

Analisis Spasial Indeks Vegetasi, Suhu Permukaan dan *Urban Heat Island* di Kota Bogor

Spatial Analysis of Vegetation Indices, Land Surface Temperature and Urban Heat Island in Bogor City

Raja Syahri Demara^{1,*}, Nizar Nasrullah¹, Tati Budiarti¹

¹Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University

*Email: demarasimamora@gmail.com

Artikel Info

Diajukan: 13 November 2024

Direvisi: 09 Januari 2025

Diterima: 09 Januari 2025

Dipublikasi: 01 Oktober 2025

Keywords

Bogor City

green open spaces

land surface temperature

urban heat island

vegetation indices

ABSTRACT

The rapid urbanisation and population growth in Bogor City has significantly decreased green open spaces from 1,982.23 ha in 2009 to 784.74 ha in 2021. This study aims to assess the extent of vegetation, land surface temperature (LST), and urban heat island (UHI) in Bogor City in 2023 spatially and develop recommendations for green open spaces development to mitigate UHI effects. Landsat 8 OLI/TIRS satellite imagery from July 20, 2023, was used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), LST, and UHI intensity. The relationship between vegetation indices and LST was analyzed using RStudio to determine the required green open spaces area for reducing surface temperatures. Results showed that regions with high vegetation density had lower LST than urban areas. The UHI intensity in Bogor City was quantified by comparing urban and non urban temperatures using a 5 km buffer zone. Regression analysis revealed a significant negative correlation between vegetation indices and LST. The findings suggest that increasing green open spaces through strategic planning and development can effectively mitigate UHI effects in Bogor City, improving urban environmental quality and residents' well-being.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang tidak terkendali di lanskap perkotaan telah menyebabkan penurunan yang signifikan pada ruang terbuka hijau (RTH), yang secara langsung menyebabkan peningkatan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*/LST) dan intensifikasi fenomena *Urban Heat Island* (UHI). UHI didefinisikan sebagai kondisi di mana suhu udara dan permukaan di area perkotaan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah non-urban di sekitarnya (Voogt 2002). Beberapa faktor utama yang memicu fenomena ini meliputi perubahan fungsi lahan, berkurangnya tutupan vegetasi, dan meningkatnya aktivitas manusia yang menyebabkan akumulasi panas di permukaan perkotaan (Utami *et al.* 2008; Qiu *et al.* 2013; Fitriyati *et al.* 2024).

Sebagai salah satu kota satelit di Jabodetabek, Kota Bogor memainkan peran penting dalam menampung pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi dari wilayah metropolitan Jakarta (Tohjiwa *et al.* 2010; Ayyubi *et al.* 2024). Populasi Kota Bogor saat ini telah melampaui 1,1 juta jiwa dengan kepadatan lebih dari 10.000 jiwa/km² (Indonesia 2023), menandakan tekanan urbanisasi yang tinggi. Tren ini berdampak langsung terhadap penurunan luas RTH, yang berkurang dari 1.982,23 ha tahun 2009 menjadi hanya 784,74 ha tahun 2021 (Ihsani dan Araswati 2023). Penurunan tersebut secara signifikan menyebabkan kenaikan suhu permukaan dan memperburuk kondisi termal lanskap perkotaan (Halder *et al.* 2021; Mentaschi *et al.* 2022; Ashraf *et al.* 2023; Afrianti *et al.* 2024). Penelitian Hermanto *et al.* (2018) juga menekankan bahwa ekspansi infrastruktur dan perencanaan spasial yang kurang efektif turut andil dalam percepatan degradasi vegetasi di Kota Bogor.

Kasus serupa terjadi di Pekanbaru, di mana RTH yang hanya mencapai 3.195,08 ha jauh di bawah sasaran 30% dari

total luas kota berhubungan dengan suhu maksimum permukaan yang mencapai 39°C (Rizqiyah *et al.* 2023). Penelitian tersebut menegaskan pentingnya fungsi RTH dalam menurunkan suhu permukaan dan meningkatkan kenyamanan termal. Hal ini turut menegaskan bahwa pengurangan efek UHI di kota tropis seperti Bogor memerlukan pendekatan yang berbasis ekologi lanskap.

Dalam konteks ini, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebaran spasial kepadatan vegetasi di Kota Bogor dengan menghitung indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan EVI (*Enhanced Vegetation Index*) yang didasarkan pada citra satelit Landsat 8 dari tahun 2023. Penelitian ini juga melakukan pengukuran LST untuk mengidentifikasi pola distribusi UHI serta bagaimana hal tersebut berhubungan dengan tutupan vegetasi. Dengan menggunakan pendekatan regresi spasial, analisis ini menyelidiki hubungan antara vegetasi dan LST yang akan menjadi landasan bagi rekomendasi pengembangan RTH sebagai strategi untuk mengurangi UHI.

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam memahami dinamika UHI di Kota Bogor dan memberikan rekomendasi perencanaan kota. Hasil studi ini menawarkan solusi berbasis data spasial untuk pengembangan ruang terbuka hijau yang efisien, yang dapat mengurangi intensitas UHI serta meningkatkan kualitas lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah administratif Kota Bogor, yang terletak pada koordinat 106°43'30" BT - 106°51'00" BT dan 6°30'30" LS - 6°41'00" LS. Kota Bogor dipilih sebagai

lokasi penelitian karena merupakan salah satu kota satelit dengan tingkat urbanisasi yang signifikan di kawasan Jabodetabek. Area penelitian mencakup zona urban dan non urban yang berfungsi sebagai perbandingan untuk menganalisis intensitas UHI. Penelitian ini berlangsung dari Januari 2022 hingga Agustus 2023, dengan penekanan pada data spasial yang diperoleh dari citra satelit Landsat 8 tahun 2023.

Tahapan Awal Penelitian

Tahapan awal dalam penelitian ini mencakup pengumpulan dan pengolahan data citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS yang telah dikoreksi secara geometrik untuk menjamin keakuratan spasialnya. Proses ini dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak QuantumGIS (QGIS) untuk mengekstrak data dalam format vektor yang relevan dengan wilayah Kota Bogor. Selain itu, penyesuaian koordinat juga dilakukan agar sesuai dengan sistem pemetaan yang diterapkan. Data yang berhasil dikumpulkan meliputi reflektansi spektrum pada pita *near-infrared* dan *red*, serta data termal yang diperlukan untuk perhitungan LST.

Analisis Kerapatan Vegetasi

Analisis kerapatan vegetasi di Kota Bogor dilakukan dengan memanfaatkan dua indeks utama, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Enhanced Vegetation Index* (EVI). NDVI diperoleh melalui perbandingan reflektansi antara pita *near-infrared* dan pita merah, yang berfungsi untuk membedakan area vegetasi dari area non-vegetasi seperti badan air atau bangunan. Sementara itu, EVI dirancang untuk mengatasi pengaruh atmosfer serta kondisi kanopi vegetasi yang padat (Matsushita *et al.* 2007). Penghitungan ini dilaksanakan menggunakan perangkat lunak QGIS, yang menghasilkan peta distribusi kerapatan vegetasi yang dikategorikan mulai dari tidak bervegetasi hingga vegetasi yang sangat lebat.

Penggunaan dua variabel indeks vegetasi NDVI dan EVI sebelumnya dapat membantu dalam memperkirakan kondisi vegetasi pada suatu perkotaan (Ahmad *et al.* 2014; Ba *et al.* 2022). Perbedaan keduanya adalah, NDVI lebih efisien dalam membedakan vegetasi dari air dan daerah perkotaan, sementara EVI lebih efisien dalam membedakan vegetasi dari ruang terbuka (Huete 1997; Jiang *et al.* 2008). Kedua indeks ini digunakan dalam konteks perkotaan untuk menganalisis tutupan vegetasi dan perubahan suhu permukaan tanah (Amir dan Nourbakhsh 2023). Pembagian kelas vegetasi mengacu pada Dewanti *et al.* (1999), dengan kategori vegetasi sangat lebat, lebat, sedang, jarang, sangat jarang, dan tidak bervegetasi.

Analisis Suhu Permukaan

Suhu permukaan (LST) dihitung menggunakan metode yang dikembangkan oleh Artis dan Carnahan (1982). Proses dimulai dengan mengubah nilai NDVI menjadi proporsi vegetasi dan emisivitas. Data termal yang diperoleh dari pita inframerah termal pada citra Landsat 8 digunakan untuk menentukan suhu permukaan dalam satuan Kelvin, yang selanjutnya dikonversi menjadi Celsius. Perhitungan ini dilakukan melalui perangkat lunak QGIS dengan memanfaatkan modul kalkulasi raster untuk memproses data suhu termal. Hasil analisis ini menghasilkan peta suhu permukaan yang menunjukkan variasi suhu di seluruh area Kota Bogor.

Analisis Intensitas UHI

Intensitas UHI ditentukan dengan membandingkan suhu permukaan rata-rata di wilayah perkotaan dengan suhu rata-rata di wilayah non-perkotaan dalam zona *buffer* yang memiliki radius 5 km dari batas administratif Kota Bogor

(Gambar 1). Metode ini dikembangkan oleh Deng *et al.* (2022). Penggunaan zona *buffer* pada penelitian-penelitian terkait UHI terbukti efektif dalam memperkirakan intensitas UHI pada sebuah wilayah perkotaan (Athukorala dan Murayama 2021; Gupta *et al.* 2023). Zona *buffer* dibuat menggunakan perangkat lunak QGIS, sedangkan perhitungan statistik untuk mengukur UHI *Intensity* (UHII) dilakukan dengan Microsoft Excel (Persamaan 1). Kategori intensitas UHI dikelompokkan menjadi lima tingkat, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Analisis ini memberikan pemahaman spasial tentang pola distribusi UHI di Kota Bogor.

$$UHII = T - T_r \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

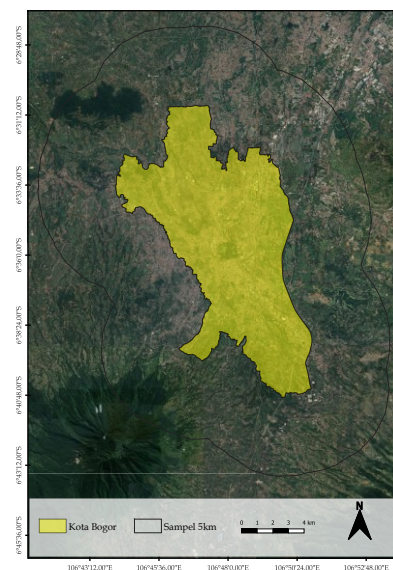
UHII : *Urban Heat Island Intensity* (UHII)

T : Nilai LST urban (°C)

T_r : Nilai rata-rata LST non urban (°C)

Analisis Regresi dan Korelasi

Analisis hubungan antara kerapatan vegetasi, yang diukur melalui NDVI dan EVI, serta LST dilakukan dengan metode regresi linier sederhana. Untuk mengatasi perbedaan skala dan meningkatkan akurasi perbandingan, variabel-variabel tersebut dikonversi menjadi nilai *z-score*. Proses perhitungan regresi dan korelasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak RStudio, yang mendukung analisis statistik yang lebih mendalam serta visualisasi hubungan antarvariabel. Temuan dari analisis ini menjadi landasan untuk rekomendasi pengembangan RTH sebagai strategi dalam mitigasi fenomena UHI.



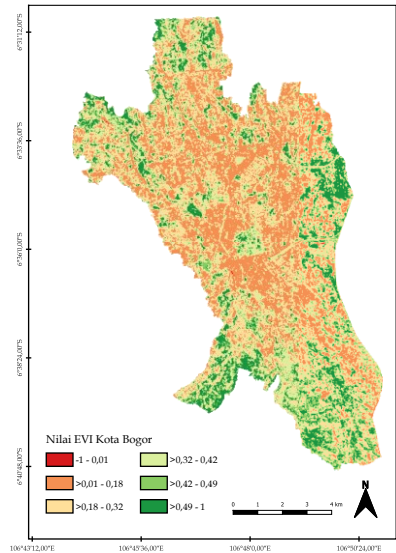
Gambar 1. Kota Bogor dan zona *buffer* (non-perkotaan)

HASIL PENELITIAN

Kerapatan Vegetasi

EVI (Enhanced Vegetation Index)

Nilai EVI yang bernilai -1 - 0,01 dapat dikategorikan sebagai daerah yang diisi oleh badan air. Nilai dengan kategori vegetasi sangat jarang dengan nilai >0,01 - 0,18 memiliki luasan 3.333,19 ha. Kategori jarang dengan nilai >0,18 - 0,32 merupakan nilai dengan luas terbesar, yaitu 3.669,75 ha. Kategori sedang dengan rentang nilai >0,32 - 0,42 sebesar 1.897,38 ha. Kategori sangat lebat dengan rentang nilai >0,49 - 1 sebesar 1.140,39 ha. Kategori lebat merupakan kategori terkecil kedua dengan



Gambar 2. Persebaran EVI Kota Bogor tahun 2023

1.096,92 ha. Secara jelas dapat dilihat pada Tabel 1. Pola persebaran EVI dengan nilai tinggi sebagian besar menjauhi pusat perkotaan. Gambar 2 menunjukkan bahwa kota Bogor memiliki area yang signifikan dengan tutupan vegetasi rendah hingga sedang, terutama di wilayah pertengahan kota dan utara kota, sementara kepadatan vegetasi yang lebih tinggi teramati di sepanjang pinggiran dan di bagian selatan.

Tabel 1. Nilai EVI Kota Bogor tahun 2023

No.	Nilai EVI	Keterangan	Luas (ha)	Persen (%)
1	-1 - 0,01	Tidak bervegetasi	1,85	0,02
2	>0,01 - 0,18	Sangat jarang	3.333,19	29,92
3	>0,18 - 0,32	Jarang	3.669,75	32,94
4	>0,32 - 0,42	Sedang	1.897,38	17,03
5	>0,42 - 0,49	Lebat	1.096,92	9,85
6	>0,49 - 1	Sangat Lebat	1.140,39	10,24
Total			11139,48	100

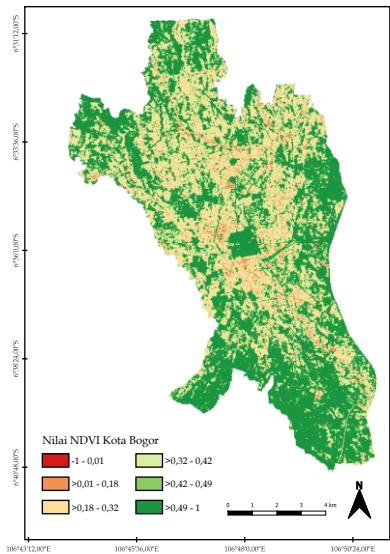
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Pola distribusi NDVI cenderung menjauhi area pertengahan pada perkotaan. Selama periode tahun penelitian, secara garis besar nilai NDVI terus membaik. Nilai NDVI -1 - 0,01, sama seperti EVI dapat dikategorikan sebagai badan air. Nilai NDVI yang terbesar merupakan kategori sangat lebat dengan rentang nilai >0,49 - 1 sebesar 5.194 ha. Nilai NDVI terbesar kedua dengan kategori jarang dan rentang nilai >0,01 - 0,18 sebesar 2.814,84 ha. Kategori sedang dengan nilai >0,32 - 0,42 sebesar 1.762,37 ha. Kategori lebat dengan nilai >0,42 - 0,49 hanya sebesar 1.058,40 ha dan sangat jarang dengan nilai >0,01 - 0,18 sebesar 308,7 ha. Secara jelas dapat dilihat pada Tabel 2. Gambar 3 menunjukkan bahwa kota Bogor memiliki area dengan kerapatan vegetasi tinggi hingga sangat tinggi, terutama di sepanjang perbatasan dan di bagian selatan kota. Terdapat tutupan vegetasi sedang

Tabel 2. Nilai NDVI Kota Bogor tahun 2023

No.	Nilai NDVI	Keterangan	Luas (ha)	Persen (%)
1	-1 - 0,01	Tidak bervegetasi	1,17	0,01
2	>0,01 - 0,18	Sangat jarang	308,70	2,77
3	>0,18 - 0,32	Jarang	2.814,84	25,27
4	>0,32 - 0,42	Sedang	1.762,37	15,82
5	>0,42 - 0,49	Lebat	1.058,40	9,50
6	>0,49 - 1	Sangat Lebat	5194,00	46,63
Total			11.139,48	100

hingga tinggi, dengan beberapa area kerapatan vegetasi rendah di pertengahan kota dan tersebar di sekitarnya. Perbandingan peta NDVI ini dengan peta EVI sebelumnya menunjukkan bahwa kedua indeks tersebut secara umum menggambarkan pola vegetasi yang serupa, meskipun terdapat perbedaan kecil dalam klasifikasi dan luas kerapatan vegetasi.



Gambar 3. Persebaran NDVI Kota Bogor tahun 2023

Suhu Permukaan Kota Bogor (LST) tahun 2023

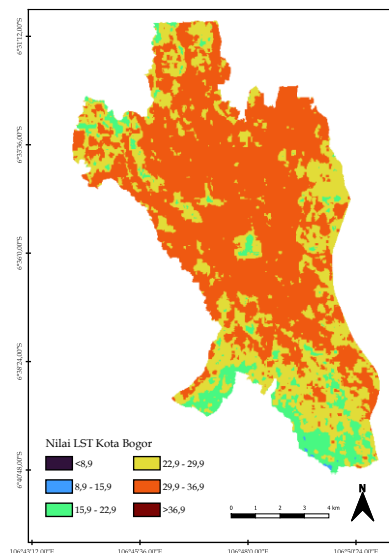
LST Kota Bogor memiliki nilai terbesar pada kategori tinggi dengan rentang nilai 22,9 - 29,9 °C sebesar 5.769,4 ha. Nilai terbesar kedua berada pada kategori sangat tinggi dengan nilai 29,9 - 36,9 °C sebesar 5.364,17 ha. Nilai normal dengan rentang 15,9 - 22,9 °C dan ekstrem dengan rentang >36,9 °C hanya sebesar 5,55 dan 0,36 ha. Secara jelas dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa LST Kota Bogor sangat tinggi. Gambar 4 menunjukkan variasi LST Kota Bogor, dengan sebagian besar wilayah menunjukkan LST tinggi hingga sangat tinggi (oranye dan merah). Wilayah pusat dan beberapa pinggiran kota menunjukkan suhu lebih rendah (hijau dan biru). Informasi ini penting untuk merumuskan strategi mengurangi suhu ekstrem dan meningkatkan ketahanan iklim lanskap perkotaan.

Tabel 3. Nilai dan luasan LST Kota Bogor tahun 2023

No.	Nilai LST(°C)	Keterangan	Luas (ha)	Persen (%)
1	<8,9	Sangat rendah	0	0
2	8,9 - 15,9	Rendah	0	0
3	15,9 - 22,9	Normal	5,55	0,0498
4	22,9 - 29,9	Tinggi	5.769,40	51,7924
5	29,9 - 36,9	Sangat tinggi	5.364,17	48,1546
6	>36,9	Ekstrem	0,36	0,0032
Total			11.139,48	100

UHII Kota Bogor

Nilai UHII yang memiliki nilai paling besar adalah UHII dengan kategori sangat tinggi dengan perbedaan temperatur lebih besar dari 4 °C sebesar 3.713,94 ha dan mencakup 33,34% dari total luas Kota Bogor. Nilai UHII sangat rendah dengan perbedaan temperatur sebesar kurang dari 1 °C, seluas 2.743,57 ha. Nilai UHII dengan kategori tinggi sebesar 1.841,85 ha. Nilai UHII rendah dan sedang sebesar 1.548,45 dan 1291,67 ha. Secara jelas dapat dilihat pada Tabel 4. Gambar 5 menunjukkan pola spasial UHII yang

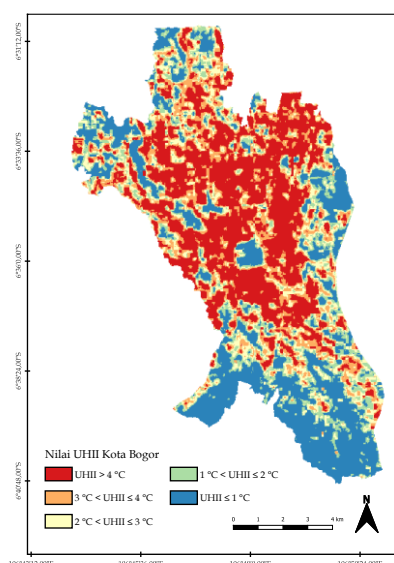


Gambar 4. Persebaran LST Kota Bogor tahun 2023

terjadi di Kota Bogor, dengan intensitas tertinggi terkonsentrasi di bagian pusat dan beberapa bagian utara secara bertahap menurun menuju ke pinggiran kota. Distribusi ini menunjukkan adanya korelasi antara urbanisasi dan akumulasi panas, dengan daerah pusat kemungkinan mengalami aktivitas perkotaan yang lebih intens dan kepadatan penduduk yang lebih tinggi yang berkontribusi pada tingkat UHII yang lebih tinggi.

Tabel 4. Intensitas UHII Kota Bogor tahun 2023

No.	UHII	Level	UHII range	Luas (ha)	Persen (%)
1	Sangat rendah	1	$UHII \leq 1^\circ C$	2.743,57	24,63
2	Rendah	2	$1^\circ C < UHII \leq 2^\circ C$	1.291,67	11,60
3	Sedang	3	$2^\circ C < UHII \leq 3^\circ C$	1.548,45	13,90
4	Tinggi	4	$3^\circ C < UHII \leq 4^\circ C$	1.841,85	16,53
5	Sangat tinggi	5	$UHII > 4^\circ C$	3.713,94	33,34
Total				11.139,48	100

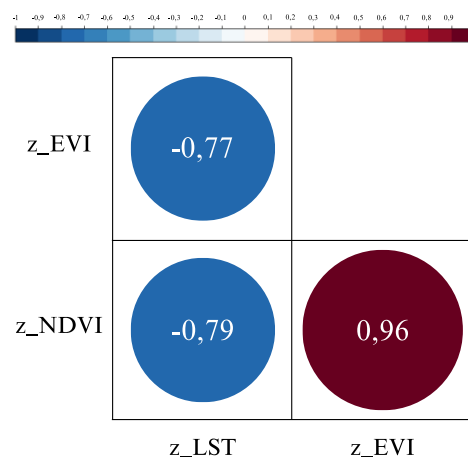


Gambar 5. Persebaran UHII Kota Bogor tahun 2023

Korelasi dan Regresi

Hubungan antara variabel dihitung dengan menggunakan titik-titik secara acak pada data tahun 2023. Sebanyak 15.628 titik tersebar secara acak dari total populasi

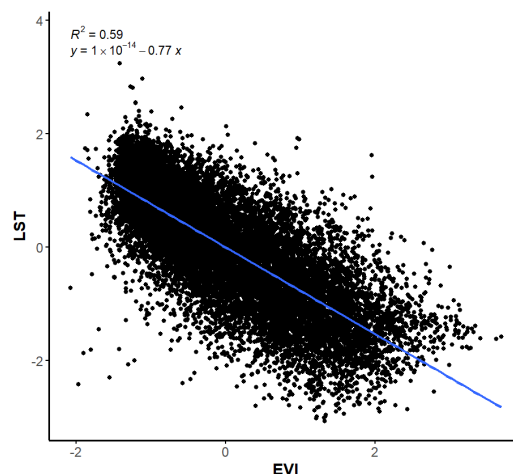
titik 123.772 dengan *margin of error* sebesar $\pm 0,963\%$. Regresi sederhana dilakukan untuk menentukan keterkaitan antara variabel-variabel. Perhitungan Korelasi antar variabel berupa nilai *z-score*, hal ini bertujuan agar perbandingan kontribusi masing-masing variabel terhadap korelasi dan perbedaan skala dan kontribusinya setara, Gambar 6 menunjukkan matriks korelasi antara variabel NDVI, EVI, dan LST.



Gambar 6. Matriks korelasi EVI, NDVI, dan LST

Hubungan antara EVI dan LST

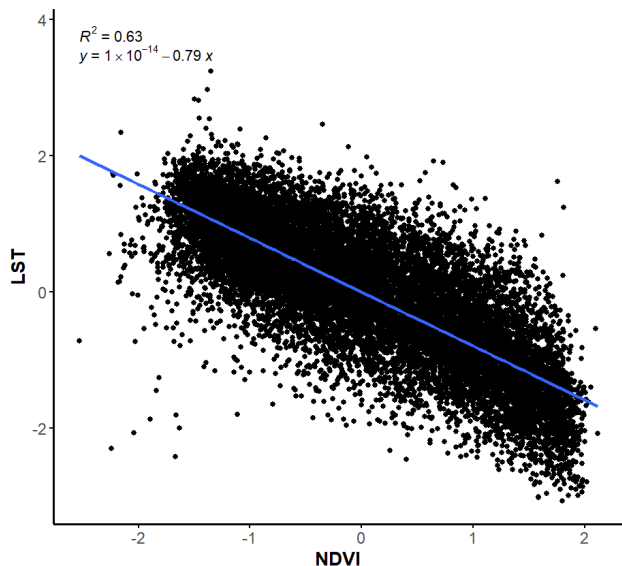
Regresi *z-score* EVI dan LST adalah $y = 1 \times 10^{-14} - 0,77x$ dengan R^2 sebesar 0,59 (Gambar 7). Persamaan tersebut menunjukkan EVI berkontribusi sebesar 59% terhadap variasi yang diamati pada nilai EVI berdasarkan data LST. Korelasi nilai menunjukkan adanya pengaruh negatif yang signifikan antara kedua variabel tersebut sebesar -0,77. Peningkatan EVI sebesar 5% dapat menurunkan LST sebesar $0,77^\circ C$ yang berarti bahwa pengembangan vegetasi setiap 5% dari total area Kota Bogor dapat memperbaiki iklim mikro sebesar 59%.



Gambar 7. Hubungan antara EVI dan LST

Hubungan antara NDVI dan LST

Regresi *z-score* NDVI dan LST adalah $y = 1 \times 10^{-14} - 0,79x$ dengan R^2 sebesar 0,63 (Gambar 8). Persamaan tersebut menunjukkan NDVI berkontribusi sebesar 63% terhadap variasi yang diamati pada nilai NDVI berdasarkan data LST. Korelasi nilai menunjukkan adanya pengaruh negatif yang signifikan antara kedua variabel tersebut sebesar -0,79. Peningkatan EVI sebesar 6% dapat menurunkan LST sebesar $0,79^\circ C$ yang berarti bahwa pengembangan vegetasi setiap 6% dari total area Kota Bogor dapat memperbaiki iklim mikro sebesar 63%.



Gambar 8. Hubungan antara NDVI dan LST

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi spasial menunjukkan bahwa sekitar 65% dari wilayah Kota Bogor termasuk dalam kategori vegetasi rendah hingga sangat rendah, dengan dominasi area terbangun. Hanya sekitar 15% dari total wilayah yang memiliki vegetasi tinggi. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya di Pekanbaru yang mengindikasikan bahwa daerah dengan nilai NDVI rendah cenderung memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi (Rizqiyah *et al.* 2023).

Ketersediaan area vegetasi di lingkungan perkotaan merupakan faktor krusial dalam menentukan kenyamanan serta keberlanjutan ekosistem perkotaan yang sehat (Mogildea dan Biță-Nicolae 2024). Penurunan vegetasi di lanskap perkotaan terjadi seiring dengan meningkatnya jarak dari pusat kota (Gambar 2 dan Gambar 3), yang menekankan pentingnya perlindungan dan peningkatan tutupan pohon di area tersebut. Peningkatan area vegetasi tidak hanya berpotensi memperbaiki iklim mikro perkotaan, tetapi juga dapat berkontribusi pada perbaikan iklim makro jika pengembangannya memperhatikan aspek konektivitas dan jenis vegetasinya (Falchetta dan Hammad 2023; Raihan 2024). Proses evapotranspirasi yang dihasilkan oleh keberadaan vegetasi dapat menurunkan suhu permukaan di daerah dengan kepadatan vegetasi yang tinggi (Yu *et al.* 2024). Penelitian Weng *et al.* (2004) juga menunjukkan bahwa tutupan vegetasi memiliki peran penting dalam menurunkan suhu permukaan di kawasan perkotaan. Selain itu, penelitian oleh Rizqiyah *et al.* (2022) di Pekanbaru menemukan pola yang serupa, di mana wilayah perkotaan dengan tutupan vegetasi yang rendah memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah non-perkotaan.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi hubungan antara indeks vegetasi dan suhu permukaan. Penelitian oleh Zhang *et al.* (2020), menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara EVI dan LST, terutama dalam konteks ekosistem hutan dan padang rumput. Namun, hubungan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor yang menjadikannya sangat kompleks. Di India, misalnya, EVI menunjukkan peningkatan yang relatif kecil seiring waktu, sementara LST mengalami fluktuasi musiman, yang mencerminkan interaksi yang rumit antara tutupan vegetasi dan suhu permukaan (Arora *et al.* 2019). Selain itu, faktor penggunaan lahan juga berperan penting dalam hubungan antara EVI dan LST; area yang didominasi oleh vegetasi pohon cenderung memiliki suhu permukaan yang lebih rendah

dibandingkan dengan area pertanian yang minim vegetasi pohon (Phompila *et al.* 2015). Meskipun umumnya terdapat korelasi positif antara EVI dan LST, hubungan ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk urbanisasi, kondisi iklim, dan jenis vegetasi. Kompleksitas ini menunjukkan pentingnya penelitian lokal untuk memahami dinamika yang ada dengan lebih mendalam.

REKOMENDASI

Diversifikasi dan efisiensi pendekatan diperlukan untuk meningkatkan ruang hijau dan taman di perkotaan. Salah satu cara yang efektif adalah mengintegrasikan ruang hijau dan taman ke dalam desain pembangunan perkotaan dan memastikan bahwa proyek konstruksi, baik hunian maupun komersial, melibatkan elemen tersebut (Ivanova *et al.* 2019). Pemerintah kota dapat menerapkan regulasi yang mendorong konversi lahan kosong menjadi taman komunal atau atap hijau (Fatima dan Eqbal 2018). Penerapan konsep Kebun Botani Tambahan 'Ancillary Botanic Gardens' (ABG) bersama Kebun Raya Bogor dapat menjadi strategi yang efektif dalam menambah ruang hijau di Kota Bogor, serta sebagai tempat untuk mengembangkan tanaman yang tahan terhadap cuaca panas dan sebagai sarana pendidikan (Melhem *et al.* 2023).

Strategi mitigasi UHI memerlukan pendekatan yang berbasis spasial dan kontekstual. Arifah dan Susetyo (2019), menekankan pentingnya pengembangan RTH berdasarkan distribusi vegetasi, suhu, dan persepsi pengguna untuk menentukan zona prioritas pengendalian suhu. Penelitian oleh Mariski *et al.* (2017) menunjukkan bahwa persepsi pengguna lebih dipengaruhi oleh keberadaan vegetasi dengan tutupan tajuk yang luas dan bentuk kanopi yang memberikan naungan. Berdasarkan hal tersebut pemilihan pohon dan tanaman sebagai vegetasi harus didasarkan pada tempat dan fungsinya, terlebih fungsi ekologis yang diberikan oleh vegetasi tersebut.

Pengembangan ruang terbuka di perkotaan harus mempertimbangkan peran ekologis selain aspek rekreasi dan estetika. Arifah dan Susetyo (2019) menekankan pentingnya mengintegrasikan ruang terbuka hijau dan biru dalam perencanaan kota yang peka terhadap air dengan taman kota, hutan kota, dan badan air berfungsi sebagai area resapan dan pengontrol limpasan (*runoff*). Penelitian oleh Puspita *et al.* (2017) juga menunjukkan bahwa kualitas perairan dan vegetasi riparian memiliki peran penting dalam menciptakan kenyamanan termal dan efektivitas ekologis ruang terbuka, serta berpotensi memiliki kontribusi dalam mitigasi UHI.

Pendekatan mikro seperti *tactical urbanism* cocok diterapkan pada ruang terbatas seperti trotoar, median jalan, dan fasad bangunan (Lydon *et al.* 2015). Hakim dan Sulistyantara (2024) menyatakan bahwa integrasi vegetasi di ruang transisi publik tidak hanya menciptakan koridor yang sejuk dan meningkatkan kenyamanan pengguna, tapi juga dapat berfungsi sebagai pengontrol iklim mikro melalui pendekatan *green infrastructure* (GI). Terlebih penggunaan material reflektif seperti *cool pavement*, *green roof*, dan *green wall* terbukti efektif dalam menurunkan suhu pada area padat penduduk (Del Serrone *et al.* 2022). Namun, penelitian oleh Pratiwi *et al.* (2019), menunjukkan bahwa preferensi masyarakat terhadap *green infrastructure* seperti *green roof*, *green wall*, dan ruang terbuka biru masih rendah. Rendahnya apresiasi tersebut menjadi tantangan dalam implementasi strategi adaptif berbasis vegetasi, meskipun elemen-elemen tersebut memiliki potensi ekologis dan fungsional yang tinggi. Penyuluhan kepada masyarakat mengenai manfaat yang diberikan oleh elemen-elemen tersebut penting untuk meningkatkan penerimaan dan keberlangsungan pelaksanaannya.

Pengembangan vegetasi pada lanskap perkotaan tidak hanya perlu fokus terhadap ruang publik besar seperti taman perkotaan. Ruang lain yang kurang diperhatikan juga memiliki potensi ekologis yang signifikan. Penelitian Priharyaningsih *et al.* (2020), menunjukkan bahwa vegetasi pohon di area pemakaman dapat menyerap karbon dalam jumlah besar. Penelitian tersebut mencatat bahwa Taman Makam Tanah Kusir di Jakarta, seluas 55,04 ha mampu menyerap karbon 4,26 ton/ha atau kandungan biomassa 0,63 ton/ha. Oleh karena itu, pemangku kebijakan dan kepentingan perlu memperhatikan pengembangan ruang hijau di lokasi lain seperti sempadan rel kereta api yang tidak digunakan sebagai jalur aktif. Ruang-ruang ‘tersembunyi’ tersebut dapat menjadi bagian dari jaringan ekologi perkotaan dan berpotensi besar dalam kontribusinya dalam mitigasi UHI serta peningkatan mutu lingkungan di lanskap perkotaan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Studi ini menemukan bahwa terdapat hubungan antara pola penyebaran vegetasi dengan LST di Kota Bogor. Kepadatan vegetasi cenderung lebih tinggi di pinggiran kota sementara LST cenderung sangat tinggi di sebagian besar wilayah. Ditemukan korelasi antara peningkatan persentase vegetasi dengan penurunan LST, menunjukkan perlunya diversifikasi dan efisiensi pendekatan dalam meningkatkan ruang hijau di perkotaan. Solusi yang disarankan adalah integrasi ruang hijau dan taman dalam desain pembangunan kota serta konversi lahan kosong menjadi taman komunal atau atap hijau.

Saran

Penelitian ini masih berupa penelitian secara spasial. Pengamatan secara langsung perlu dilaksanakan agar keakuratan data dan informasi yang didapatkan lebih detail dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti C, Widiarti NM, Akbar IZ, Rachmanto EP, Hanif MF, Amin RA, Kaswanto RL, Wiyoga H, Mosyafitiani A. 2024. An Assessment of Urban Forest Landscape Services for Green Space Management Improvement in Bandung City, West Java, Indonesia. *BIO Web of Conferences* 94: 04006. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249404006>
- Ahmad A, Aboobaidier BM, Isa MSM, Md Hashim N, Rosul M, Muhamad S, Man S. 2014. Temporal Changes in Urban Green Space based on Normalized Difference Vegetation Index. *Applied Mathematical Sciences* 8(55): 2743-2751. [doi:10.12988/ams.2014.432230](https://doi.org/10.12988/ams.2014.432230)
- Amir, Nourbakhsh M. 2023. Investigating the Relationship between NDVI and EVI Vegetation Indices with Ground Surface Temperature in Tehran. *J Civ Eng Res.* 5(2): 29-35. [doi:10.61186/jcer.5.2.129](https://doi.org/10.61186/jcer.5.2.129)
- Arifah N, Susetyo C. 2019. Penentuan Prioritas Ruang Terbuka Hijau berdasarkan Efek *Urban Heat Island* di Wilayah Surabaya Timur. *J Tek ITS.* 7(2).
- Arora A, Siddiqui M, Pandey M. 2019. Analysis of Relationship between Vegetation Indices and Land Surface Temperature Using GIS and Python in Middle Ganga plain, India. *Journal of Geographical Studies* 2: 53-61. [doi:10.21523/gcj5.18020201](https://doi.org/10.21523/gcj5.18020201)
- Artis DA, Carnahan WH. 1982. Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas. *Remote Sens Environ.* 12(4): 313-329. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Ashraf H, Seoud TA El, Sodoudi S, Zafarany A el. 2023. Anisotropic Surface Urban Heat Island in Cairo, Egypt: A Spatiotemporal Analysis of Local Climate Change from 2000 to 2021. *Civ Eng Archit.* 11(1):331-350. doi: <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110127>
- Athukorala D, Murayama Y. 2021. Urban Heat Island Formation in Greater Cairo: Spatio-temporal Analysis of Daytime and Nighttime Land Surface Temperatures along the Urban-Rural Gradient. *Remote Sens.* 13(7). doi: <https://doi.org/10.3390/rs13071396>
- Ayyubi MS, Arifin HS, Kaswanto RL. 2024. Rekomendasi Strategi Pengelolaan Lanskap Publik Ruang Terbuka Hijau dan Biru di Kota Bogor. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 11(2):102-112. <https://doi.org/10.29244/jkebijakan.v11i2.57137>
- Ba R, Lovallo M, Song W, Zhang H, Telesca L. 2022. Multifractal Analysis of MODIS Aqua and Terra Satellite Time Series of Normalized Difference Vegetation Index and Enhanced Vegetation Index of Sites affected by wildfires. *Entropy.* 24(12):1748. doi: <https://doi.org/10.3390/e24121748>
- Del Serrone G, Peluso P, Moretti L. 2022. Evaluation of Microclimate Benefits Due to Cool Pavements and Green Infrastructures on Urban Heat Islands. *Atmosphere (Basel).* 13(10):1586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Deng F, Yang Y, Zhao E, Xu N, Li Z, Zheng P, Han Y, Gong J. 2022. Urban Heat Island Intensity Changes in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area of China Revealed by Downscaling MODIS LST with Deep Learning. *Int J Environ Res Public Health.* 19(24):17001. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph192417001>
- Dewanti R, Maulana T, Budiman S, Zinuddin F, Munyati. 1999. Kondisi Hutan Mangrove di Kalimantan Timur, Sumatera, Jawa, Bali, dan Maluku. *Maj Lapan, Ed Penginderaan Jauh.* 1(91):29-30.
- Falchetta G, Hammad AT. 2023. Tracking Global Urban Green Space Trends.
- Fatima F, Eqbal Y. 2018. Sustainable Urban Landscapes and Open Spaces: Case Studies and Strategies. *SSRN Electron J.* <https://doi.org/10.2139/ssrn.3208193>
- Fitriyati N, Arifin HS, Kaswanto RL, Marimin. 2024. Enhancing Land Use Planning through Integrating Landscape Analysis and Flood Inundation Prediction Bekasi City's in 2030. *Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk* 15(1): 1-27.
- Gupta R, Sharma M, Singh G, Joshi RK. 2023. Characterizing Urban Growth and Land Surface Temperature in the Western Himalayan Cities of India Using Remote Sensing and Spatial Metrics. *Front Environ Sci.* 11 January: 1-15. doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1122935>
- Hakim AL, Sulistyantara B. 2024. Perencanaan *Green Infrastructure* pada Kawasan Transit Oriented Development (TOD) Lebak Bulus, Jakarta Selatan. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 99-108. doi: <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.39278>
- Halder B, Bandyopadhyay J, Banik P. 2021. Evaluation of the Climate Change Impact on Urban Heat Island based on Land Surface Temperature and Geospatial Indicators. *Int J Environ Res.* 15(5):819-835. doi:10.1007/s41742-021-00356-8.
- Hermanto SSA, Makalew ADN, Sulistyantara B. 2018. Hubungan Antara Perubahan Tutupan Lahan terhadap Total Penduduk yang Dipengaruhi oleh Fenomena

- Urbanisasi di Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Lanskap Indonesia* 10(1): 7-11. doi: <https://doi.org/10.29244/jli.v10i1.17397>.
- Huete A. 1997. A Comparison of Vegetation Indices Over a Global set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sens Environ.* 59(3):440-451. doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5).
- Ihsani I, Araswati FD. 2023. Analysis of Green Open Space Needs in Bogor City. *J Civ Eng Build Transp.* 7(1):276-282. doi: <https://doi.org/10.31289/jcebt.v7i1.9160>.
- Indonesia. 2023. Kota Bogor Dalam Angka 2023. Ed ke-2024. Bogor: Badan Pusat Statistik Kota Bogor. <http://bogorkota.bps.go.id>.
- Ivanova K, Kozlov V, Belomestnyh S. 2019. Preservation and Development of Historical Heritage of Gardens and Parks in Large European Cities. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 667(1):012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012034>.
- Jiang Z, Huete A, Didan K, Miura T. 2008. Development of a Two-Band Enhanced Vegetation Index Without a Blue Band. *Remote Sens Environ.* 112(10):3833-3845. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>.
- Lydon M, Garcia A, Duany A. 2015. *Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change*. Island Press. <https://books.google.co.id/books?id=JkW9BgAAQBAJ>.
- Mariski, Nasrullah N, Gunawan A. 2017. Perceptions and Preferences of User to the Thermal Comfort in Menteng Park and Honda Tebet Park. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1): 24-35. doi: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jli/article/view/14647/mariski>.
- Matsushita B, Yang W, Chen J, Onda Y, Qiu G. 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors.* 7(11): 2636-2651. doi: <https://doi.org/10.3390/s7112636>.
- Melhem M, Forrest A, Abunnasr Y, Abi Ali R, Talhouk SN. 2023. How to Transform Urban Institutional Green Spaces Into Ancillary Botanic Gardens to Expand Informal Botanical Learning Opportunities in Cities. *Sci Rep.* 13(1):15646. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41398-6>.
- Mentaschi L, Duveiller G, Zulian G, Corbane C, Pesaresi M, Maes J, Stocchino A, Feyen L. 2022. Global Long-Term Mapping of surface Temperature Shows Intensified Intra-City Urban Heat Island Extremes. *Glob Environ Chang.* 72:102441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102441>.
- Mogildea D, Biță-Nicolae C. 2024. Ruderal Plant Diversity as a Driver for Urban Green Space Sustainability. *Urban Sci.* 8(4):159. doi: <https://doi.org/10.3390/urbansci8040159>.
- Persepsi dan Preferensi Masyarakat terhadap Infrastruktur Hijau Kota Yogyakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia* 11(1): 33-42. doi: <https://doi.org/10.29244/jli.v11i1.20563>.
- Phompila C, Lewis M, Ostendorf B, Clarke K. 2015. MODIS EVI and LST Temporal Response for Discrimination of Tropical Land Covers. *Remote Sens.* 7(5):6026-6040. doi: <https://doi.org/10.3390/rs70506026>.
- Priharyaningsih D, Hasibuan HS, Koestoer R. 2020. Ecological Value of Cemetery in Jakarta. *Jurnal Lanskap Indonesia* 11(2): 55-58. doi: <https://doi.org/10.29244/jli.v11i2.23358>.
- Puspita ID, Fatimah IS, Gunawan A. 2017. Evaluasi Lanskap Situ-Front sebagai Pengembangan *Waterfront* di Kawasan Cibinong Raya, Kabupaten Bogor. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1): 12-23. doi: <https://doi.org/10.29244/jli.v9i1.14812>.
- Qiu G, Li H, Zhang Q, Chen W, Liang X, Li X. 2013. Effects of Evapotranspiration on Mitigation of Urban Temperature by Vegetation and Urban Agriculture. *J Integr Agric.* 12(8): 1307-1315. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60543-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60543-2).
- Raihan A. 2024. A Review on the Role of Green Vegetation in Improving Urban Environmental Quality. *Eco Cities.* 4(2): 2387. doi: <https://doi.org/10.54517/ec.v4i2.2387>.
- Rizqiyah UH, Nasrullah N, Sulistyantara B. 2023. Analysis of Green Open Space Needs in Pekanbaru City based on The Thermal Comfort Index "THI." *Eduvest - J Univers Stud.* 3(3): 604-611. doi: <https://doi.org/10.59188/eduvest.v3i3.776>.
- Tohjiwa AD, Soetomo S, Sjahbana JA, Purwanto E. 2010. Kota Bogor dalam Tarik Menarik Kekuatan Lokal dan Regional. *Semin Nas Ris Arsit dan Perenc 1 HUMANISME, Arsit DAN Perenc.*, siap terbit.
- Utami FNH, Kaswanto RL, Hadi AA. 2008. Penerapan Konsep Bangunan Ramah Lingkungan melalui Konstruksi *Green Panel* sebagai Alternatif Peningkatan Kenyamanan dalam Ruang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 13(3): 204-212.
- Voogt JA. 2002. Urban Heat Island. Di dalam: *Encyclopedia of Global Environmental Change*. Volume ke-3. John Wiley & Sons.
- Weng Q, Lu D, Schubring J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens Environ.* 89(4):467-483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>.
- Yu Z, Chen Jiaqi, Chen Jike, Zhan W, Wang C, Ma W, Yao X, Zhou S, Zhu K, Sun R. 2024. Enhanced Observations from an Optimized Soil-Canopy-Photosynthesis and Energy Flux Model Revealed Evapotranspiration-Shading Cooling Dynamics of Urban Vegetation during Extreme Heat. *Remote Sens Environ.* 305:114098. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114098>.
- Zhang Y, Wang P, Wang T, Li J, Li Z, Teng M, Gao Y. 2020. Using Vegetation Indices to Characterize Vegetation Cover Change in the Urban Areas of Southern China. *Sustainability.* 12(22): 9403. doi: <https://doi.org/10.3390/su12229403>.