

Jenis Tulisan: Artikel penelitian

## Penilaian Tutupan Lahan dan Jasa Ekosistem Vegetasi Berbasis *I-Tree Canopy* di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor

Indri Anggraeni Jafar\*, Alisia Balgis

Program Studi Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

\*Corresponding Author: [indri16anggraeni@apps.ipb.ac.id](mailto:indri16anggraeni@apps.ipb.ac.id)

Tulisan Diterima:  
29 Januari 2026

Tulisan Disetujui:  
6 Juni 2026

Kata kunci:  
Tutupan lahan, jasa  
ekosistem vegetasi,  
*i-Tree Canopy*

Keywords:  
*Land cover,*  
*vegetation ecosystem*  
*services, i-Tree*  
*Canopy*

### ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan akibat urbanisasi di wilayah peri-urban berpotensi menurunkan kualitas lingkungan melalui berkurangnya vegetasi dan meningkatnya permukaan kedap air. Penelitian ini bertujuan untuk menilai komposisi tutupan lahan serta mengkuantifikasi jasa ekosistem vegetasi di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor, menggunakan *i-Tree Canopy*. Analisis dilakukan dengan metode *random point sampling* terhadap 632 titik sampel berbasis citra satelit Google Maps/Google Earth. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tutupan lahan didominasi oleh kelas *tree/shrub* sebesar 46,36%, diikuti *grass/herbaceous* sebesar 21,36%, serta permukaan kedap air berupa bangunan dan jalan sebesar 22,95%. Vegetasi di Kecamatan Ciampea berkontribusi signifikan terhadap jasa ekosistem, dengan penyimpanan karbon mencapai sekitar 120,2 kiloton dan penyerapan karbon tahunan sekitar 4,79 kiloton. Selain itu, vegetasi mampu menghilangkan polutan udara sebesar 138,35 ton per tahun dengan nilai ekonomi sekitar Rp 6,67 miliar per tahun, serta mencegah limpasan air permukaan sebesar 51,79 megaliter per tahun dengan nilai ekonomi hampir mencapai Rp 2,03 miliar. Temuan ini menunjukkan bahwa vegetasi berperan sebagai infrastruktur hijau yang penting dalam mitigasi dampak urbanisasi. Oleh karena itu, hasil *i-Tree Canopy* dapat dijadikan dasar dalam perencanaan lanskap berbasis bukti untuk mendukung pengelolaan ruang terbuka hijau dan keberlanjutan lingkungan di Kecamatan Ciampea.

### ABSTRACT

*Land cover change due to urbanization in peri-urban areas has the potential to reduce environmental quality through decreasing vegetation cover and increasing impervious surfaces. This study aimed to assess land cover composition and quantify vegetation ecosystem services in Ciampea District, Bogor Regency, using i-Tree Canopy. The analysis was conducted using a random point sampling method on 632 sample points based on Google Maps/Google Earth satellite imagery. The results showed that land cover was dominated by the tree/shrub class (46.36%), followed by grass/herbaceous (21.36%), while impervious surfaces consisting of buildings and roads accounted for 22.95%. Vegetation in Ciampea District contributed significantly to ecosystem services, with carbon storage reaching approximately 120.2 kilotons and annual carbon sequestration of about 4.79 kilotons. In addition, vegetation removed approximately 138.35 tons of air pollutants per year, with an estimated economic value of around IDR 6.67 billion annually, and prevented surface runoff of approximately 51.79 megaliters per year, with an economic value of nearly IDR 2.03 billion. These findings indicate that vegetation functions as important green infrastructure in mitigating the impacts of urbanization. Therefore, the results generated by i-Tree Canopy can serve as an evidence-based foundation for landscape planning to support green open space management and environmental sustainability in Ciampea District.*

## PENDAHULUAN

Perubahan lahan dan percepatan pembangunan di wilayah perkotaan maupun *peri-urban* seringkali berakibat pada penurunan kualitas lingkungan, yang ditandai dengan berkurangnya tutupan vegetasi dan meningkatnya proporsi permukaan kedap air. Padahal, tanaman memainkan peran sentral dalam menyediakan jasa ekosistem yang krusial yang mencakup penyerapan karbon, peningkatan mutu udara, regulasi siklus air (hidrologi), dan stabilisasi suhu mikro lingkungan (Alonzo et al., 2025). Berdasarkan penelitian Fitri et al. (2022) bahwa Kecamatan Ciampea antara tahun 2016 hingga tahun 2019, luas total lahan sawah yang beralih fungsi ke penggunaan non-sawah adalah sebesar 205,80 hektar. Perubahan penggunaan lahan sawah tersebut didominasi oleh perubahan sawah menjadi perumahan (89%), area pertanian lahan kering (9%), dan pertanian lahan kering campuran (2%). Sementara itu, luas sawah yang tidak teralih fungsi adalah sebesar 1.709,15 hektar. Oleh karena itu, pemetaan tutupan lahan dan kuantifikasi kontribusi ekologis vegetasi menjadi langkah penting dalam perencanaan dan pengelolaan ruang terbuka hijau (RTH) berbasis bukti (Fitri et al., 2022).

Pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi meningkatkan kebutuhan lahan di tengah keterbatasan ketersediaannya, sehingga mendorong perubahan pemanfaatan dan penggunaan lahan di wilayah perkotaan. Perubahan tutupan lahan, khususnya alih fungsi lahan pertanian menjadi non-pertanian, merupakan fenomena yang tidak terpisahkan dari proses urbanisasi, yang ditandai oleh peningkatan konsentrasi penduduk perkotaan serta transformasi sosial ekonomi akibat ekspansi aktivitas ekonomi (Rinangku et al., 2025).

Dalam satu dekade terakhir, penggunaan teknologi pemetaan tutupan lahan berbasis citra satelit semakin berkembang melalui perangkat lunak *i-Tree Canopy*. Üstün Topal & Demirel (2023) menjelaskan bahwa *i-Tree Canopy* merupakan alat berbasis web yang menggunakan metode *random point sampling* pada citra *Google Maps* untuk

mengklasifikasikan tutupan lahan dan menghitung jasa ekosistem secara cepat dan ekonomis. Mills et al. (2015) menyatakan bahwa alat ini bekerja dengan menghasilkan titik acak pada citra *Google Earth* yang kemudian diklasifikasikan pengguna untuk menilai proporsi tutupan lahan. Sementara itu, Russo et al. (2021) menyebutkan bahwa *i-Tree Canopy* mampu menghasilkan estimasi statistik tutupan pohon dan jasa ekosistem seperti penghilangan polutan udara serta penyimpanan karbon.

Penerapan *i-Tree Canopy* sangat relevan untuk mengukur kapasitas ekologis suatu wilayah karena perangkat ini mampu mengestimasi berbagai jasa ekosistem penting, seperti penyimpanan dan sequestrasi karbon, penghilangan polutan udara, serta pengurangan limpasan air permukaan. Studi di Istanbul menunjukkan bahwa *i-Tree Canopy* dapat digunakan untuk menghitung penyimpanan karbon, serapan CO<sub>2</sub>, penghilangan polutan udara utama, dan nilai ekonominya berdasarkan klasifikasi tutupan lahan (Üstün Topal & Demirel, 2023). Sementara itu, penelitian lain menegaskan bahwa *i-Tree Canopy* juga mampu mengestimasi *avoided runoff* dan mendukung strategi perencanaan infrastruktur hijau di kawasan perkotaan (Russo et al., 2021). Jasa-jasa ekosistem tersebut menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, peningkatan suhu perkotaan, dan tingginya risiko bencana hidrometeorologis. Oleh karena itu, penelitian ini dilaksanakan untuk mengukur persentase tutupan tajuk pohon dan mengkuantifikasi manfaat ekosistem yang dihasilkan oleh vegetasi di Kecamatan Ciampea, guna mendukung perencanaan lanskap dan kebijakan lingkungan yang berbasis data.

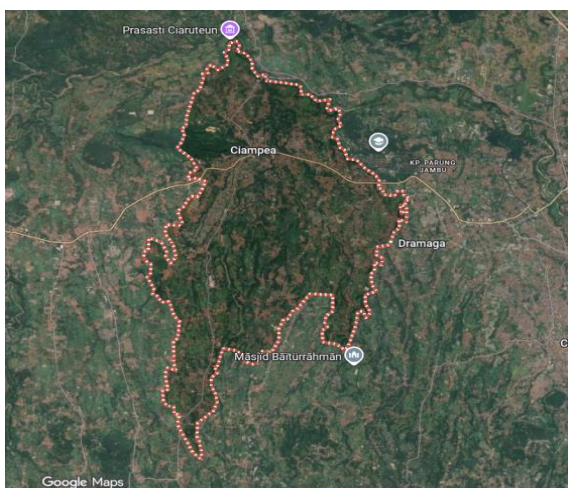
## METODOLOGI

Metode yang digunakan merupakan analisis tutupan lahan dinilai menggunakan *i-Tree Canopy* versi 7.1, yaitu alat GIS berbasis web yang dikembangkan oleh USDA *Forest Service* (Nowak et al., 2013), dengan menerapkan pendekatan *random point sampling* untuk menilai komposisi tutupan

lahan melalui interpretasi visual titik-titik acak pada citra udara (Selim et al., 2023).

## 2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada rentang waktu 18 November hingga 2 Desember 2025, dengan wilayah kajian berada di Kecamatan Ciampea, Kabupaten Bogor, yang memiliki luas kawasan sekitar 51,06 km<sup>2</sup> dan berpusat pada koordinat 6.5549° LS dan 106.6961° BT (Gambar 1). Seluruh proses analisis dilakukan secara daring menggunakan platform *i-Tree Canopy*, yang mengandalkan citra satelit dari Google Maps dan Google Earth sebagai sumber data spasial utama.



Gambar 1. Lokasi Kajian Penelitian, Kecamatan Ciampea  
(Sumber: Google Earth, 2025)

## 2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi laptop yang terhubung dengan jaringan internet serta program analisis tutupan lahan berbasis web *i-Tree Canopy*. Sementara itu, bahan yang digunakan terdiri atas Citra satelit *Google Maps/Google Earth* yang terintegrasi secara otomatis dan dimanfaatkan dalam sistem *i-Tree Canopy* sebagai sumber data visual untuk interpretasi tutupan lahan, bersama dengan peta batas administratif Kecamatan Ciampea, digunakan sebagai dasar dalam penentuan wilayah kajian.

## 2.3. Tahapan Pelaksanaan dan Analisis Data

Proses tahapan melalui analisis tutupan lahan berbasis *random point sampling* pada *i-Tree Canopy*, dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:

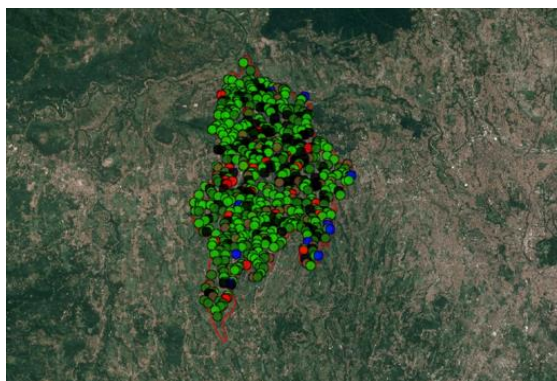
1. Mengunggah atau menggambar batas wilayah Kecamatan Ciampea pada tampilan peta *i-Tree Canopy*.
2. Menentukan jumlah titik sampel, yaitu sebanyak 632 titik, yang secara acak dihasilkan oleh sistem. Penambahan jumlah titik dilakukan untuk menurunkan *standard error* (SE) dan meningkatkan presisi estimasi (Nowak, 2020)
3. Melakukan klasifikasi setiap titik berdasarkan kelas penutup lahan, yaitu *tree/shrub*, *grass/herbaceous*, *impervious buildings*, *impervious road*, *soil/bare ground*, *water*, dan *impervious other*.
4. Sistem menghitung persentase tutupan lahan dan estimasi luasan untuk setiap kelas berdasarkan proporsi titik.
5. *i-Tree Canopy* kemudian menghitung manfaat ekologis vegetasi, termasuk *carbon storage*, *carbon sequestration*, pengurangan polutan udara, serta manfaat hidrologis berdasarkan model *i-Tree* yang dikembangkan oleh USDA *Forest Service* (Nowak, 2020).
6. Hasil dikumpulkan, dianalisis, dan disajikan dalam bentuk grafik, tabel, dan narasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Land Cover (Kelas Tutupan Lahan)

Hasil Klasifikasi tutupan lahan pada *i-Tree Canopy* dibagi menjadi tujuh kategori: *grass/herbaceous*, *impervious buildings*, *impervious other*, *impervious road*, *soil/bare ground*, *tree/shrub*, dan *water*. Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan pada 632 titik (Gambar 2), sehingga menghasilkan

proporsi yang cukup representatif untuk menggambarkan kondisi lanskap Kecamatan Ciampea.



Gambar 2. Pengambilan 632 titik sampel di Kecamatan Ciampea  
(Sumber: Hasil olahan pribadi, 2025)

Berdasarkan hasil interpretasi menggunakan 632 titik sampel (Tabel 1) menunjukkan bahwa Kecamatan Ciampea didominasi oleh kelas *Tree/Shrub* sebesar 46,36%, yang menggambarkan karakteristik wilayah peri-urban dengan mosaik vegetasi yang cukup beragam. Dominasi vegetasi ini sesuai dengan temuan Li et al. (2019), yang menyatakan bahwa urbanisasi cenderung menghasilkan fragmentasi ruang hijau namun tetap mempertahankan blok-blok vegetasi besar pada area transisi kota–desa. Struktur tutupan lahan yang masih didominasi vegetasi mencerminkan fase awal urbanisasi yang memungkinkan peningkatan atau penurunan kualitas ekologis secara signifikan tergantung kebijakan dan perubahan penggunaan lahan selanjutnya (Yu et al., 2022).

Kelas *grass/herbaceous* mencakup 21,36% wilayah dan merepresentasikan keberadaan lahan terbuka, seperti area pertanian dan zona transisi. Dibandingkan dengan vegetasi berkayu, vegetasi rendah memiliki kontribusi jasa ekosistem yang lebih terbatas, khususnya dalam hal intersepsi curah hujan, efek peneduhan, dan kapasitas penyimpanan karbon. Berbagai studi menunjukkan bahwa vegetasi berkayu, seperti hutan dan semak, cenderung memiliki kapasitas lebih tinggi dalam penyimpanan karbon, regulasi hidrologi, dan pengendalian banjir dibanding lahan yang didominasi herba atau rumput.

Sebaliknya, padang rumput lebih berperan pada produktivitas dan penyediaan air permukaan, namun memiliki fungsi regulasi ekologis yang relatif lebih rendah dibanding tutupan vegetasi berkayu (Galindo et al., 2022; Ma et al., 2021; Whiteis et al., 2025).

Sementara itu, tingginya proporsi permukaan kedap air berupa *impervious buildings* (19,15%) dan *impervious road* (3,80%) mencerminkan intensifikasi urbanisasi yang berpotensi menurunkan kualitas ekologis kawasan. Ekspansi permukaan kedap air berasosiasi dengan peningkatan suhu permukaan, fragmentasi habitat, serta berkurangnya konektivitas ekologis, terutama pada wilayah peri-urban dengan intensitas hujan tinggi (Rakoto et al., 2021). Meskipun kelas *soil/bare ground*, *water*, dan *impervious other* memiliki luasan relatif kecil, keberadaannya tetap penting karena *bare ground* menunjukkan kerentanan terhadap erosi dan indikasi alih fungsi lahan, sedangkan keterbatasan tutupan air menandakan rendahnya peran unsur perairan dalam lanskap Kecamatan Ciampea. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan luasan *bare land* berkorelasi dengan kenaikan laju erosi rata-rata dari 24,3 menjadi 38 t/ha/tahun akibat konversi semak, padang rumput, hutan, dan badan air. Selain itu, peningkatan area *barren* dan *impervious* juga dikaitkan dengan perubahan pola erosi serta perlunya keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan konservasi lingkungan (Gong et al., 2022; Taye et al., 2023).

### 3.2. Manfaat Karbon (*Carbon Storage & Sequestration*)

Hasil analisis *i-Tree Canopy* menunjukkan bahwa vegetasi di Kecamatan Ciampea memiliki kontribusi yang cukup besar terhadap regulasi karbon seperti yang terlihat di Tabel 2. Secara kuantitatif, kontribusi signifikan terhadap penyimpanan dan penyerapan karbon, yang tercermin dari nilai *carbon sequestration* sebesar 4,79 kiloton per tahun dan total *carbon storage* mencapai 120,2 kiloton. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jiang et al. (2023) bahwa pohon kota mampu

Tabel 1. Estimasi Tutupan Lahan Kecamatan Ciampea Berdasarkan *i-Tree Canopy*

<i>Cover Class</i>	<i>Abbr.</i>	<i>Points</i>	<i>% Cover (± SE)</i>	<i>Area(km<sup>2</sup>) ± SE</i>
<i>Tree/Shrub</i>	T	293	46,36±1,98	15,64±0,67
<i>Grass/Herbaceous</i>	H	135	21,36±1,63	7,21±0,55
<i>Impervious Buildings</i>	IB	121	19,15±1,57	6,46±0,53
<i>Soil/Bare Ground</i>	S	49	7,75±1,06	2,62±0,36
<i>Impervious Road</i>	IR	24	3,80±0,76	1,28±0,26
<i>Water</i>	W	10	1,58±0,50	0,53±0,17
<i>Impervious Other</i>	IO	0	0,00±0,00	0,00±0,00

Tabel 2. Estimasi Manfaat Pohon : Karbon

<i>Description</i>	<i>Carbon ±SE (kt)</i>	<i>CO<sub>2</sub> Equiv. ±SE (kt)</i>	<i>Value (IDR) ±SE (Rp)</i>
<i>Sequestered annually in tress</i>	4.79 ±0,20	17.55 ±0,75	37,971,771,344 ±1.624.681.955
<i>Stored in tress (Note: this benefits is not an annual rate)</i>	120.2 ±5,14	440.75 ±18,86	953,613,657,189 ±40.801.860.058

menyimpan karbon dan berfungsi sebagai *carbon sink*, namun efektivitasnya sangat bergantung pada luas kanopi, kondisi kesehatan pohon, serta pengelolaan ruang hijau dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemeliharaan vegetasi dan perlindungan tutupan pohon menjadi faktor penting dalam meningkatkan kapasitas mitigasi perubahan iklim di kawasan urban. Selain itu, analisis karbon di kawasan vegetasi campuran juga didukung oleh studi Kim et al. (2024), yang menemukan bahwa *urban park* dan kawasan hijau lain memiliki potensi penyerapan karbon tinggi apabila didukung oleh struktur vegetasi yang rapat dan beragam. Hal ini mengindikasikan bahwa vegetasi di Ciampea yang terdiri dari berbagai tipe tutupan dapat menjadi aset ekologis penting dalam upaya mitigasi karbon apabila pengelolaannya dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan.

Dengan tutupan pohon yang mencakup hampir setengah wilayah, cadangan karbon di Ciampea diduga terutama berasal dari vegetasi campuran yang relatif rentan terhadap perubahan penggunaan lahan. Total karbon tersimpan mencapai sekitar 120 kt atau setara 440,75 kt CO<sub>2</sub>, yang merepresentasikan akumulasi ekologis jangka panjang. Kehilangan vegetasi akibat ekspansi permukiman berpotensi melepaskan kembali cadangan karbon tersebut, sementara estimasi nilai ekonomi mencapai sekitar Rp 953 miliar merefleksikan besarnya jasa ekosistem yang dihasilkan, bukan nilai moneter pohon secara literal.

### 3.3. Manfaat Pengurangan Polusi Udara

Tanaman di Ciampea tidak hanya bekerja sebagai penyerap karbon, ia juga bertindak sebagai filter alami bagi polutan atmosfer. Berdasarkan hasil analisis yang terlihat di

Tabel 3, total polutan yang berhasil diserap mencapai 138,35 ton per tahun, terdiri dari  $O_3$ ,  $PM_{10*}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , dan CO. Mekanisme penyerapan polutan tersebut terutama terjadi melalui deposisi partikel pada permukaan daun dan penyerapan polutan gas melalui stomata, sebagaimana dijelaskan oleh Chen et al. (2016) yang menunjukkan bahwa vegetasi urban memiliki kemampuan efektif sebagai biofilter alami di lingkungan dengan tingkat polusi tinggi. Ciampea yang berada dalam fase transisi pembangunan, dengan aktivitas transportasi dan konstruksi meningkat, sehingga kebutuhan akan fungsi ekologis vegetasi semakin besar dalam menjaga kualitas udara lokal.

Secara kuantitatif, polutan terbesar yang berhasil dihilangkan adalah ozon ( $O_3$ ) sebesar 79,69 ton/tahun dan  $PM_{10*}$  sebesar 31,95 ton/tahun, yang menunjukkan bahwa tekanan polusi di Ciampea cukup dipengaruhi oleh aktivitas kendaraan bermotor, debu jalan, dan proses konstruksi permukiman baru. Pola penyerapan yang tinggi pada  $O_3$  dan  $PM_{10*}$  di Ciampea konsisten dengan tren polusi di wilayah yang berkembang pesat. Secara ekonomi, pengurangan polusi udara oleh vegetasi di Kecamatan Ciampea bernilai signifikan, mencapai sekitar Rp 6,67 miliar per

tahun berdasarkan estimasi *i-Tree Canopy*. Nilai ini mencerminkan biaya kesehatan dan mitigasi polusi yang berhasil dihindari, sekaligus menegaskan ruang hijau sebagai investasi ekologi jangka panjang yang dipengaruhi oleh komposisi dan struktur vegetasi (Kang et al., 2022). Dengan demikian, tutupan vegetasi di Ciampea berfungsi sebagai infrastruktur hijau yang meningkatkan kualitas udara, menurunkan beban kesehatan, dan memperkuat ketahanan lingkungan kawasan.

#### 3.4. Manfaat Hidrologis (*Hydrological Benefits*)

*I-Tree* dalam aspek hidrologi memperlihatkan bahwa pohon di Ciampea memberi manfaat signifikan dalam mengatur air melalui mekanisme penahanan, pengurangan limpasan, dan evapotranspirasi. Tanaman mencegah sekitar 51,79 ML limpasan air permukaan per tahun, angka yang sangat relevan untuk kawasan yang sebagian besar alih fungsinya menuju permukiman, karena tanpa kanopi pohon dengan kondisi curah hujan Bogor cukup tinggi dalam mempercepat erosi dan meningkatkan risiko banjir lokal. Keberadaan kanopi pohon di area permukiman dan jaringan jalan mampu mengurangi beban sistem drainase hingga puluhan persen, dan

Tabel 3. Estimasi Manfaat Pohon : Polusi Udara

Abbr.	Description	Amouts (t)	±SE	Value (IDR) (Rp)	±SE
CO	Carbon Monoxide removed annually	1.67	±0,07	43,659,024	±1.868.020
$NO_2$	Nitrogen Dioxide removed annually	6.61	±0,28	19,066,599	±815.794
$O_3$	Ozone removed annually	79.69	±3,41	852,095,487	±36.458.245
$SO_2$	Sulfur Dioxide removed annually	14.26	±0,61	2,843,718	±121.673
$PM_{2,5}$	Particulate Matter less than 2,5 microns removed annually	4.16	±0,18	1,793,853,504	±76.752.843
$PM_{10*}$	Particulate Matter greater than 2,5 microns and less than 10 microns removed annually	31.95	±1,37	3,959,942,455	±169.432.366
Total		138.35	±5,92	6,671,460,787	±285.448.942

Tabel 4. Estimasi Manfaat Pohon : Hidrologi

<i>Abbr.</i>	<i>Benefit</i>	<i>Amount (ML)</i>	$\pm$ SE	<i>Value (IDR) (Rp)</i>	$\pm$ SE
AVRO	<i>Avoided Runoff</i>	51.79	$\pm$ 2,22	Rp 2,033,195,323	$\pm$ 86.993.459
E	<i>Evaporation</i>	912.43	$\pm$ 39,04	T/A	T/A
I	<i>Interception</i>	918.51	$\pm$ 39,30	T/A	T/A
T	<i>Transpiration</i>	1,080.68	$\pm$ 46,24	T/A	T/A
PE	<i>Potential Evaporation</i>	5,634.12	$\pm$ 241,06	T/A	T/A
PET	<i>Potential Evapotranspiration</i>	5,634.12	$\pm$ 241,06	T/A	T/A

efektivitasnya sangat bergantung pada luas serta densitas tutupan kanopi (Selbig et al., 2022).

Pohon berfungsi sebagai infrastruktur hijau yang mengatur siklus hidrologi melalui intersepsi, evaporasi, dan transpirasi, sehingga menahan limpasan, menurunkan suhu lokal, dan meningkatkan retensi air tanah. Kecamatan Ciampea memiliki proses intersepsi ( $\pm$ 918 ML/tahun), evaporasi ( $\pm$ 912 ML), dan transpirasi ( $\pm$ 1.080 ML) menunjukkan bahwa vegetasi secara aktif mengembalikan air ke atmosfer sekaligus menjaga stabilitas siklus hidrologi skala mikro seperti yang dilihat pada Tabel 4. Sementara itu, nilai *potential evapotranspiration* yang mencapai lebih dari 5.600 ML menunjukkan kapasitas maksimum vegetasi dalam kondisi optimal. Menurut Gallay et al. (2023), bahwa evapotranspirasi vegetasi memiliki peran penting dalam menciptakan efek pendinginan dan mengurangi beban termal lingkungan, yang sangat penting pada wilayah yang sedang mengalami pertumbuhan permukiman dan peningkatan suhu permukaan.

Secara ekonomi, manfaat hidrologis vegetasi di Kecamatan Ciampea mencapai sekitar Rp 2,03 miliar per tahun melalui pengurangan limpasan dan beban sistem drainase. Hal ini menegaskan bahwa vegetasi memiliki nilai strategis yang tidak tergantikan dalam menjaga stabilitas hidrologi dan mengurangi risiko banjir (Selbig et al., 2022).

### 3.5. Rekomendasi Pengelolaan Lanskap

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan serta estimasi manfaat ekologis menggunakan *i-Tree Canopy*, terdapat sejumlah rekomendasi

strategis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas lingkungan Kecamatan Ciampea.

1. Konservasi vegetasi eksisting, khususnya pada kelas *Tree/Shrub* yang masih mendominasi kawasan sebesar 46,36%, dengan melakukan perlindungan nilai penyimpanan karbon yang mencapai sekitar 120,2 kiloton. Mengingat tekanan urbanisasi Kecamatan Ciampea sehingga perlunya kebijakan yang lebih ketat untuk melindungi zona vegetasi dari alih fungsi lahan, terutama pada area dengan kontribusi ekologis paling signifikan.
2. Program penanaman baru (*urban greening*), dengan melakukan perluasan area vegetasi, terutama pada lahan kosong (*Soil/Bare Ground*) sebesar 7,75% dari total tutupan lahan. Pengembangan vegetasi pada area tersebut diharapkan dapat meningkatkan kapasitas kawasan dalam mengurangi limpasan permukaan, mengingat manfaat *avoided runoff* vegetasi saat ini mencapai sekitar 51,79 ML per tahun dengan nilai ekonomi mencapai sekitar Rp 2,03 miliar. Strategi penanaman dapat diarahkan pada spesies pohon yang memiliki tingkat intersepsi air tinggi, kemampuan adaptasi kuat pada lingkungan peri-urban, dan daya serap polutan yang baik untuk memaksimalkan manfaat ekologis.
3. Mendorong kebijakan perencanaan lanskap berbasis data (*evidence-based landscape planning*), mengumpulkan berbagai informasi kuantitatif dan kualitatif dengan menjadikan hasil *i-Tree Canopy* sebagai landasan penetapan lokasi

intervensi prioritas yang dikombinasikan dengan data citra satelit resolusi tinggi, LiDAR, serta informasi kualitas udara dan hidrologi guna membangun pemahaman kondisi ekologis secara menyeluruh. Pendekatan ini diperkuat melalui pemanfaatan *big data* dan sensor *Internet of Things (IoT)* untuk memantau dinamika perubahan tutupan lahan secara berkelanjutan dan mendukung perencanaan lanskap yang adaptif. Selanjutnya, temuan analisis spasial berbasis bukti tersebut perlu diintegrasikan ke dalam kebijakan RTRW agar pengelolaan ruang terbuka hijau dan pengendalian alih fungsi lahan dapat dilaksanakan secara lebih tepat sasaran, terukur, dan berkelanjutan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Tutupan lahan Kecamatan Ciampea masih didominasi oleh vegetasi, terutama kelas *Tree/Shrub* sebesar 46,36% yang menunjukkan kapasitas ekologis tinggi meskipun Kecamatan Ciampea berada zona peri-urban. Sedangkan, proporsi permukaan kedap air yang mencapai 19,15% untuk bangunan dan 3,80% untuk jalan menandakan bahwa proses urbanisasi berjalan cukup pesat
2. Vegetasi memiliki kemampuan menyerap karbon tahunan sebesar mencapai sekitar 4,79 kiloton/tahun dan total penyimpanan karbon mencapai sekitar 120,2 kiloton. Total polutan yang berhasil dihilangkan mencapai sekitar 138,35 ton/tahun, terutama  $O_3$  dan  $PM_{10}$ . Manfaat pengurangan polusi udara ini bernilai ekonomi sebesar Rp 6,67 miliar/tahun, yang menggambarkan kontribusi besar vegetasi dalam menurunkan risiko kesehatan, meningkatkan kenyamanan lingkungan, dan mengurangi beban biaya mitigasi polusi di kawasan Ciampea.
3. Manfaat hidrologis vegetasi juga sangat signifikan, dengan kemampuan mencegah limpasan permukaan sebesar 51,79 megaliter/tahun, serta mendukung proses

intersepsi, evaporasi, dan transpirasinya yang masing-masing berada pada skala ratusan hingga ribuan megaliter. Nilai ekonomi dari pengurangan limpasan ini mencapai Rp 2,03 miliar/tahun

4. Data yang diperoleh melalui *i-Tree Canopy* memberikan dasar kuat bagi perencanaan lanskap berbasis bukti (*evidence-based planning*), sehingga dapat digunakan untuk menentukan prioritas peningkatan RTH, strategi pengelolaan vegetasi eksisting, serta upaya mitigasi dampak urbanisasi di Kecamatan Ciampea. Temuan ini menegaskan bahwa vegetasi merupakan komponen kunci dalam menjaga kualitas ekologis dan keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang.

## REFERENSI

- Alonzo, M., Ibsen, P. C., & Locke, D. H. (2025). Urban Trees and Cooling: A Review of the Recent Literature (2018 to 2024). *Arboriculture and Urban Forestry*, 51(5), 420–444. <https://doi.org/10.48044/jauf.2025.023>
- Chen, L., Liu, C., Zou, R., Yang, M., & Zhang, Z. (2016). Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution*, 208, 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.006>
- Fitri, T. Y., Adiwibowo, S., & Pravitasari, A. E. (2022). The impact of land-use changes and economic losses of paddy field conversion: A case study of Ciampea Sub-district, Bogor Regency, West Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 950(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012104>
- Galindo, V., Giraldo, C., Lavelle, P., Armbrecht, I., & Fonte, S. J. (2022). Land use conversion to agriculture impacts biodiversity, erosion control, and key soil properties in an Andean watershed. *Ecosphere*, 13(3). <https://doi.org/10.1002/ecs2.3979>

- Gallay, I., Olah, B., Murtinová, V., & Gallayová, Z. (2023). Quantification of the Cooling Effect and Cooling Distance of Urban Green Spaces Based on Their Vegetation Structure and Size as a Basis for Management Tools for Mitigating Urban Climate. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15043705>
- Gong, W., Liu, T., Duan, X., Sun, Y., Zhang, Y., Tong, X., & Qiu, Z. (2022). Estimating the Soil Erosion Response to Land-Use Land-Cover Change Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Case Study of Miyun Reservoir, North China. *Water (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/w14050742>
- Jiang, Y., Liu, Y., Sun, Y., & Li, X. (2023). Distribution of CO<sub>2</sub> Concentration and Its Spatial Influencing Indices in Urban Park Green Space. *Forests*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/f14071396>
- Kang, J., Hirabayashi, S., & Shibata, S. (2022). Urban Forest Ecosystem Services Vary with Land Use and Species: A Case Study of Kyoto City. *Forests*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/f13010067>
- Kim, J., Kang, Y., Kim, D., Son, S., & Kim, E. J. (2024). Carbon Storage and Sequestration Analysis by Urban Park Grid Using i-Tree Eco and Drone-Based Modeling. *Forests*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/f15040683>
- Li, F., Zheng, W., Wang, Y., Liang, J., Xie, S., Guo, S., Li, X., & Yu, C. (2019). Urban Green Space Fragmentation and urbanization: A spatiotemporal perspective. *Forests*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/f10040333>
- Ma, S., Qiao, Y. P., Wang, L. J., & Zhang, J. C. (2021). Terrain gradient variations in ecosystem services of different vegetation types in mountainous regions: Vegetation resource conservation and sustainable development. *Forest Ecology and Management*, 482. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118856>
- Mills, G., Anjos, M., Brennan, M., Williams, J., McAleavey, C., & Ningal, T. (2015). The green ‘signature’ of Irish cities: An examination of the ecosystem services provided by trees using i-Tree canopy software. *Irish Geography*, 48(2), 62–77. <https://doi.org/10.2014/igj.v48i2.625>
- Nowak, D. J. (2020). *Understanding i-Tree: summary of programs and methods*. <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-200>
- Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, 178, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Rakoto, P. Y., Deilami, K., Hurley, J., Amati, M., & Sun, Q. (Chayn). (2021). Revisiting the cooling effects of urban greening: Planning implications of vegetation types and spatial configuration. *Urban Forestry and Urban Greening*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127266>
- Rinangku, R. E. B. I., Rosalita, E. D., Setiawati, N. N., Pratama, D. P., Ningsih, S. N., & Kartiasih, F. (2025). Analisis efisiensi penggunaan lahan perkotaan untuk pembangunan berkelanjutan dengan citra satelit di Jawa Barat. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 20(2), 777. <https://doi.org/10.20961/region.v20i2.94200>
- Russo, A., Chan, W. T., & Cirella, G. T. (2021). Estimating air pollution removal and monetary value for urban green infrastructure strategies using web-based applications. *Land*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/land10080788>
- Selbig, W. R., Loheide, S. P., Shuster, W., Scharenbroch, B. C., Coville, R. C., Kruegler, J., Avery, W., Haefner, R., & Nowak, D. (2022). Quantifying the stormwater runoff volume reduction benefits of urban street tree canopy. *Science of the Total Environment*, 806.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151296>
- Selim, S., Dönmez, B., & Kilçik, A. (2023). Determination of the optimum number of sample points to classify land cover types and estimate the contribution of trees on ecosystem services using the I-Tree Canopy tool. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(3), 726–734. <https://doi.org/10.1002/ieam.4704>
- Taye, G., Teklesilassie, T., Teka, D., & Kassa, H. (2023). Assessment of soil erosion hazard and its relation to land use land cover changes: Case study from alage watershed, central Rift Valley of Ethiopia. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18648>
- Üstün Topal, T., & Demirel, Ö. (2023). Measuring Air Quality Impacts of Green Areas and Ecosystem Services (ESS) Using Web-Based i-Tree Canopy Tool: A Case Study in Istanbul. *Turkish Journal of Forest Science*, 7(2), 253–266.
- Whiteis, A. M., Zou, C. B., Joshi, O., Ferguson, B., & Roberts, S. (2025). Quantitative assessment of ecosystem services in diverse land uses within the forest-grassland transition zone of southern Great Plains, USA. *Ecosystem Services*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101697>
- Yu, G., Liu, T., Wang, Q., Li, T., Li, X., Song, G., & Feng, Y. (2022). Impact of Land Use/Land Cover Change on Ecological Quality during Urbanization in the Lower Yellow River Basin: A Case Study of Jinan City. *Remote Sensing*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/rs14246273>