

VALUASI EKONOMI KARBON PADA VEGETASI PERKOTAAN KOTA MATARAM BERBASIS NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

Ismail Abdul Karim^{1*}, Asirin²

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, ismail.123220050@student.itera.ac.id

²Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sumatera, asirin@pwk.itera.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Pembangunan infrastruktur perkotaan sering mengeliminasi tutupan hijau, padahal vegetasi sangat krusial dalam penyerapan emisi karbon. Mengikuti transisi kebijakan menuju instrumen Nilai Ekonomi Karbon (NEK), penelitian ini bertujuan mengestimasi cadangan karbon vegetasi Kota Mataram secara spasial dan menakar nilai ekonominya di IDXCarbon sebagai basis data estimasi awal. Metode yang digunakan meliputi ekstraksi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dari citra Sentinel-2A melalui *Google Earth Engine* (GEE). Nilai tersebut dikonversi menjadi biomassa menggunakan model regresi eksponensial, cadangan karbon, dan serapan emisi CO_2e menurut standar baku IPCC, untuk kemudian divalusi menggunakan harga proksi pasar IDXCarbon. Meskipun efisien, metode estimasi optik ini memiliki keterbatasan dipengaruhi oleh faktor ekologis lapangan, sehingga menyumbang tingkat ketidakpastian estimasi sebesar 31,52%. Hasil analisis menunjukkan kerapatan vegetasi Kota Mataram didominasi oleh kelas rendah. Secara spasial, Kecamatan Sandubaya bertindak sebagai lumbung karbon tertinggi dengan serapan 93.383,98 ton CO_2e yang bernilai ekuivalen Rp5,49 miliar hingga Rp13,44 miliar. Sebaliknya, Kecamatan Ampenan mencatatkan serapan terendah sebesar 41.144,39 ton CO_2e (Rp2,41 miliar – Rp5,92 miliar). Temuan ini membuktikan besarnya Nilai Guna Tidak Langsung (*Indirect Use Value*) parsial dari jasa ekosistem vegetasi perkotaan. Oleh karena itu, data dasar ini direkomendasikan sebagai instrumen argumen proteksi peruntukan ruang hijau dalam Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) dan langkah awal eksplorasi mekanisme pendanaan iklim daerah melalui Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI).

Kata Kunci: NDVI; Valuasi Ekonomi Karbon; Vegetasi Perkotaan; Kota Mataram

Abstract: Urban infrastructure development often eliminates green cover, even though vegetation is crucial for carbon sequestration. In line with the policy transition toward the Economic Value of Carbon (EVC) framework, this study aims to spatially estimate the vegetation carbon stock in Mataram City and quantify its economic value on IDXCarbon as a baseline for initial estimates. The methods used include extracting the *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) from Sentinel-2A imagery via *Google Earth Engine* (GEE). These values were converted into biomass using an exponential regression model, followed by calculations of carbon stocks and CO_2e absorption according to IPCC standards, and then valued using IDXCarbon's market proxy prices. Although efficient, this optical estimation method has limitations due to on-the-ground ecological factors, resulting in an estimation uncertainty of 31.52%. The analysis results show that vegetation density in Mataram City is dominated by low-density classes. Spatially, Sandubaya Subdistrict serves as the highest carbon sink with an absorption of 93,383.98 metric tons of CO_2e , valued at the equivalent of Rp5.49 billion to Rp13.44 billion. In contrast, Ampenan Subdistrict recorded the lowest absorption at 41,144.39 metric tons of CO_2e (Rp2.41 billion – Rp5.92 billion). This finding demonstrates the

significant partial Indirect Use Value of urban vegetation ecosystem services. Therefore, these baseline data are recommended as a basis for advocating the protection of green space allocations in the Detailed Spatial Plan (RDTR) and as a first step toward exploring regional climate financing mechanisms through the National Climate Change Control Registry System (SRN-PPI).

Keywords: NDVI; Carbon Economic Valuation; Urban Vegetation; Mataram City

Article History:

Received: 23-08-2026

Revised : 03-09-2026

Accepted: 07-09-2026

Online : 08-09-2026



*This is an open access article under the
CC-BY-SA license*

A. LATAR BELAKANG

Peningkatan akumulasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, khususnya karbon dioksida (CO_2), telah menjadi pemicu utama kenaikan suhu global dan degradasi kualitas iklim yang mengancam keberlangsungan ekosistem. Wilayah perkotaan menempati posisi krusial dalam krisis iklim ini karena mengonsumsi energi dalam jumlah besar dan berkontribusi terhadap lebih dari 70% total emisi CO_2 antropogenik global. Laju pembangunan infrastruktur yang masif di perkotaan tidak hanya mengeliminasi tutupan hijau, tetapi juga memicu fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang menurunkan kenyamanan termal masyarakat. Di tengah tekanan lingkungan perkotaan tersebut, keberadaan vegetasi perkotaan mampu secara ekologis alami menyerap CO_2 melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk cadangan karbon pada biomassa tanaman. Oleh karena itu, pemetaan dan pemantauan kapasitas penyerapan karbon oleh vegetasi perkotaan menjadi langkah penting dalam mendukung komitmen nasional menuju kota rendah karbon.

Untuk mengukur kapasitas ekologis penggunaan lahan secara presisi dan efisien, pendekatan penginderaan jauh telah menjadi standar global (Li et al., 2015). Pemanfaatan *Google Earth Engine* (GEE) dipadukan dengan indeks vegetasi seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) memungkinkan ekstraksi data kerapatan kanopi perkotaan secara *real-time* dan komprehensif tanpa memerlukan inventarisasi manual secara menyeluruh (Gorelick et al., 2017). Nilai piksel NDVI yang diekstraksi dapat ditransformasikan ke dalam model regresi alometrik untuk mengestimasi cadangan biomassa atas permukaan (*Aboveground Biomass/AGB*) yang merepresentasikan jumlah stok karbon dan serapan emisi karbon dioksida ekuivalen berlandaskan kerangka metodologi baku IPCC (Krug et al., 2008)

Lebih dari sekadar perhitungan ekologis, paradigma mitigasi iklim saat ini telah bertransformasi menuju instrumen ekonomi dengan sistem perdagangan karbon (Wang et al., 2019; Hasselknippe, 2003; Perdan dan Azapagic, 2011; Naraassimhan et al., 2018). Kekinian, Pemerintah Indonesia juga telah memiliki kebijakan dan mengimplementasikan perdagangan karbon (Wulandari & Salsabiila, 2025). Melalui Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK), pemerintah Indonesia telah menciptakan ekosistem pasar di mana kapasitas penyerapan emisi dapat divalusi

secara finansial. Perdagangan unit karbon yang diatur oleh Otoritas Jasa Keuangan (OJK) melalui mekanisme bursa IDXCarbon membuka peluang untuk mengkuantifikasi nilai moneter dari vegetasi perkotaan. Vegetasi perkotaan merupakan salah satu komponen Nilai Guna Tidak Langsung (*Indirect Use Value*) khusus dalam jasa regulasi iklim pada konsep *Total Economic Value* (TEV) dan dapat diestimasi ekuivalensinya terhadap potensi aset pendanaan iklim (Pearce et al., 2006).

Kendati instrumen teknologi spasial dan regulasi ekonomi telah tersedia, terdapat kesenjangan penelitian empiris yang signifikan dalam literatur terkait valuasi ekonomi lingkungan saat ini (Dai, 2026). Mayoritas penelitian valuasi karbon di Indonesia masih didominasi oleh lokus kehutanan skala besar, seperti hutan hujan tropis, lahan gambut, dan ekosistem mangrove di kawasan pesisir (Saatchi et al., 2011). Literatur yang secara spesifik menarik metodologi valuasi karbon ini ke dalam ranah vegetasi perkotaan masih terbatas. Kebanyakan riset vegetasi perkotaan hanya berhenti pada tahap pendugaan biomassa fisik berbasis satelit (Dwi Putri et al., 2025), tanpa melanjutkannya hingga tahap valuasi ekonomi menggunakan harga acuan di IDXCarbon. Penelitian ini secara teoritis berkontribusi mengisi celah keilmuan ekonomi lingkungan perkotaan dengan menjembatani metrik biofisik spasial (NDVI) dengan kerangka instrumen berbasis pasar (*market-based instrument*). Sejalan dengan kerangka integrasi indeks ekologis-ekonomi (Liu et al., 2023), pendekatan penelitian ini memberikan perspektif teoritis baru bahwa fungsi ekologis vegetasi kota bukan sekadar pelestarian alam tak berwujud. Vegetasi merupakan entitas jasa ekosistem yang nilainya dapat dikuantifikasi secara moneter. Dalam hal ini, harga unit karbon pada bursa resmi diposisikan sebagai proksi *willingness to pay* dari entitas pasar terhadap jasa regulasi iklim, sebuah pendekatan rasional yang mengeliminasi bias subjektivitas dalam valuasi ekonomi lingkungan (Pearce et al., 2006).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi karena tidak hanya bertujuan untuk mengisi kekosongan literatur pada persimpangan ilmu penginderaan jauh dan ekonomi lingkungan, tetapi juga mendorong secara praktis kebijakan iklim dengan perdagangan karbon untuk pembangunan daerah. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi potensi cadangan karbon pada vegetasi Kota Mataram melalui pendekatan spasial berbasis NDVI, serta mengestimasi valuasi ekonominya berdasarkan skema pasar karbon (IDXCarbon). Penelitian ini diposisikan sebagai basis data awal kelayakan nilai ekologis, dan belum bermaksud untuk menguji kelayakan investasi finansial secara mutlak. Oleh karena itu, beberapa sasaran dari penelitian ini adalah: menganalisis dan memetakan luasan, sebaran, serta tingkat kerapatan vegetasi perkotaan Kota Mataram menggunakan ekstraksi nilai NDVI melalui platform *Google Earth Engine*; menghitung estimasi besaran biomassa, cadangan karbon tersimpan, dan kapasitas serapan emisi CO_2e pada vegetasi perkotaan Kota Mataram berdasarkan standar IPCC; serta mengkalkulasi valuasi ekonomi parsial dari total serapan CO_2e tersebut menggunakan acuan harga proksi di IDXCarbon. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan argumentasi

kuantitatif dan nilai peluang (*opportunity value*) bagi pemerintah daerah dalam merencanakan keberlangsungan tata ruang perkotaan di masa depan.

B. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini dirancang secara sistematis dengan mengintegrasikan *remote sensing* berbasis komputasi awan untuk menghasilkan estimasi cadangan karbon serta kapasitas serapan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e) serta *desk study* terkait perdagangan nilai ekonomi karbon di Indonesia. Secara runtut, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari Pengolahan citra satelit sentinel-2 Level-2A untuk menghasilkan nilai NDVI, lalu mengkalkulasi nilai NDVI untuk tingkat kerapatan vegetasi, kemudian mengestimasi Biomassa Atas Permukaan (*Above-Ground Biomass* (AGB)), Cadangan Karbon Tersimpan, serta mengonversinya menjadi kapasitas serapan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e). Citra satelit sentinel-2 lazim, sangat baik digunakan dan sangat berguna untuk analisis spasial tutupan lahan (Aryal et al., 2022). Sementara itu, analisis menggunakan NDVI cocok digunakan untuk mengestimasi tutupan lahan vegetasi suatu wilayah (Nasir et al., 2025). Kapasitas serapan CO₂e hasil perhitungan yang selanjutnya dikonversi menjadi nilai moneter berdasarkan harga karbon acuan pada produk di IDX Carbon.

Pada tahap menghasilkan nilai NDVI dan mengklasifikasikan kerapatannya, citra satelit yang digunakan adalah Sentinel-2 Level-2A pada rentang waktu 01-01-2026 hingga 01-08-2026. Rentang waktu ini dipilih untuk mendapatkan citra komposit median yang merepresentasikan transisi musim hujan ke kemarau, sehingga menghasilkan nilai kehijauan vegetasi yang stabil. Proses pra-pengolahan di *Google Earth Engine* (GEE) mencakup penerapan algoritma *cloud masking* untuk menghilangkan gangguan tutupan awan yang menutupi area perkotaan. Sentinel-2A dipilih karena memiliki resolusi spasial tinggi (10 meter) yang sangat ideal untuk memetakan area perkotaan atau RTH urban yang cenderung terfragmentasi (Nasir et al., 2025). Untuk mengklasifikasikan kelas sebaran RTH perkotaan, nilai NDVI hasil ekstraksi dikelompokkan menggunakan metode klasifikasi ambang batas. Merujuk pada klasifikasi standar spasial RTH perkotaan yang sudah dikoreksi melalui *ground checking* oleh Samsuri et al. (2021), kelas kerapatan dibagi sebagaimana tabel 1 berikut,

Tabel 1. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi berdasar Nilai NDVI

Sumber. Samsuri et al. (2021)

Kelas	Kerapatan Vegetasi	Jenis RTH
<0	Non RTH	Tubuh air seperti sungai dll
0 - 0,1	Vegetasi Sangat rendah	Permukiman lahan terbuka yang dilapisi dengan aspal atau paving maupun jalan aspal
0,11 - 0,5	Vegetasi Rendah	Lahan vegetasi penutup tanah, seperti pada jalan tanah, lapangan kosong tanpa dilapisi aspal atau paving
0,51 - 0,7	Vegetasi Sedang	Lahan vegetasi penutup berupa perkebunan kelapa, kebun campuran, vegetasi rerumputan, padang golf, alang-alang

Kelas	Kerapatan Vegetasi	Jenis RTH
>0,71	Vegetasi Tinggi	Vegetasi berhutan

Estimasi Biomassa Atas Permukaan (AGB) menggunakan model regresi eksponensial empiris yang telah tervalidasi secara spesifik untuk karakteristik ekosistem RTH Kota Mataram melalui penelitian Dwi Putri et al. (2025). Pemilihan model eksponensial ini didasarkan pada tingkat akurasi yang paling memadai dibandingkan model linear, logaritma, maupun power, yang dibuktikan dengan perolehan nilai Root Mean Square Error (RMSE) terkecil yakni sebesar 87,2. Persamaan matematis yang diaplikasikan dalam ekstraksi biomassa ini adalah sebagai berikut,

$$y = 1,1161 * e^{6,1872x}$$

Dengan y adalah estimasi biomassa vegetasi perkotaan (ton/ha) dan x adalah nilai NDVI hasil ekstraksi spasial. Model ini terbukti kredibel karena memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6848, artinya variasi NDVI mampu menjelaskan 68,48% kandungan biomassa lapangan. Model dibangun melalui integrasi data penginderaan jauh dan verifikasi terestrial menggunakan teknik *purposive sampling* pada 32 plot sampel berukuran 20 m x 20 m yang tersebar merepresentasikan berbagai tipologi RTH di Kota Mataram (taman kota, jalur hijau jalan, pemakaman, dan sempadan sungai). Verifikasi terestrial ini guna menghitung biomassa lapangan yang menggunakan persamaan alometrik *non-destructive* Chave et al. (2005) dengan memasukkan parameter diameter batang setinggi dada (D), tinggi pohon (H), dan massa jenis kayu spesifik spesies (ρ) sebagaimana berikut,

$$(AGB)_{est} = 0,0509 \cdot (\rho D^2 H)$$

Penerapan model pendugaan biomassa ini memiliki tiga batasan utama pada wilayah penelitian. Pertama, model secara spesifik hanya tervalidasi untuk tipologi vegetasi perkotaan dataran rendah yang didominasi kelas kerapatan rendah (NDVI 0,1–0,5). Kedua, rentang kalibrasi optimal model terbatas pada proyeksi biomassa antara 1,19 ton/ha hingga 94,92 ton/ha. Ketiga, sisa varians model sebesar 31,52% menunjukkan adanya ketidakpastian akibat bias faktor ekologis eksternal yang tidak terekam oleh sensor optik dua dimensi. Sejalan dengan Lu (2006), estimasi nilai biomassa rentan mengalami distorsi reflektansi akibat variabel intrinsik lapangan yang kompleks, seperti arsitektur kanopi, umur tegakan, variasi spesies, diameter batang, serta fluktuasi kesuburan dan kelembaban tanah

Nilai AGB pada model regresi tersebut kemudian dikonversi menjadi kandungan karbon organik tersimpan (C) sesuai pedoman SNI 7724:2019 menggunakan rumus sebagai berikut,

$$C = B \times CF$$

Dengan C adalah cadangan karbon tersimpan (ton C/ha), B adalah kandungan biomassa kering (ton/ha), serta CF merupakan *carbon fraction* yang bernilai 0,47 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Sesuai Standar akuntansi karbon internasional IPCC (Krug et al., 2008), cadangan karbon tersimpan (C) dikonversi ke nilai serapan emisi gas rumah kaca

dioksida ekuivalen (CO₂e) menggunakan rasio berat molekul antara karbon (C) dan dioksida (CO₂), yaitu rasio 44/12 (atau konstanta 3,67). Besaran (CO₂e) inilah yang kemudian dikonversi menggunakan metode harga pasar karbon untuk mengetahui valuasi ekonomi lingkungannya. Metode yang digunakan adalah menilai suatu barang atau jasa lingkungan (dalam hal ini, serapan emisi karbon) berdasarkan harga riil yang diperdagangkan di pasar komersial (Pearce et al., 2006). Dalam konteks penelitian ini, pasar yang menjadi rujukan adalah Bursa Karbon Indonesia (IDX Carbon). Formulasi dasar yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$V_{carbon} = E_{CO_2e} \times P_{IDX}$$

Keterangan:

V_{carbon} : Nilai ekonomi cadangan karbon RTH (Rupiah)

E_{CO_2e} : Total estimasi serapan Emisi Karbon Dioksida Ekuivalen (Ton CO₂e)

P_{IDX} : Harga satuan karbon per ton CO₂e yang merujuk pada unit karbon yang diperdagangkan di Bursa Efek Indonesia (Rupiah/Ton).

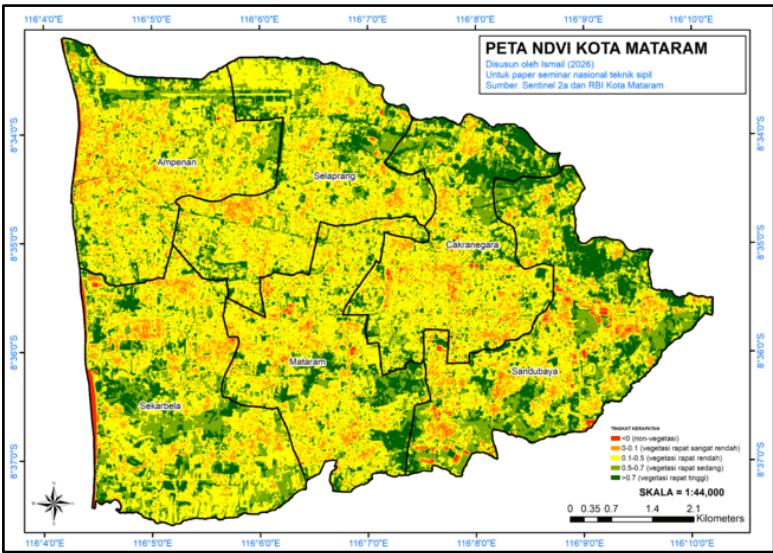
Mempertimbangkan ketiadaan data transaksi aktif pada klasifikasi produk Nature-Based Solution (IDNBS) sebagai produk berbasis vegetasi pada periode observasi penelitian, kalkulasi valuasi ini menggunakan pendekatan nilai proksi. Nilai proksi didasarkan pada harga penutupan perdagangan (per 7 Agustus 2026) untuk klasifikasi produk berbasis teknologi yang tersedia, yaitu IDTBS (Rp58.800), IDTBS-RE (Rp78.000), IDTBSA (Rp95.000), dan IDTBSA-RE (Rp144.000).

Penggunaan proksi ini tetap valid secara keilmuan. Dalam pasar karbon, komoditas emisi bersifat ekuivalen, di mana reduksi 1 ton CO₂e berdampak mitigasi seragam tanpa memandang sektor pembentuknya (Newell et al., 2013). Secara ekonomi lingkungan, harga bursa merupakan cerminan objektif dari kesediaan membayar (*Willingness to Pay*) entitas industri (Pearce et al., 2006). Pendekatan ini secara rasional merumuskan nilai dasar estimasi (*conservative baseline*) yang membuktikan bahwa Nilai Guna Tidak Langsung (*Indirect Use Value*) dari vegetasi Kota Mataram memiliki nilai moneter yang diakui pasar secara setara dengan proyek teknologi hijau (Stiglitz & Stern, 2017).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sebaran, Luas, dan Tingkat Kerapatan Vegetasi Perkotaan Kota Mataram

Ekstraksi nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) pada perkotaan mataram menyajikan kondisi vegetasi yang cukup beragam tingkat kerapatannya. Berdasarkan analisis spasial menggunakan platform google earth engine, nilai NDVI vegetasi kota mataram berada pada rentang -0.46 sampai dengan 0.90. Nilai indeks ini memiliki rentang antara -1,0 hingga +1,0. Untuk memetakan kondisi fisik tutupan vegetasi perkotaan Kota Mataram secara objektif, nilai NDVI hasil ekstraksi dikelompokkan secara bertingkat menggunakan metode klasifikasi ambang batas sebagaimana tabel 1 (Aryal et al., 2022).



Gambar 1. Peta NDVI Kota Mataram
Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Tabel 2. Luasan Kerapatan Vegetasi Kota Mataram
Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Kelas	Kerapatan Vegetasi	Luasan (Ha)
<0	Non Vegetasi	83,72
0 - 0,1	Vegetasi Sangat rendah	615,79
0,11 - 0,5	Vegetasi Rendah	3.197,63
0,51 - 0,7	Vegetasi Sedang	1.306,45
>0,71	Vegetasi Tinggi	846,07

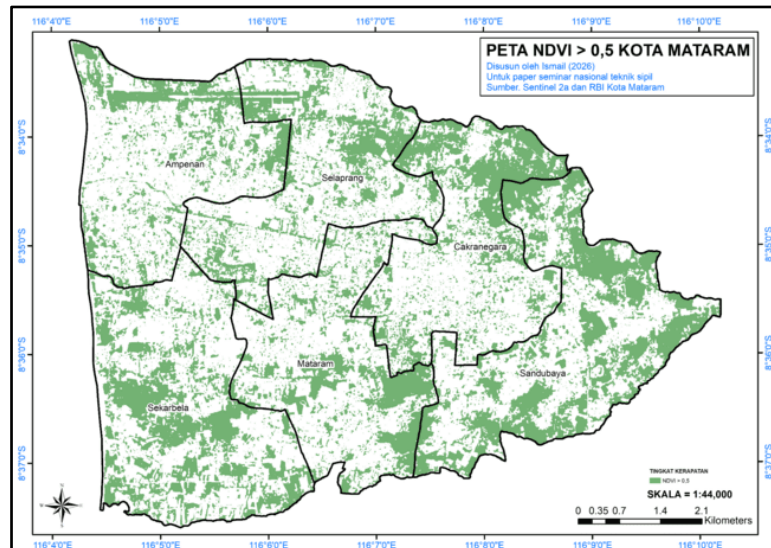
Berdasarkan peta pada gambar 1, sebaran nilai NDVI kota Mataram rata-rata berada pada tingkat kerapatan rendah ($0.1 < NDVI < 0.5$). Namun begitu, pada daerah timur laut dekat pinggiran kota, banyak wilayah memiliki nilai NDVI relatif tinggi hingga 0.9. Lebih lanjut, tabel 2 menunjukkan bahwa tingkat kerapatan vegetasi kota Mataram masih didominasi rendah hingga non vegetasi (lahan terbangun). Hal ini tentu sangat lazim ada pada wilayah perkotaan suatu provinsi yang masif urbanisasi seperti Kota Mataram.

Tabel 3. Rata-rata NDVI Kota Mataram per Kecamatan
Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Kecamatan	Rata-rata NDVI	Kerapatan Vegetasi
Ampenan	0,35140551054	Rendah
Cakranegara	0,40505944205	Rendah
Mataram	0,37134948896	Rendah
Sandubaya	0,44279916988	Rendah
Sekarbela	0,39746775842	Rendah
Selaprang	0,38944456172	Rendah

Melanjutkan daripada peta pada gambar 1, Jika kita agregasikan menjadi tiap kecamatan sebagaimana tabel 3, rata-rata nilai NDVI pada Kota Mataram masih berada dalam klasifikasi kerapatan rendah. Kecamatan Ampenan sendiri memiliki rata-rata kerapatan vegetasi paling rendah dengan NDVI 0,35. Di sisi lain,

Kecamatan Sandubaya memiliki rata-rata NDVI tertinggi dibanding kecamatan lainnya dengan nilai mencapai 0,44. Perbedaan ini juga selaras dengan dominasi nilai NDVI > 0,5 di tiap kecamatan. Nilai NDVI > 0,5 merepresentasikan kerapatan vegetasi yang cukup rimbun/rapat. Berikut merupakan sebaran dan luasan daripada tiap kecamatan dengan nilai NDVI > 0,5.



Gambar 2. Peta NDVI >0.5 Kota Mataram
Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Tabel 4. Luasan Kecamatan dengan Nilai NDVI >0.5
Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Kecamatan	Luasan (Ha)
Ampenan	250,17
Cakranegara	329,88
Mataram	283,43
Sandubaya	542,96
Sekarbela	431,74
Selaparang	306,32

Kecamatan Sandubaya dengan rata-rata tingkat kerapatan tertinggi juga memiliki luasan wilayah dengan nilai NDVI > 0.5 terluas mencapai 542,96 Ha. Sedangkan kecamatan Ampenan sendiri luasannya hanya 250,17 Ha, merupakan kecamatan dengan luasan terkecil untuk area dengan nilai NDVI > 0.5.

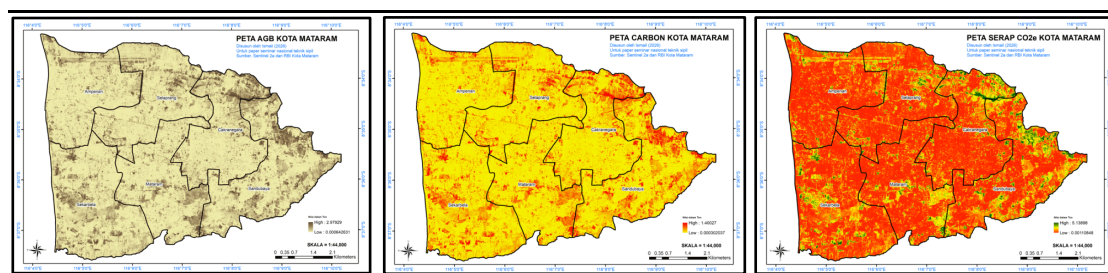
Perbedaan kerapatan vegetasi antar-kecamatan ini tidak terjadi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh morfologi kota dan dinamika konversi lahan akibat urbanisasi. Kecamatan Ampenan dan Mataram, yang mencatatkan rata-rata NDVI dua terendah, berlokasi di pesisir barat yang secara historis telah lama berkembang sebagai pusat permukiman padat dan kawasan niaga tua Kota Mataram. Sebagaimana ditegaskan oleh Seto et al. (2011), kawasan inti perkotaan dan pusat sejarah niaga memiliki kerentanan tertinggi terhadap konversi ruang terbuka hijau yang masif menjadi *impervious surface* (permukaan kedap air seperti aspal dan beton), sehingga menekan nilai indeks vegetasinya secara drastis.

Sebaliknya, tingginya rata-rata kerapatan vegetasi di Kecamatan Sandubaya

yang berada di wilayah pinggiran timur merepresentasikan fenomena tata ruang *urban-rural gradient* (gradien perkotaan-perdesaan). Kawasan pinggiran kota (*peri-urban*) umumnya masih mempertahankan karakter semi-urban dengan dominasi tata guna lahan berupa area pertanian, jalur sempadan sungai yang lebar, serta keberadaan kantong-kantong hutan kota. Menurut Zhou & Wang (2011) dan didukung oleh Weng et al. (2004), area pinggiran kota cenderung memiliki ketahanan indeks vegetasi yang jauh lebih tinggi karena belum sepenuhnya terintrusi oleh ekspansi infrastruktur abu-abu. Intervensi morfologi inilah yang menyebabkan Kecamatan Sandubaya mampu menyumbang luasan tutupan tajuk rapat ($NDVI > 0,5$) secara signifikan bagi keseimbangan ekosistem Kota Mataram.

2. Estimasi Akumulasi Biomassa, Cadangan Karbon Tersimpan, dan Kapasitas Serapan Emisi (CO₂e) Vegetasi

Estimasi metrik biofisik kuantitatif yang meliputi biomassa di atas permukaan (Above-Ground Biomass/AGB), cadangan karbon tersimpan, dan kapasitas penyerapan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e) aktual pada tingkat Kecamatan di Kota Mataram memberikan informasi lebih detail terkait kemampuan ekologis vegetasi perkotaan Kota Mataram.



Gambar 3. Peta AGB (Kiri), Cadangan Karbon (tengah), Kapasitas Serap CO₂e (kanan) Kota Mataram

Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Kompilasi data NDVI sebelumnya menghasilkan gambaran nilai estimasi biomassa permukaan, cadangan karbon, hingga kapasitas serapan emisi. Sebagaimana sebaran nilai NDVI pada Kota Mataram, nilai AGB dan cadangan karbon di kota Mataram daripada vegetasi perkotaan yang ada, secara urut berkisar antara 0 - 2,98 Ton dan 0 - 1,4 Ton. Sedangkan untuk kapasitas serapan emisi karbonnya sendiri berada di rentang 0 - 5,13 Ton. Dengan menggunakan model perhitungan yang sudah dijelaskan dalam bagian metodologi, berikut merupakan total nilai dalam massa untuk ketiga metrik tersebut pada tiap kecamatan di Kota Mataram. Namun demikian, mengacu koefisien determinasi model empiris yang digunakan ($R^2 = 0,6848$) (Dwi Putri et al., 2025), estimasi kuantitatif ini memiliki tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) sebesar 31,52%. Besaran galat ini merupakan hal yang lazim dalam pemodelan penginderaan jauh akibat adanya bias faktor ekologis spesifik di lapangan yang tidak sepenuhnya terekam oleh nilai spektral optik NDVI secara dua dimensi.

Tabel 5. Nilai Biomassa, Cadangan Karbon, dan Kapasitas Serap CO₂e per Kecamatan

Sumber. Pengolahan data NDVI penulis, 2026

Kecamatan	Metrik	Nilai (dalam Ton)
Ampenan	Biomassa Permukaan	23.853,2064
	Cadangan Carbon	11.211,0070
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	41.144,3975
Cakranegara	Biomassa Permukaan	34.785,4317
	Cadangan Carbon	16.349,1529
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	60.001,3194
Mataram	Biomassa Permukaan	28.216,2721
	Cadangan Carbon	13.261,6479
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	48.670,2497
Sandubaya	Biomassa Permukaan	54.138,7787
	Cadangan Carbon	25.445,2259
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	93.383,9831
Sekarbela	Biomassa Permukaan	39.938,4148
	Cadangan Carbon	18.771,0549
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	68.889,7745
Selaprang	Biomassa Permukaan	30.014,7450
	Cadangan Carbon	14.106,9301
	Kapasitas serapan (CO ₂ e)	51.772,4357

Berdasarkan distribusi spasialnya, terdapat perbedaan kapasitas ekologis yang signifikan antar-kecamatan di Kota Mataram. Kecamatan Sandubaya mendominasi secara absolut sebagai penyumbang serapan emisi terbesar dengan total biomassa permukaan mencapai 54.138,77 ton yang menghasilkan kapasitas serapan hingga 93.383,98 ton CO₂e. Sebaliknya, Kecamatan Ampenan mencatatkan nilai ekologis paling minimum dengan serapan hanya sebesar 41.144,39 ton CO₂e. tingginya angka serapan karbon di wilayah seperti Sandubaya tidak semata-mata digerakkan oleh luasan wilayah (*spatial extent*), melainkan merupakan efek ganda (*multiplier effect*) dari struktur ekologis vegetasinya. Sandubaya tidak hanya memiliki area hijau yang luas, tetapi juga didominasi oleh kelas tajuk rapat (NDVI > 0,5) seluas 542,96 Ha. Temuan ini memperkuat postulat Davies et al. (2011) dan Strohbach & Haase (2012) yang menegaskan bahwa luasan ruang terbuka hijau tidak akan menghasilkan stok karbon yang masif apabila hanya didominasi oleh rerumputan, semak, atau vegetasi muda. Akumulasi karbon yang signifikan hanya terjadi ketika bentang lahan tersebut diisi oleh kerapatan tegakan pohon berkayu keras dengan kanopi berlapis (*multilayered canopy*) dan diameter batang besar. Dengan demikian, kesenjangan serapan CO₂e di Kota Mataram, yang selanjutnya akan berbanding lurus dengan nilai valuasi ekonominya, sangat bergantung pada kualitas kerapatan tajuk dan profil morfologi vegetasi, bukan sekadar luas hamparan RTH administratifnya. Sementara itu, wilayah seperti Cakranegara, Sekarbela, dan Mataram berada pada level menengah yang merepresentasikan transisi sebaran vegetasi kota.

3. Valuasi Ekonomi Serapan Emisi Karbon berbasis IDX Carbon

Indonesia saat ini sudah memiliki bursa karbon sendiri melalui IDXCarbon sejak September 2023. Pembentukan bursa ini merupakan instrumen pasar dari kebijakan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) yang bertujuan untuk mengendalikan emisi gas rumah kaca guna mencapai target mitigasi iklim nasional. Melalui platform ini, unit karbon yang telah tervalidasi dan tercatat dalam Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI) dapat dikomersialisasi, di mana satu unit karbon yang ditransaksikan di IDXCarbon setara dengan satu ton Emisi Karbon Dioksida Ekuivalen (CO₂e).

Secara konseptual ekologis, serapan karbon dari vegetasi perkotaan idealnya divalusi menggunakan klasifikasi produk Indonesia Nature-Based Solution (IDNBS). Namun, mempertimbangkan dinamika transaksi pasar dan ketiadaan harga atau volume perdagangan pada klasifikasi IDNBS pada saat periode observasi penelitian, maka diperlukan penyesuaian pendekatan valuasi. Untuk mengatasi batasan ketersediaan data tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan nilai proksi. Nilai proksi didasarkan pada klasifikasi produk yang aktif diperdagangkan di IDXCarbon, yaitu IDTBS (*Indonesia Technology-Based Solution*), IDTBS-RE (*Renewable Energy*), IDTBSA (*Authorized*), dan IDTBSA-RE. Meskipun produk-produk ini berasal dari intervensi berbasis teknologi, harga yang terbentuk di pasar secara rasional tetap merepresentasikan *willingness to pay* entitas industri di Indonesia terhadap nilai komoditas satu ton CO₂e. Perkalian total tonase serapan emisi vegetasi Kota Mataram dengan variasi harga penutupan dari keempat produk proksi tersebut menghasilkan rentang valuasi ekonomi karbon sebagaimana tabel 6 berikut.

Tabel 6. Valuasi Ekonomi Karbon per Kecamatan
Sumber. Pengolahan data serapan CO₂e penulis, 2026

Kecamatan	Acuan IDTBS (Rp. 58.800/ton)	Acuan IDTBS-RE (Rp. 78.000/ton)	Acuan IDTBSA (Rp. 95.000/ton)	Acuan IDTBSA-RE (Rp. 144.000/ton)
Ampenan	Rp 2.419.290.515	Rp 3.209.262.929	Rp 3.908.717.671	Rp 5.924.793.100
Cakranegara	Rp 3.528.081.863	Rp 4.680.108.593	Rp 5.700.132.263	Rp 8.640.200.480
Mataram	Rp 2.861.810.620	Rp 3.796.279.395	Rp 4.623.673.621	Rp 7.008.515.803
Sandubaya	Rp 5.490.978.085	Rp 7.283.950.521	Rp 8.871.478.199	Rp 13.447.293.270
Sekarbela	Rp 4.050.718.650	Rp 5.373.402.293	Rp 6.544.528.434	Rp 9.920.127.307
Selaprang	Rp 3.044.219.152	Rp 4.038.249.896	Rp 4.918.381.284	Rp 7.455.230.579

Berdasarkan hasil kalkulasi tabel 6, distribusi ini memperlihatkan adanya variansi kontribusi finansial ekologis yang signifikan antar-kecamatan. Angka valuasi ini merepresentasikan Nilai Guna Tidak Langsung khusus pada jasa

regulasi iklim dari serapan emisi karbon oleh vegetasi perkotaan Kota Mataram. Menurut kerangka valuasi ekonomi lingkungan oleh Pearce et al. (2006), komponen TEV merupakan akumulasi komprehensif dari nilai guna langsung (seperti rekreasi dan estetika visual), nilai guna tidak langsung (seperti pengikatan karbon, penyaring polutan PM2.5, dan tata air), nilai pilihan, hingga nilai keberadaan ekosistem. Oleh karena itu, angka yang dihasilkan pada table 6 adalah salah satu komponen dari nilai *Total Economic Value* (TEV) yang sesungguhnya.

Kecamatan Sandubaya mencatatkan sebagai penyumbang finansial ekologis terbesar di Kota Mataram. Dengan kapasitas serapan CO₂e yang masif, vegetasi di kecamatan ini memiliki valuasi ekonomi terendah sebesar Rp5,49 miliar dan berpotensi menyentuh angka Rp13,44 miliar pada skema pasar terotorisasi. Tingginya angka ini menetapkan Sandubaya sebagai aset hijau paling berharga yang tata ruangnya harus diproteksi secara ketat. Di sisi lain, Kecamatan Cakranegara dengan potensi nilai ekonomi karbon Rp3,52 miliar – Rp8,64 miliar, bersama dengan Mataram, Sekarbela, dan Selaparang merepresentasikan zona transisi kota dengan kontribusi aset hijau pada tingkat moderat. Namun begitu, kecamatan Ampenan berada pada paling rendah dengan estimasi valuasi berada pada rentang Rp2,41 miliar - Rp5,92 miliar. Posisi ini mengindikasikan tingginya *opportunity loss* di kecamatan tersebut akibat minimnya tutupan vegetasi, sehingga membutuhkan intervensi untuk menyeimbangkan neraca emisi kota.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Analisis spasial menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan vegetasi Kota Mataram masih didominasi oleh kelas vegetasi rendah. Kecamatan Sandubaya mencatatkan rata-rata kerapatan vegetasi tertinggi (NDVI 0,44) dengan cakupan area vegetasi rapat seluas 542,96 Ha, sedangkan Kecamatan Ampenan memiliki tingkat kerapatan paling minimum (NDVI 0,35). Lebih lanjut, besaran estimasi biomassa dan kapasitas penyerapan emisi berbanding lurus dengan kondisi kerapatan tutupan vegetasi. Kecamatan Sandubaya sebagai lumbung karbon utama kota dengan kapasitas serapan menyentuh hingga 93.383,98 ton CO₂e, sementara Kecamatan Ampenan merupakan zona paling defisit dengan serapan sebesar 41.144,39 ton CO₂e.

Valuasi ekonomi berbasis harga proksi produk teknologi di IDXCarbon membuktikan bahwa vegetasi perkotaan memiliki Nilai Guna Tidak Langsung (*Indirect Use Value*) yang masif pada jasa regulasi iklim, sebagai salah satu komponen *Total Economic Value* (TEV). Potensi nilai ekonomi serapan karbon tertinggi berada di Kecamatan Sandubaya (Rp5,49 miliar hingga Rp13,44 miliar), berbanding terbalik dengan besaran kerugian peluang (*opportunity loss*) di Kecamatan Ampenan (Rp2,41 miliar hingga Rp5,92 miliar).

Sebagai implikasi strategis atas temuan valuasi dan kapasitas ekologis antar-kecamatan tersebut, beberapa rekomendasi bagi Pemerintah Kota Mataram diantaranya ialah, pemerintah kota dapat menjadikan data spasial valuasi karbon ini menjadi bahan untuk diintegrasikan ke dalam dokumen Rencana Detail Tata

Ruang (RDTR) Kota Mataram. Aset vegetasi miliaran rupiah di Kecamatan Sandubaya dan Cakranegara memerlukan proteksi tata ruang yang ketat melalui disinsentif alih fungsi lahan. Sebaliknya, kawasan berstatus defisit seperti Ampenan memerlukan intervensi penyediaan infrastruktur RTH publik baru yang diprioritaskan untuk menyeimbangkan neraca emisi. Selain itu, data ini juga dapat menginisiasi pendanaan iklim dan investasi hijau dengan menjadikan angka dasar (*baseline*) valuasi ekonomi ini sebagai portofolio kelayakan aset. Pemerintah Kota Mataram dapat mendorong untuk segera mendaftarkan vegetasi kotanya dengan proyek hijau berkelanjutan pada Sistem Registri Nasional Pengendalian Perubahan Iklim (SRN-PPI) untuk membuka berbagai keran pendanaan alternatif. Peluang tersebut mencakup komersialisasi unit karbon daerah di bursa, formulasi insentif Transfer Anggaran Kota Berbasis Ekologi untuk kecamatan yang berhasil menjaga nilai RTH-nya, hingga jaminan kelayakan bagi penerbitan obligasi hijau (*Green Municipal Bonds*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Tahun 2019 yang telah memberikan hibah riset dengan Kontrak Nomor: B/169/IT9.C1/ PT.01.03/2019

DAFTAR RUJUKAN

- Aryal, J., Sitaula, C., & Aryal, S. (2022). NDVI Threshold-Based Urban Green Space Mapping from Sentinel-2A at the Local Governmental Area (LGA) Level of Victoria, Australia. *Land*, 11(3), 351. <https://doi.org/10.3390/land11030351>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting) (SNI 7724)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Dai, X. (2026). Cost-Benefit Analysis of Restoration Subsidies: Economic Returns Versus Land Degradation Losses in Northern China Using Remote Sensing and Panel Data. *Land Degradation & Development*, 37(11), 6933–6945. <https://doi.org/10.1002/ldr.70559>
- Davies, Z. G., Edmondson, J. L., Heinemeyer, A., Leake, J. R., & Gaston, K. J. (2011). Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1125–1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02021.x>
- Dwi Putri, W. B., Latifah, S., & Aji, I. M. L. (2025). Model Penduga Biomassa Ruang Terbuka Hijau Kota Mataram dengan Menggunakan Citra Sentinel-2A. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 9(1), 191. <https://doi.org/10.32522/ujht.v9i1.16668>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Krug, T., Kurz, W. A., Lasco, R. D., Martino, D. L., & McConkey, B. G. (2008). *Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use 2.2 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

- Li, W., Saphores, J.-D. M., & Gillespie, T. W. (2015). A comparison of the economic benefits of urban green spaces estimated with NDVI and with high-resolution land cover data. *Landscape and Urban Planning*, 133, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.013>
- Liu, M., Hao, R., Han, L., Zhou, G., & Li, L. (2023). An integrated economic-ecological index based on satellite-derived carbon sequestration and carbon price: A case study during 2015–2020 in Shaanxi, China. *Ecological Indicators*, 153, 110458. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110458>
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1297–1328. <https://doi.org/10.1080/01431160500486732>
- Nasir, A., Herawaty, H., Ismail, I., & Syah, M. I. M. (2025). Revealing Carbon Patterns Across Mangrove Density Variations Using Sentinel-2 NDVI. *Jurnal Wasian*, 12(02), 18–26. <https://doi.org/10.62142/rbh1zd16>
- Newell, R. G., Pizer, W. A., & Raimi, D. (2013). Carbon Markets 15 Years after Kyoto: Lessons Learned, New Challenges. *Journal of Economic Perspectives*, 27(1), 123–146. <https://doi.org/10.1257/jep.27.1.123>
- Pearce, D. W. ., Atkinson, Giles., & Mourato, Susana. (2006). *Cost-benefit analysis and the environment: recent developments*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., & Morel, A. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(24), 9899–9904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1019576108>
- Samsuri, Zaitunah, A., & Rajagukguk, O. (2021). ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU: PENDEKATAN KEBUTUHAN OKSIGEN (Vol. 5, Number 1).
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLoS ONE*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Stiglitz, J. E., & Stern, N. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices I*.
- Strohbach, M. W., & Haase, D. (2012). Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning*, 104(1), 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.10.001>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wulandari, A., & Salsabiila, A. (2025). Toward a Sustainable Carbon Trading System in Indonesia: A Systematic Literature Review of Global Challenges and Best Practices. *Sustainability and Climate Change*, 18(3), 168–180. <https://doi.org/10.1089/scc.2024.0136>
- Zhou, X., & Wang, Y.-C. (2011). Spatial-temporal dynamics of urban green space in response to rapid urbanization and greening policies. *Landscape and Urban Planning*, 100(3), 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.12.013>