (Batty, 2008; Button, 2002; Fang *et al.*, 2019; Kalnay & Cai, 2003; Montgomery, 2008). Secara umum lingkungan ekologi mengacu pada satuan kualitas dan kuantitas tanah, iklim dan kondisi air yang mempengaruhi manusia. Ini adalah hubungan kompleks yang mempengaruhi kesejahteraan sosial dan pembangunan ekonomi (Zhao *et al.*, 2016). Penilaian ekologi menjadi penting untuk dilakukan, dan penginderaan jauh menjadi salah satu cara yang saat ini banyak digunakan.

Beberapa penilaian kualitas lingkungan dengan menggunakan data penginderaan jauh seringkali menggunakan satu indikator saja, seperti indikator suhu permukaan (LST), yang digunakan untuk memantau suhu permukaan di wilayah perkotaan (Zhang *et al.*, 2021; Zhuang *et al.*, 2020), indeks NDVI untuk memantau perubahan tutupan ekosistem, dan lain-lain (Jiang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2017). Xu (2013) memperkenalkan pendekatan baru dalam merumuskan kondisi ekologi berdasarkan data penginderaan jauh, yaitu *remote sensing ecological index* (RSEI), dengan menggabungkan beberapa indeks indikator kehijauan, kebasahan, kekeringan, dan suhu permukaan melalui analisis PCA. RSEI sendiri memiliki keunggulan efisiensi dalam memantau dan mengevaluasi kualitas ekosistem perkotaan dibandingkan evaluasi yang hanya menggunakan satu indikator indeks (Gao *et al.*, 2020; Geng *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022).

Penilaian kualitas lingkungan berdasarkan RSEI mempunyai kelebihan tersendiri, karena RSEI terbukti memiliki stabilitas yang baik pada kondisi geografis yang berbeda-beda. Stabilitas RSEI telah dibuktikan dalam penelitian (Firozjaei *et al.*, 2021; Karbalaeei *et al.*, 2021; Xu, 2013; Zhu *et al.*, 2021) di wilayah perkotaan, (Xu, 2013; Yuan *et al.*, 2021) di wilayah pedesaan, (Xu *et al.*, 2019b; Yang & Xu, 2020) di wilayah hutan, (Jing *et al.*, 2020; Qureshi

et al., 2020) di wilayah lahan basah, (Airiken *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2019) di wilayah padang pasir, di wilayah dataran tinggi, (Liu *et al.*, 2021; Xu & Zhang, 2015) di wilayah kepulauan, dan oleh (Nie *et al.*, 2021) di wilayah pertambangan. Selain itu, RSEI memiliki kelebihan yaitu mudah divisualisasikan, mudah dimodifikasi, mudah dibandingkan, dan mudah diterapkan pada skala yang berbeda (Xu & Zhang, 2015).

Kestabilan RSEI dalam menilai kualitas lingkungan di berbagai macam karakteristik wilayah, dapat menjadi dasar untuk mengimplementasikan pendekatan tersebut di Indonesia, salah satunya Kota Bandung. Dalam penelitian Prihatin, (2016) menyebutkan peningkatan kebutuhan lahan di Kota Bandung paling utama disebabkan oleh laju urbanisasi yang menarik para investor dan pemodal sehingga berdampak pada hilangnya lahan-lahan produktif. Selaras dengan hal tersebut terdapat konsekuensi yang dihadapi, menurut Akhirul *et al.*, (2020), konsekuensi nyata akibat pertambahan penduduk yang masif adalah degradasi kualitas air, degradasi kualitas udara, serta degradasi lahan utamanya pada wilayah permukiman.

Kota Bandung yang banyak menghadapi dinamika perubahan lingkungan fisik akibat pesatnya laju urbanisasi menjadi urgensi yang tepat untuk dijadikan dasar penelitian utamanya menggunakan data penginderaan jauh. Pemanfaatan data penginderaan jauh menggunakan metode RSEI dapat menjadi salah satu upaya dalam monitoring lingkungan fisik perkotaan dalam cakupan yang luas.

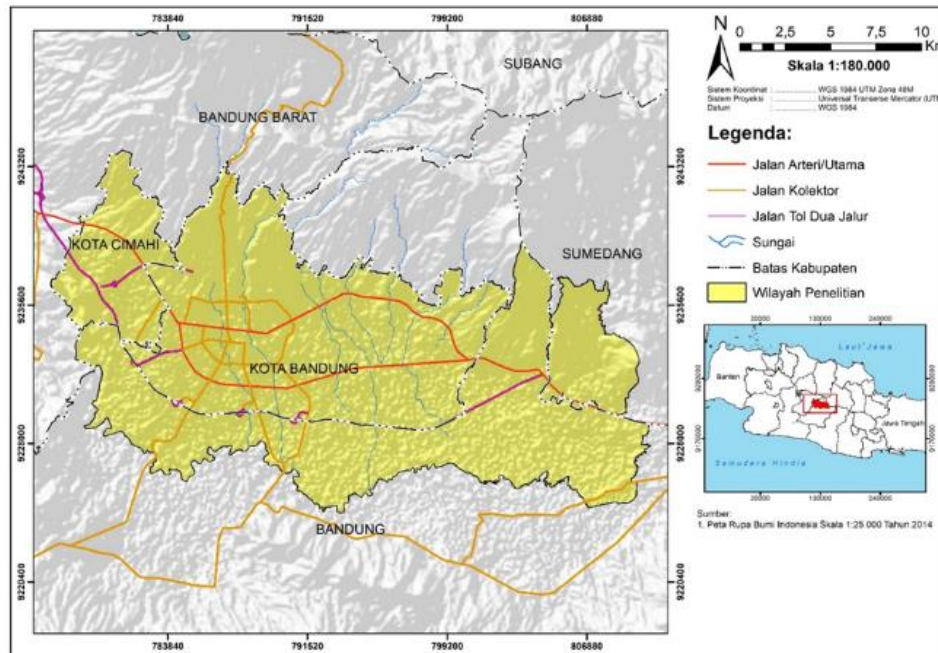
Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas ekologi perkotaan menggunakan RSEI di Kota Bandung dan sekitarnya di tahun 2023 pada musim hujan dan musim kemarau dengan memanfaatkan data penginderaan jauh berupa Citra Landsat 8 dan Citra Landsat 9 perekaman tunggal. Analisis RSEI dengan membedakan perekaman di kedua musim diharapkan mampu memberikan penilaian yang lebih objektif.

Metode

Wilayah Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di wilayah perkotaan Kota Bandung. Kota Bandung secara astronomis terletak pada $6^{\circ}50'10''$ - $6^{\circ}54'5''$ lintang selatan dan $107^{\circ}35'52''$ - $107^{\circ}41'54''$ bujur timur dengan luas 167,31 km², dengan total populasi

sebanyak 2.469.589 jiwa. Kota Bandung berbatasan langsung dengan Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Bandung pada sisi utara, Kota Cimahi pada sisi barat, serta Kabupaten Bandung pada sisi timur dan selatan seperti yang terlihat dalam [gambar 1](#) yang merupakan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

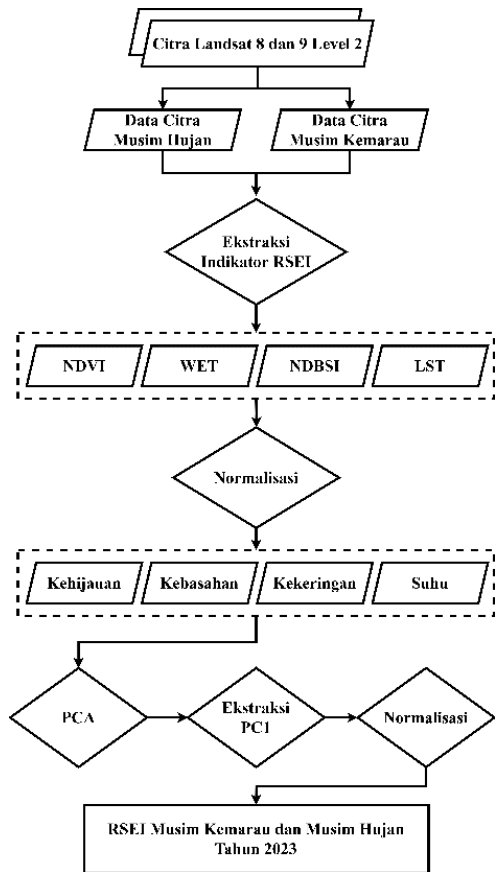
Kota Bandung memiliki karakteristik wilayah yang unik karena dikelilingi oleh pegunungan dan berada di wilayah cekungan. Secara morfologi, Kota Bandung didominasi oleh morfologi yang datar hingga landai, serta miring hingga terjal pada sisi utara. Kota Bandung memiliki temperatur rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan kota lain di Indonesia dengan suhu 23.6 °C dan tergolong lembab ([Lestiani et al., 2013](#)).

RSEI sangat dipengaruhi oleh kenampakan objek yang berada di bumi, di wilayah penelitian proporsi lahan terbangun banyak terdistribusi di Kota Bandung dan sisi barat Kota Bandung, sedangkan pada sisi utara dan timur Kota Bandung banyak didominasi oleh sawah, tegalan, dan hutan, serta pada sisi selatan dan tenggara Kota Bandung banyak didominasi oleh lahan sawah. Sementara itu jika dihubungkan dengan kondisi morfologinya, wilayah lahan terbangun dan sawah akan terkonsentrasi pada morfologi

yang datar hingga landai pada topografi rendah, sedangkan pada objek tegalan dan hutan akan tersebar di morfologi yang miring hingga terjal di topografi yang tinggi. Sebaran objek lahan yang berbeda tentu saja akan memberikan penilaian yang berbeda, hal ini berkaitan dengan respon nilai spektral pada objek yang merekam pada musim tertentu.

Indikator Penyusun RSEI

RSEI dibentuk dengan menggunakan 4 indikator utama yang digunakan untuk mewakili masing-masing elemen. Untuk menurunkan keempat indikator tersebut diperlukan perhitungan yang disesuaikan dengan tujuannya. Indikator tersebut adalah NDVI yang mewakili kehijauan, WET yang mewakili kebasahan, NDBSI yang mewakili kekeringan, dan LST yang mewakili suhu permukaan. [Gambar 2](#) dibawah ini memuat informasi tentang rincian alur kerja penelitian.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Dalam mengekstraksi data RSEI, keempat indikator tersebut memanfaatkan data yang bersumber dari Citra Landsat 8 dan Citra Landsat 9 Level 2, dengan rincian Citra Landsat 8 perekaman 6 september 2023 untuk musim kemarau, dan Citra Landsat 9 perekaman 25 Mei tahun 2023 untuk musim hujan yang memiliki resolusi spasial 30 m dengan *path/row* 122/065.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI merupakan pendekatan yang sering digunakan untuk memantau tutupan vegetasi pada skala yang berbeda (Seddon *et al.*, 2016; Xu & Zhang, 2013). Sebagian besar penelitian menyebutkan bahwa NDVI peka terhadap tutupan vegetasi dengan kerapatan rendah, terutama pada wilayah perkotaan dengan densitas lahan terbangun yang tinggi (Li *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2015). Dalam penelitian ini NDVI memanfaatkan *band* merah dan band NIR, NDVI digunakan sebagai indikator yang mewakili elemen kehijauan

untuk menyusun RSEI, berikut persamaan NDVI yang digunakan dalam penelitian ini:

$$NDVI = \frac{NIR - Merah}{NIR + Merah} \tag{1}$$

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

Wetness Index (WET)

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:

$$WET = (0.1511 * B2) + (0.1972 * B3) + (0.3283 * B4) + (0.3407 * B5) - (0.7117 * B6) - (0.4559 * B7) \tag{2}$$

dimana pada Citra Landsat 8 dan 9 B2 adalah *band* biru, B3 adalah *band* hijau, B4 adalah *band* merah, B5 adalah *band* NIR, B6 adalah *band* SWIR 1, dan B7 adalah *band* SWIR2.

Normalized Difference Built-Up and Bare Soil Index (NDBSI)

NDBSI merupakan indeks yang digunakan untuk mewakili indikator tingkat kekeringan di perkotaan akibat arus urbanisasi serta faktor aktivitas manusia. Faktor tersebut akan mendorong terjadinya pengerasan permukaan akibat beralihnya ekosistem alami yang membuat suatu tempat menjadi kering dan memburuknya kualitas lingkungan (Yue *et al.*, 2019). NDBSI memanfaatkan gabungan *soil index* (SI) dan *Index-based Built-up Index* (IBI), berikut persamaan yang digunakan:

$$NDBSI = \frac{IBI + SI}{2} \tag{3}$$

$$IBI = \frac{(B5 + B4) - (B5 - B2)}{(B5 + B4) + (B5 - B2)} \tag{4}$$

$$SI = \frac{2B6 / (B6 + B5) - [B5 / (B5 + B4) + B3 / (B3 + B6)]}{2B6 / (B6 + B5) + [B5 / (B5 + B4) + B3 / (B3 + B6)]} \tag{5}$$

dimana pada Citra Landsat 8 dan 9 B2 adalah *band* biru, B3 adalah *band* hijau, B4 adalah *band* merah, B5 adalah *band* NIR, dan B6 adalah *band* SWIR 1.

Land Surface Temperature (LST)

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 ini:

$$L\lambda = ML \times Q_{cal} + AL - O_i \tag{6}$$

dimana:

- Lλ = ToA spektral radian
- ML = *radiance multiplicative band*
- AL = *radiance add band*
- Qcal = *quantized and calibrated standard product pixel value* (DN)
- O_i = *correction value band* 10.

Langkah selanjutnya adalah mengubah data spektral radian menjadi data *brightness temperature* (BT). Proses yang digunakan untuk mendapatkan nilai BT dalam satuan derajat celsius dapat memanfaatkan nilai *thermal constant* K1 dan K2. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai BT adalah:

$$L\lambda = \frac{x}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273,15 \tag{7}$$

dimana:

- BT = ToA *brightness temperature* (°C)
- Lλ = ToA spektral radian
- K1 dan K2 = *constant band* pada *band* 10 (Hasnat, 2021).

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 sehingga menggunakan persamaan 8, sedangkan indikator kekeringan (NDBSI) dan suhu (LST) berkorelasi negatif terhadap ekologi, sehingga persamaan 9 yang digunakan. Berikut persamaannya:

$$NI = (I - I_{min}) / (I_{max} - I_{min}) \tag{8}$$

$$NI = (I_{max} - I) / (I_{max} - I_{min}) \tag{9}$$

dimana NI sebagai nilai normalisasi setiap indikator, I merupakan data indikator yang dihitung, I_{min} merupakan nilai minimum indikator dan I_{max} merupakan nilai maksimum indikator (Xu, 2013).

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 (Seddou et al., 2016). PC1 yang menghasilkan nilai RSEI₀ secara rumus dapat ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$RSEI_0 = PC1 (fNDVI, WET, NDBSI, LST) \tag{10}$$

dimana RSEI₀ 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:

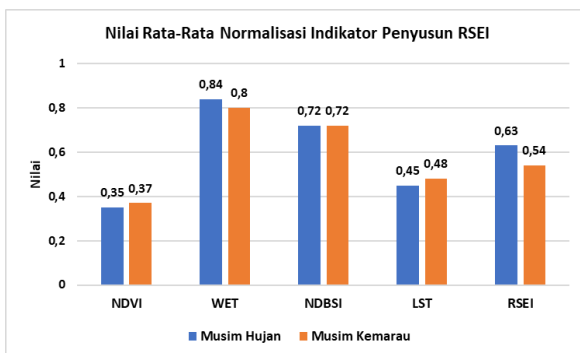
$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0-min}) / (RSEI_{0-max} - RSEI_{0-min}) \tag{11}$$

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

Hasil dan Pembahasan

Indikator Penyusun RSEI

Perbedaan musim memiliki pengaruh terhadap respon nilai spektral pada citra yang digunakan untuk membangun RSEI. Data hasil normalisasi keempat indikator menunjukkan perbedaan nilai pada setiap musim. Penelitian sebelumnya secara spesifik juga memilih musim tertentu untuk mengetahui kondisi RSEI dari segi indikator maupun hasilnya, hal tersebut dikarenakan kondisi optimal monitoring ekologi juga harus mempertimbangkan waktu tumbuhnya tanaman (Cao *et al.*, 2022; Ji *et al.*, 2020). Secara lebih lanjut nilai rerata normalisasi keempat indikator dan RSEI akan disajikan dalam gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Diagram Rerata Normalisasi Variabel dan RSEI (Hasil Analisis 2024)

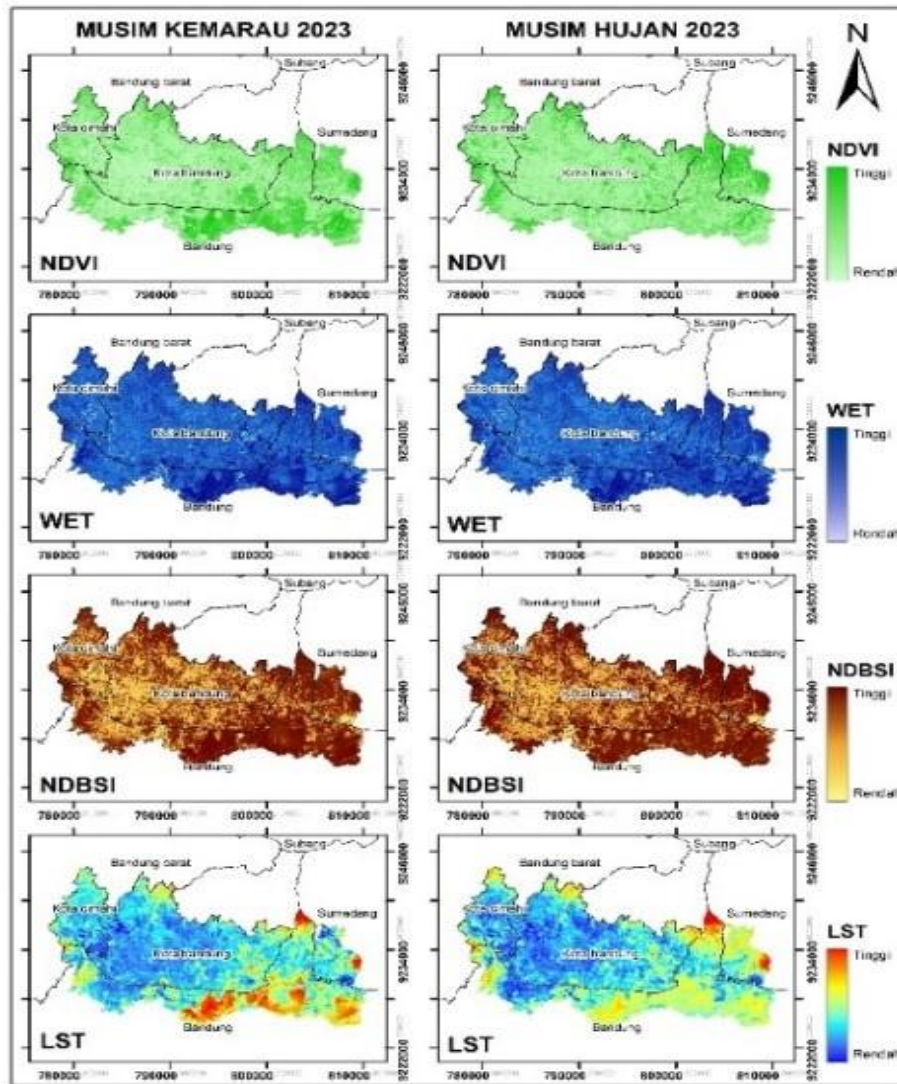
Hasil normalisasi NDVI yang menunjukkan tingkat kehijauan suatu objek pada musim kemarau memiliki nilai rerata yang lebih tinggi daripada musim kemarau dengan selisih 0,02. Penggunaan *band* NIR pada algoritma NDVI membuat *band* tersebut diserap oleh objek air, sehingga NDVI cenderung lebih tinggi pada musim kemarau. Hal tersebut dikarenakan sisi tenggara Kota Bandung banyak ditemukan sawah dan rawa yang tergenang saat musim hujan dan ditumbuhi tanaman saat musim kemarau.

Hasil normalisasi WET yang mengindikasikan tingkat kelembaban dan kebasahan menunjukkan indikator tersebut memiliki perolehan nilai rerata yang lebih tinggi saat musim hujan dengan selisih 0,04 dengan musim kemarau. Kondisi tersebut disebabkan oleh adanya objek-objek yang memiliki tingkat kebasahan tinggi seperti pada vegetasi tegakan, sawah, bahkan genangan yang terjadi akibat intensitas hujan dan lama penyinaran matahari dalam menguapkan unsur air yang terkandung dalam objek.

Hasil normalisasi NDBSI yang mengindikasikan tingkat kekeringan objek menunjukkan bahwa nilai rerata yang dihasilkan pada kedua musim sama dengan nilai sebesar 0,72 meskipun sebaran spasialnya berbeda. Indeks NDBSI yang memiliki kemampuan dalam menilai objek lahan terbangun dan lahan terbuka secara spektral akan lebih terkonsentrasi pada area yang tidak bervegetasi, seperti objek permukiman, lahan terbuka, jaringan jalan dan lainnya.

Hasil Normalisasi LST yang memperlihatkan tinggi rendahnya suhu permukaan pada suatu objek menunjukkan bahwa nilai rerata pada kedua musim memiliki selisih 0,03 lebih tinggi saat musim kemarau. Kondisi tersebut terjadi karena respon spektral pada *band thermal* citra tersebut mengidentifikasi bahwa terjadi peningkatan suhu saat musim kemarau, dimana intensitas lama penyinaran matahari pada musim kemarau akan lebih tinggi daripada musim hujan.

Visualisasi keempat indikator tersebut dapat dilihat pada gambar 4 yang menunjukkan distribusi spasial keempat indikator memiliki perbedaan di setiap musimnya, dimana secara visual perbedaan lebih identik terjadi pada objek-objek yang bervegetasi. Respon spektral yang terpengaruh pada kedua musim menghasilkan sebaran yang lebih bervariasi utamanya di sebelah timur, tenggara, dan selatan yang banyak berupa vegetasi seperti hutan, ladang, dan sawah. Sementara itu wilayah perkotaan yang berisi lahan terbangun dan terpusat di tengah Kota Bandung secara visual perbedaan yang terjadi tidak terlalu dinamis seperti lahan-lahan bervegetasi.



Gambar 4. Normalisasi Variabel Penyusun RSEI

Nilai rerata pada RSEI menunjukkan bahwa musim hujan memiliki nilai yang lebih tinggi daripada musim kemarau dengan selisih 0,09. Selaras dengan prinsip RSEI dimana indikator NDVI dan WET yang berkorelasi positif dan NDBSI dan LST yang berkorelasi negatif, sehingga RSEI pada musim hujan memiliki kualitas ekologi yang lebih baik. Pengaruh musim hujan akan menambah positif indikator NDVI dan WET karena curah hujan sangat baik untuk pertumbuhan vegetasi dan tingkat kebasahan suatu wilayah, sementara itu indikator LST akan cenderung menurun karena suhu permukaan secara langsung akan mempengaruhi suhu permukaan dan juga indikator NDBSI sendiri akan terpengaruh

langsung dengan tingkat kelembaban dan kebasahan pada musim hujan sehingga nilainya juga akan cenderung menurun.

Keseluruhan hasil RSEI₀ pada PC1 pada tabel 1 menunjukkan bahwa seluruh indikator berkorelasi positif, hal tersebut dikarenakan pada indikator NDBSI dan LST yang seharusnya memiliki korelasi negatif terhadap RSEI, dilakukan pembalikan nilai minimal dan maksimalnya, sedangkan indikator NDVI dan WET proses normalisasi yang dilakukan tidak melalui proses pembalikan nilai minimal dan maksimalnya.

Tabel 1. Hasil Analisis RSEI PC1

PC1	Musim Hujan	Musim Kemarau
NDVI	0,379	0,587
WET	0,134	0,136
NDBSI	0,868	0,716
LST	0,293	0,352
Eigenvalue	0,036	0,047
Percent of Eigenvalues	80,56%	81,61%
Accumulative of Eigenvalues	80,56%	81,61%

Sumber: Hasil Analisis 2024

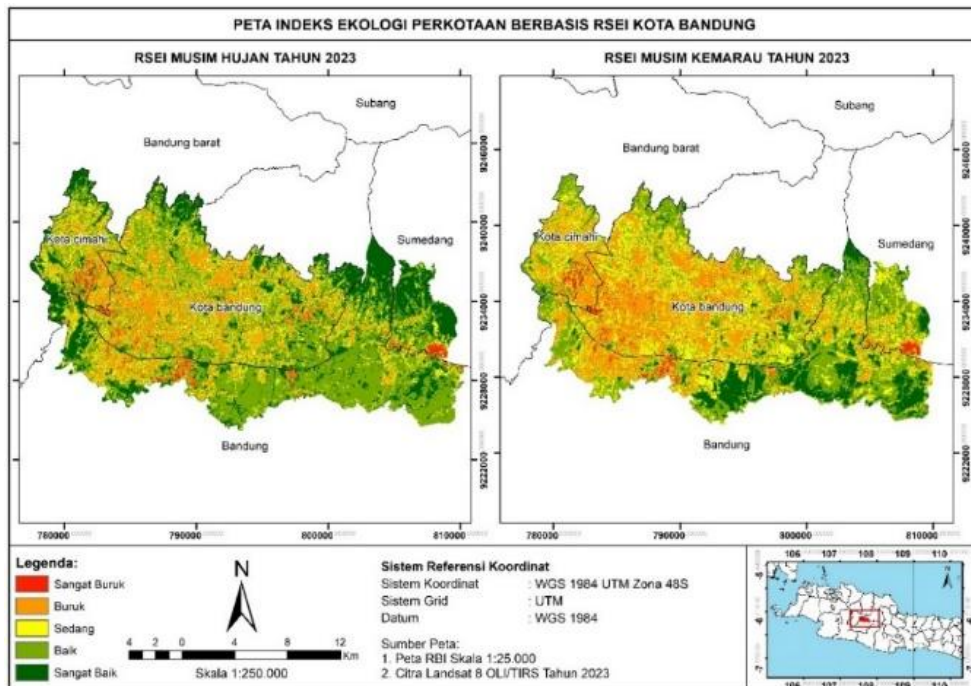
Analisis PCA dapat mengubah beberapa variabel asli menjadi beberapa variabel komprehensif, yang tidak hanya menghilangkan korelasi antar variabel tetapi juga menghindari kekurangan metode pembobotan subjektif (Niu & Li, 2020). Nilai tingkat kontribusi pada PC1 di musim hujan adalah sebesar 80,56%, sedangkan pada musim kemarau adalah 81,61%, nilai tingkat kontribusi eigenvalue pada PC1 menunjukkan bahwa pada PC1 terdapat variabilitas yang tinggi. PC1 yang memiliki nilai > 80% memberikan bukti bahwa PC1 pada keempat indikator memiliki

informasi yang paling tinggi diantara semua PC. Selaras dengan hal tersebut penelitian Niu & Li (2020) menunjukkan bahwa karakteristik PC1 yang tinggi lebih tinggi daripada PC lain dapat digunakan sebagai dasar pembentukan index RSEI.

Indeks Kualitas Ekologi

Secara umum wilayah yang memiliki penutup lahan berupa vegetasi adalah area yang sangat terpengaruh terhadap perbedaan musim, dimana hal tersebut berkorelasi terhadap keempat indikator penyusun RSEI. Selaras dengan pernyataan tersebut, penelitian Indrawati et al. (2020) yang dilakukan di Kota Semarang menyebutkan bahwa perbedaan musim terbukti mempengaruhi status kondisi ekologi.

Pada kedua musim sebaran RSEI dengan kualitas sedang, buruk, dan sangat buruk akan cenderung terkonsentrasi di wilayah pusat Kota Bandung dimana wilayah tersebut banyak ditemukan objek berupa lahan terbangun. Untuk kelas baik dan sangat baik sendiri akan mengelompok di wilayah pinggiran Kota Bandung yang didominasi oleh vegetasi baik yang bersifat tegakan dan non tegakan.



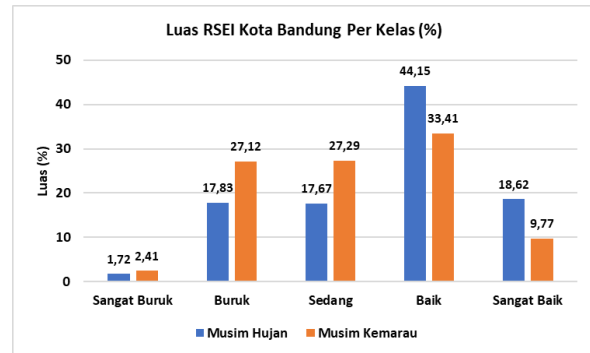
Gambar 5. Peta RSEI Kota Bandung Tahun 2023

Meskipun pada kedua musim konsentrasi sebaran kelas RSEI cenderung terletak pada wilayah yang sama, namun pengaruh musim tentu saja memiliki dampak yang spesifik. Di area Kota Bandung yang didominasi objek lahan terbangun, pada musim hujan distribusi spasial RSEI pada kelas baik cenderung masih, sedangkan pada musim kemarau cenderung banyak terdistribusi kelas sedang dan buruk. Sementara itu pada sisi utara Kota Bandung yang banyak ditemui tegalan dan vegetasi tegakan banyak didominasi oleh kelas sangat baik, sedangkan pada musim kemarau cenderung memiliki sebaran kelas sedang, baik, dan sangat baik yang terdistribusi secara acak. Sementara itu pada sisi tenggara Kota Bandung yang didominasi oleh objek sawah menunjukkan pada musim hujan didominasi kelas baik, sementara pada musim kemarau akan didominasi kelas sangat baik. Sesuai dengan hasil tersebut, penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa tutupan dan penggunaan lahan memiliki pengaruh terhadap distribusi spasial RSEI, dimana pantulan nilai spektral yang terekam pada sensor citra akan menyesuaikan jenis objek (Yuan *et al.*, 2021)

Statistik luas kelas RSEI pada gambar 6 menunjukkan bahwa pada kelas sangat buruk, buruk, dan sedang, pada musim kemarau cenderung lebih tinggi daripada musim hujan. Berbeda kondisi pada kelas baik dan sangat baik, luasan RSEI pada musim hujan cenderung lebih tinggi dibandingkan musim kemarau. Pengaruh musim yang berkorelasi terhadap pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa penelitian ini selaras dengan penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa peningkatan tutupan vegetasi pada suatu wilayah dapat meningkatkan kualitas ekologi, dan sebaliknya jika terjadi penurunan tutupan vegetasi akan berimbas pada penurunan kualitas ekologi (Cheng & He, 2019; Su *et al.*, 2022)

Luasan RSEI di kelas sangat buruk di musim kemarau adalah 0,62% lebih luas dari musim penghujan, pada kelas buruk di musim kemarau luasannya 9,29% lebih luas dari musim penghujan,

dan pada kelas sedang di musim kemarau luasannya 9,62% lebih luas dari musim penghujan. Luasan pada musim hujan di kelas baik adalah 10,74% lebih luas dari musim kemarau, dan pada kelas sangat baik di musim hujan luasannya 8,85% lebih luas dari musim kemarau.



Gambar 6. Luas Per Kelas RSEI (Hasil Analisis 2024)

Dalam konteks luasan RSEI yang terjadi pada musim kemarau dan musim hujan menunjukkan perbedaan luas yang signifikan pada setiap kategori kelas. Kategori kelas sangat buruk, buruk, dan sedang biasanya didominasi oleh tutupan lahan berupa wilayah yang sedikit vegetasi atau tidak ada vegetasi sama sekali seperti lahan terbangun dan tanah terbuka. Pada kategori kelas baik dan sangat baik tutupan lahan yang terbentuk cenderung didominasi oleh wilayah bervegetasi seperti tanaman berkayu keras, sawah, perkebunan, dan ladang. Selaras dengan hal tersebut RSEI di Kota Bandung secara luasan pada kategori kelas sangat buruk, buruk, dan sedang akan lebih tinggi saat musim kemarau, sebaliknya luasan pada kategori kelas baik dan sangat baik akan lebih tinggi saat musim hujan hal tersebut menunjukkan musim memiliki pengaruh penting terhadap 4 indikator penyusun RSEI.

Simpulan

Penelitian ini menilai kualitas ekologi Kota Bandung berbasis RSEI dengan menggunakan Citra Landsat tahun 2023 yang direkam pada musim hujan dan musim kemarau. RSEI pada kedua musim menunjukkan perbedaan distribusi spasial dan luasan kelas indeks. RSEI pada musim hujan akan lebih baik daripada musim kemarau,

dimana pada musim hujan akan didominasi oleh kelas baik dan sangat baik, sedangkan pada musim kemarau akan cenderung didominasi kelas sedang hingga buruk. Peran indikator NDVI dan WET dalam menentukan RSEI pada kedua musim sangat signifikan, baik di zona hijau bervegetasi maupun zona hijau di perkotaan itu sendiri.

Ucapan terima kasih

Ucapan terimakasih peneliti sampaikan kepada Algi Variski Hasibuan dan Yusuf Susena yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan dalam penyelesaian penelitian ini.

Referensi

- Airiken, M., Zhang, F., Chan, N. W., & Kung, H. te. (2022). Assessment of spatial and temporal ecological environment quality under land use change of urban agglomeration in the North Slope of Tianshan, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(8). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16579-3>
- Akhirul, Witra, Y., Umar, I., & Erianjoni. (2020). Dampak Negatif Pertumbuhan Penduduk Terhadap Lingkungan Dan Upaya Mengatasinya. *Jurnal Kependudukan Dan Pembangunan LignKeyungan*, 1(3).
- Batty, M. (2008). The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319(5864), 769–771. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1151419>
- Button, K. (2002). City management and urban environmental indicators. *Ecological Economics*, 40(2), 217–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00255-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00255-5)
- Cao, J., Wu, E., Wu, S., Fan, R., Xu, L., Ning, K., Li, Y., Lu, R., Xu, X., Zhang, J., Yang, J., Yang, L., & Lei, G. (2022). Spatiotemporal Dynamics of Ecological Condition in Qinghai-Tibet Plateau Based on Remotely Sensed Ecological Index. *Remote Sensing*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/rs14174234>
- Cheng, Z., & He, Q. (2019). Remote Sensing Evaluation of the Ecological Environment of Su-Xi-Chang 466 City Group based on Remote Sensing Ecological Index (RSEI). *Remote Sensing Technology and Application*, 34(3), 531–539.
- Fang, C., Cui, X., Li, G., Bao, C., Wang, Z., Ma, H., Sun, S., Liu, H., Luo, K., & Ren, Y. (2019). Modeling regional sustainable development scenarios using the Urbanization and Eco-environment Coupler: Case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China. *Science of The Total Environment*, 689, 820–830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.430>
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Homaei, M., Arsanjani, J. J., & Alavipanah, S. K. (2021). A novel method to quantify urban surface ecological poorness zone: A case study of several European cities. *Science of the Total Environment*, 757. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143755>
- Gao, P., Kasimu, A., Zhao, Y., Lin, B., Chai, J., Ruzi, T., & Zhao, H. (2020). Evaluation of the Temporal and Spatial Changes of Ecological Quality in the Hami Oasis Based on RSEI. *Sustainability*, 12(18), 7716. <https://doi.org/10.3390/su12187716>
- Geng, J., Yu, K., Xie, Z., Zhao, G., Ai, J., Yang, L., Yang, H., & Liu, J. (2022). Analysis of Spatiotemporal Variation and Drivers of Ecological Quality in Fuzhou Based on RSEI. *Remote Sensing*, 14(19), 4900. <https://doi.org/10.3390/rs14194900>
- Hasnat, G. N. T. (2021). A Time Series Analysis of Forest Cover and Land Surface Temperature Change Over Dudpukuria-Dhopachari Wildlife Sanctuary Using Landsat Imagery. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.687988>
- HEALEY, S., COHEN, W., ZHIQIANG, Y., & KRANKINA, O. (2005). Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 301–310. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.009>

- Indrawati, L., Sigit Heru Murti, B. S., Rachmawati, R., & Aji, D. S. (2020). Effect of Urban Expansion Intensity on Urban Ecological Status Utilizing Remote Sensing and GIS: A Study of Semarang-Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 451(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/451/1/012018>
- Ji, J., Wang, S., Zhou, Y., Liu, W., & Wang, L. (2020). Studying the Eco-Environmental Quality Variations of Jing-Jin-Ji Urban Agglomeration and Its Driving Factors in Different Ecosystem Service Regions from 2001 to 2015. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3018730>
- Jiang, C. L., Wu, L., Liu, D., & Wang, S. M. (2019). Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: Taking the Gurbantunggut Desert China as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30(3). <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201903.008>
- Jiang, L., Liu, Y., Wu, S., & Yang, C. (2021). Analyzing ecological environment change and associated driving factors in China based on NDVI time series data. *Ecological Indicators*, 129, 107933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107933>
- Jin, S., & Sader, S. A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3), 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.012>
- Jing, Y., Zhang, F., He, Y., Kung, H. te, Johnson, V. C., & Arikema, M. (2020). Assessment of spatial and temporal variation of ecological environment quality in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105874>
- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939), 528–531. <https://doi.org/10.1038/nature01675>
- Karbalaei Saleh, S., Amoushahi, S., & Gholipour, M. (2021). Spatiotemporal ecological quality assessment of metropolitan cities: a case study of central Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09082-2>
- Li, Y., Cao, Z., Long, H., Liu, Y., & Li, W. (2017). Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban–rural development: The case of Mu Us Sandy Land, China. *Journal of Cleaner Production*, 142, 697–715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.011>
- Liu, C., Yang, M., Hou, Y., Zhao, Y., & Xue, X. (2021). Spatiotemporal evolution of island ecological quality under different urban densities: A comparative analysis of Xiamen and Kinmen Islands, southeast China. *Ecological Indicators*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107438>
- Montgomery, M. R. (2008). The Urban Transformation of the Developing World. *Science*, 319(5864), 761–764. <https://doi.org/10.1126/science.1153012>
- Nie, X., Hu, Z., Zhu, Q., & Ruan, M. (2021). Research on temporal and spatial resolution and the driving forces of ecological environment quality in coal mining areas considering topographic correction. *Remote Sensing*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/rs13142815>
- Niu, X., & Li, Y. (2020). Remote Sensing Evaluation of Ecological Environment of Anqing City Based On Remote Sensing Ecological Index. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2020, 733–737. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-733-2020>

- Prihatin, R. B. (2016). Alih Fungsi Lahan di Perkotaan (Studi Kasus di Kota Bandung Dan Yogyakarta). *Jurnal Aspirasi*, 6(2). <https://doi.org/10.22212/aspirasi.v6i2.507>
- Qureshi, S., Alavipanah, S. K., Konyushkova, M., Mijani, N., Fathololomi, S., Firozjaei, M. K., Homaei, M., Hamzeh, S., & Kakroodi, A. A. (2020). A remotely sensed assessment of surface ecological change over the Gomishan Wetland, Iran. *Remote Sensing*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/RS12182989>
- Seddon, A. W. R., Macias-Fauria, M., Long, P. R., Benz, D., & Willis, K. J. (2016). Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 531(7593), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature16986>
- Su, S., Zhaoning, G., Wenjing, Z., Yuan, Z., & Yifei, W. (2022). Change of vegetation coverage 560 and assessment of ecological environment quality in Beiyun River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 42(1), 19–27.
- Wang, H., Liu, D., Lin, H., Montenegro, A., & Zhu, X. (2015). NDVI and vegetation phenology dynamics under the influence of sunshine duration on the Tibetan plateau. *International Journal of Climatology*, 35(5). <https://doi.org/10.1002/joc.4013>
- Xu, H. Q. (2013). A remote sensing index for assessment of regional ecological changes. *Zhongguo Huanjing Kexue/China Environmental Science*, 33(5).
- Xu, H. Q., & Zhang, H. (2015). Ecological response to urban expansion in an island city: Xiamen, southeastern China. *SCIENTIA GEOGRAPHICA SINICA*, 5, 867–872.
- Xu, H., Wang, M., Shi, T., Guan, H., Fang, C., & Lin, Z. (2018). Prediction of ecological effects of potential population and impervious surface increases using a remote sensing based ecological index (RSEI). *Ecological Indicators*, 93, 730–740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.055>
- Xu, H., Wang, Y., Guan, H., Shi, T., & Hu, X. (2019). Detecting Ecological Changes with a Remote Sensing Based Ecological Index (RSEI) Produced Time Series and Change Vector Analysis. *Remote Sensing* 2019, Vol. 11, Page 2345, 11(20), 2345. <https://doi.org/10.3390/RS11202345>
- Xu, H., & Zhang, T. (2013). Assessment of consistency in forest-dominated vegetation observations between ASTER and Landsat ETM+ images in subtropical coastal areas of southeastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.08.012>
- Xu Hanqiu. (2013). A remote sensing urban ecological index and its application. *Acta Ecol*, 7853–7862.
- Yang, H.-T., & Xu, H.-Q. (2020). Assessing fractional vegetation cover changes and ecological quality of the Wuyi Mountain National Nature Reserve based on remote sensing spatial information. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology*, 31(2).
- Yuan, B., Fu, L., Zou, Y., Zhang, S., Chen, X., Li, F., Deng, Z., & Xie, Y. (2021). Spatiotemporal change detection of ecological quality and the associated affecting factors in Dongting Lake Basin, based on RSEI. *Journal of Cleaner Production*, 302, 126995. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126995>
- Yue, H., Liu, Y., Li, Y., & Lu, Y. (2019). Eco-environmental quality assessment in china's 35 major cities based on remote sensing ecological index. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2911627>
- Zhang, S., Zhou, Y., Yu, Y., Li, F., Zhang, R., & Li, W. (2022). Using the Geodetector Method to Characterize the Spatiotemporal Dynamics of Vegetation and Its Interaction with Environmental Factors in the Qinba Mountains, China. *Remote Sensing*, 14(22), 5794. <https://doi.org/10.3390/rs14225794>
- Zhang, T., Yang, R., Yang, Y., Li, L., & Chen, L. (2021). Assessing the Urban Eco-Environmental

- Quality by the Remote-Sensing Ecological Index: Application to Tianjin, North China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7), 475. <https://doi.org/10.3390/ijgi10070475>
- Zhao Qiguo, Huang Guoqin, & Ma Yanqin. (2016). The ecological environment conditions and construction of an ecological civilization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 36(19). <https://doi.org/10.5846/stxb201410081968>
- Zhu, D., Chen, T., Wang, Z., & Niu, R. (2021). Detecting ecological spatial-temporal changes by Remote Sensing Ecological Index with local adaptability. *Journal of Environmental Management*, 299, 113655. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113655>
- Zhu, H., Wang, J. L., Cheng, F., Deng, H., Zhang, E. W., & Li, Y. X. (2020). [Monitoring and evaluation of eco-environmental quality of lake basin regions in Central Yunnan Province, China]. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology*, 31(4), 1289–1297. <https://doi.org/10.13287/J.1001-9332.202004.011>
- Zhuang, Q., Wu, S., Yan, Y., Niu, Y., Yang, F., & Xie, C. (2020). Monitoring land surface thermal environments under the background of landscape patterns in arid regions: A case study in Aksu river basin. *Science of The Total Environment*, 710, 136336. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136336>