ISSN [e]: 2579-4264 | DOI: https://doi.org/10.26760/jrh.V10i3.212-230 November 2026

Oxygen Demand-Based Assessment of Green Open Space Adequacy and Improvement Strategies in Bandar Lampung City

Armijon, Anggun Tridawati, Aprilia Permata Sari, Fajriyanto
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Email: armijon@eng.unila.ac.id

Received 25 September 2026| Revised 5 Oktober 2026| Accepted 8 Oktober 2026

ABSTRAK

Perkembangan perkotaan menyebabkan berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH) dan menurunkan kemampuan lingkungan dalam memenuhi kebutuhan oksigen. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kecukupan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen serta merumuskan strategi peningkatannya di Kota Bandar Lampung. Metode yang digunakan mengintegrasikan penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis (SIG), dan Analytical Hierarchy Process (AHP). Pemetaan RTH dilakukan menggunakan citra Landsat 8 tahun 2022 melalui analisis Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan klasifikasi Maximum Likelihood Classification (MLC). Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis kebutuhan oksigen berbasis fungsi ekologis vegetasi dengan analisis spasial berbasis penginderaan jauh dan SIG, serta pendekatan pengambilan keputusan multikriteria menggunakan AHP dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi kecukupan RTH tidak hanya berdasarkan luas wilayah, tetapi juga berdasarkan kapasitas ekologisnya dalam memenuhi kebutuhan oksigen perkotaan. Hasil penelitian menunjukkan luas RTH eksisting sebesar 6.918,39 ha atau 37,65% wilayah kota dengan akurasi klasifikasi 90% dan nilai kappa 0,876. Berdasarkan kebutuhan oksigen sebesar 10.553.401.696 g/hari, Kota Bandar Lampung membutuhkan RTH seluas 10.423,11 ha sehingga masih mengalami kekurangan sebesar 3.504,72 ha. Hasil analisis AHP menunjukkan aspek ekologi menjadi prioritas utama melalui penambahan RTH dan penanaman pohon berkanopi besar. Temuan penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pemerintah daerah dalam mendorong kebijakan pembangunan kota yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

***Kata kunci**: RTH, kebutuhan oksigen, NDVI, SIG, AHP*

ABSTRACT

Urban development has reduced green open spaces (GOS) and diminished the environment's capacity to meet oxygen demand. This study aims to evaluate the adequacy of GOS based on oxygen demand and to formulate strategies for its improvement in Bandar Lampung City. The methods employed integrate remote sensing, Geographic Information Systems (GIS), and the Analytical Hierarchy Process (AHP). GOS mapping was conducted using 2022 Landsat 8 imagery through Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis and Maximum Likelihood Classification (MLC). The novelty of this study lies in the integration of oxygen-demand analysis based on the ecological functions of vegetation with spatial analysis using remote sensing and GIS, as well as a multicriteria decision-making approach using AHP within a comprehensive analytical framework. This approach enables the evaluation of GOS adequacy not only in terms of area coverage but also based on its ecological capacity to meet urban oxygen demand. The results indicate that the existing GOS covers 6,918.39 ha or 37.65% of the city area, with a classification accuracy of 90% and a kappa coefficient of 0.876. Based on an oxygen demand of 10,553,401,696 g/day, Bandar Lampung City requires 10,423.11 ha of GOS, resulting in a deficit of 3,504.72 ha. The AHP analysis identified ecological aspects as the highest priority, emphasizing GOS expansion and the planting of large-canopy trees. These findings provide a scientific basis for local governments in promoting sustainable and environmentally oriented urban development policies.

***Keywords**: RTH, oxygen demand, NDVI, GIS, AHP*

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, RTH dipandang sebagai bagian dari green infrastructure yang berperan penting dalam mendukung keberlanjutan perkotaan. Saat ini, pendekatan nature-based solutions semakin banyak diterapkan dalam perencanaan kota karena mampu mengoptimalkan fungsi ekologis kawasan perkotaan untuk menjawab berbagai tantangan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan [1-3]. Namun demikian, perkembangan wilayah perkotaan yang pesat sebagai dampak dari pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi telah menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan terbangun, yang pada akhirnya mengurangi keberadaan RTH di daerah perkotaan [4-5]. Konversi lahan terbuka menjadi kawasan permukiman, industri, dan infrastruktur menjadi faktor penting yang memicu degradasi lingkungan perkotaan, termasuk menurunnya daya dukung ekologis kota [6-7]. Dalam konteks ini, RTH memiliki peran penting sebagai penyedia jasa ekosistem, khususnya dalam menjaga keseimbangan lingkungan, mengurangi polusi udara, menyediakan oksigen bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya [8-9].

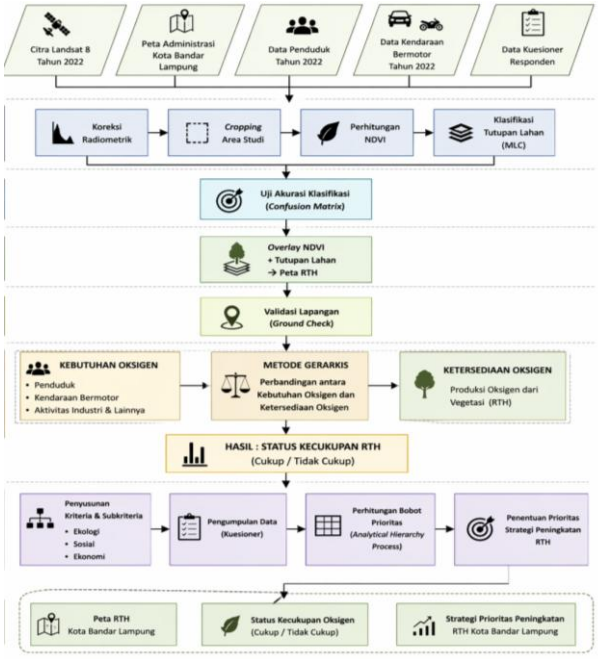
Bandar Lampung sebagai salah satu Kota berkembang dan juga menghadapi tekanan yang signifikan terhadap keberadaan RTH akibat peningkatan jumlah penduduk dan intensifikasi pembangunan. Penurunan luas RTH berpotensi menurunkan kapasitas lingkungan dalam menyediakan oksigen yang dibutuhkan oleh penduduk, kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan sektor lainnya [10-11]. Selain itu, berkurangnya RTH juga berdampak pada menurunnya kualitas udara, meningkatnya suhu permukaan perkotaan (urban heat island), dan berkurangnya kemampuan lingkungan dalam menyerap polutan udara [8-9]. Ketersediaan oksigen di wilayah perkotaan menjadi indikator penting dalam menilai kualitas lingkungan hidup, mengingat oksigen merupakan komponen vital yang mendukung keberlangsungan kehidupan dan kesehatan manusia [12]. Dengan demikian, keberadaan dan ketersediaan RTH tidak hanya berperan sebagai unsur estetika perkotaan, tetapi juga menjadi komponen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem kota serta mendukung kualitas hidup masyarakat.Secara regulasi, kebutuhan RTH di kawasan perkotaan telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang yang mensyaratkan sedikitnya 30% dari luas wilayah kota dialokasikan sebagai RTH. Kebijakan ini bertujuan menjaga keberlanjutan fungsi ekologis, sosial, dan estetika dalam pembangunan perkotaan. Akan tetapi, implementasinya di berbagai kota di Indonesia masih menghadapi kendala, seperti keterbatasan lahan, tingginya tekanan pembangunan, serta belum optimalnya integrasi kebijakan tata ruang yang berbasis lingkungan [13-14]. Kondisi ini menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif semata, yaitu berdasarkan persentase luas wilayah, belum cukup untuk menggambarkan kecukupan RTH secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi kecukupan RTH, tidak hanya berdasarkan luas, tetapi juga berdasarkan fungsi ekologisnya, seperti kemampuan dalam menghasilkan oksigen dan mendukung keseimbangan lingkungan perkotaan [15]. Pendekatan berbasis fungsi ekologis ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih akurat dalam menilai daya dukung lingkungan serta menjadi dasar dalam perumusan kebijakan pengelolaan RTH yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Pendekatan analisis kecukupan RTH berbasis kebutuhan oksigen menjadi penting untuk memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai kondisi daya dukung lingkungan perkotaan. Metode ini mempertimbangkan keseimbangan antara produksi oksigen oleh vegetasi dan kebutuhan oksigen dari berbagai aktivitas antropogenik [10], [15]. Selain itu, penerapan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG) mendukung pemetaan sebaran RTH secara spasial dengan tingkat akurasi yang baik, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses pengambilan keputusan perencanaan kota [16-17]. Lebih lanjut, dalam upaya meningkatkan ketersediaan RTH, diperlukan strategi yang terencana dan berbasis prioritas. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) banyak digunakan dalam pengambilan keputusan multikriteria karena mampu mengakomodasi berbagai aspek

seperti ekologi, sosial, dan ekonomi dalam menentukan prioritas kebijakan [18-19]. Dengan demikian, integrasi antara analisis kebutuhan oksigen, pemetaan spasial RTH, serta penentuan strategi berbasis AHP menjadi pendekatan yang komprehensif dalam mendukung perencanaan RTH yang berkelanjutan. Beberapa penelitian mengenai RTH di wilayah perkotaan umumnya berfokus pada analisis ketersediaan dan distribusi spasial RTH menggunakan data penginderaan jauh [16], [20], dan evaluasi kecukupan RTH berdasarkan standar luas minimal wilayah [13-14]. Penelitian tersebut mampu menggambarkan kondisi dan sebaran RTH, namun belum mempertimbangkan kapasitas ekologis vegetasi dalam memenuhi kebutuhan oksigen masyarakat. Di sisi lain, beberapa penelitian telah mengembangkan pendekatan berbasis fungsi ekologis, seperti estimasi kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon dan menghasilkan oksigen [9], [11]. Meskipun demikian, pendekatan tersebut umumnya belum mengintegrasikan kondisi spasial aktual RTH sehingga kurang mampu menggambarkan distribusi ekologis secara menyeluruh. Selain itu, metode pengambilan keputusan multikriteria seperti AHP telah banyak digunakan untuk menentukan prioritas pengembangan RTH berdasarkan berbagai aspek lingkungan dan sosial [19], [21], tetapi umumnya diterapkan tanpa didahului evaluasi kuantitatif terhadap kecukupan RTH berdasarkan kebutuhan ekologis. Dengan demikian, masih terdapat keterbatasan dalam mengintegrasikan evaluasi spasial RTH, kapasitas ekologis penyediaan oksigen, dan penentuan strategi pengelolaan ke dalam satu kerangka analisis yang komprehensif

Penelitian terdahulu telah banyak mengkaji RTH dari berbagai aspek, seperti ketersediaan lahan, kebutuhan oksigen, analisis spasial berbasis SIG, serta perumusan strategi pengelolaan menggunakan metode AHP. Namun, aspek-aspek tersebut umumnya masih dianalisis secara terpisah. Kajian yang mengintegrasikan analisis kecukupan RTH berbasis kebutuhan oksigen, evaluasi spasial berbasis SIG, serta penentuan prioritas strategi peningkatan dalam satu kerangka analisis yang komprehensif masih relatif terbatas. Kondisi ini menyebabkan informasi yang dihasilkan belum sepenuhnya mampu mendukung perencanaan dan pengelolaan RTH secara terpadu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecukupan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen di Kota Bandar Lampung menggunakan pendekatan penginderaan jauh dan SIG, serta merumuskan strategi peningkatan RTH menggunakan metode AHP.

2. METODOLOGI



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bandar Lampung, Lampung. Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan mengintegrasikan analisis penginderaan jauh, SIG, serta metode pengambilan keputusan multikriteria menggunakan AHP. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis, dimulai dari pengumpulan data, pengolahan citra, pemetaan RTH, analisis kecukupan berdasarkan kebutuhan oksigen, hingga penyusunan strategi peningkatan RTH.

1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan beberapa jenis data dan bahan yang berasal dari sumber resmi untuk mendukung analisis ketersediaan RTH terhadap kebutuhan oksigen di Kota Bandar Lampung tahun 2022. Citra Landsat 8 OLI/TIRS 2022 digunakan untuk analisis NDVI serta klasifikasi penutupan lahan. Citra yang digunakan memiliki resolusi spasial 30 m dan resolusi temporal 16 hari. Data citra diperoleh pada tanggal 15 Juli 2022 dengan Path/Row 123/064. Tahap prapengolahan *(preprocessing)* meliputi pengecekan tutupan awan, pemotongan citra *(cropping)* berdasarkan batas administrasi Kota Bandar Lampung, dan penyusunan komposit *band* yang digunakan dalam analisis NDVI dan klasifikasi *Likelihood Maksimum* (MLC)

Tabel 1. Data penelitian

No	Bahan	Sumber	Kegunaan
1	Citra Landsat 8 Tahun 2022	https://earthexplorer.usgs.gov/	Untuk membuat peta kerapatan vegetasi dan penutupan lahan
2	Peta Administrasi Kota Bandar Lampung Tahun 2022	https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/	Untuk memotong citra sesuai dengan batas wilayah penelitian
3	Data Jumlah Penduduk Kota Bandar Lampung Tahun 2022	https://bandarlampungkota.bps.go.id/id	Untuk menghitung RTH
4	Data Jumlah Kendaraan Bermotor Tahun 2022	BAPPENDA Provinsi Lampung	
5	Data Jumlah Hewan Ternak Tahun 2022	https://www.disnakkeswan.lampungprov.go.id/	
6	Data Jumlah Industri Kota Bandar Lampung Tahun 2022	https://lampung.bps.go.id/id	
7	Data Kuesioner	Responden	Untuk analisis strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH

2. Tahap prapengolahan

Tahap pra-pengolahan dilakukan dengan pemotongan citra (*cropping*) berdasarkan batas administrasi wilayah penelitian untuk memperoleh area kajian yang spesifik. Selanjutnya dilakukan koreksi radiometrik pada citra landsat 8 tahun 2022 guna memperbaiki nilai reflektansi piksel akibat gangguan atmosfer maupun sensor, sehingga data citra menjadi lebih akurat untuk analisis selanjutnya.

3. Pengolahan data

3.1 Pemetaan RTH

a. Transformasi Indeks Vegetasi

Analisis indeks vegetasi dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menghasilkan informasi spasial terkait tingkat kerapatan vegetasi pada wilayah penelitian. NDVI merupakan indikator yang banyak digunakan untuk menilai kondisi vegetasi karena mampu menggambarkan tingkat kehijauan berdasarkan perbedaan nilai reflektansi pada kanal merah dan inframerah dekat [22-25]. Vegetasi yang aktif berfotosintesis cenderung menyerap sebagian besar gelombang merah dari sinar

matahari dan memantulkan lebih banyak gelombang inframerah dekat. Sebaliknya, vegetasi yang tidak aktif atau mengalami kerusakan akan memantulkan lebih banyak gelombang merah dan lebih sedikit gelombang inframerah dekat [22]. Transformasi NDVI juga menjadi salah satu produk standar yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration (*NOAA) melalui pemanfaatan satelit cuaca berorbit polar untuk memantau dinamika vegetasi secara global:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{RED}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{RED}} \quad (1)$$

Keterangan:
NDVI = nilai indeks vegetasi
λNIR = nilai reflektansi pada *band* inframerah dekat untuk setiap piksel
λRED = nilai reflektansi pada *band* merah untuk setiap piksel
sumber: [22]

b. Pemetaan tutupan lahan

Pemetaan jenis tutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik klasifikasi yang disebut algoritma Klasifikasi MLC pada perangkat lunak SAGA GIS. Sebelum proses klasifikasi, dilakukan penentuan *training sample* sebagai data pelatihan untuk setiap kelas penutupan lahan. *Training sample* dipilih menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu dengan memilih area yang dianggap homogen dan mewakili karakteristik spektral masing-masing kelas berdasarkan interpretasi visual citra Landsat 8. Kelas penutupan lahan yang digunakan terdiri atas lima kelas, yaitu badan air, lahan terbangun, vegetasi jarang, vegetasi sedang, dan vegetasi rapat. Jumlah *training sample* ditentukan berdasarkan rekomendasi Congalton dan Green (2019) dan Jensen (2015) , yaitu minimal 50 sampel untuk setiap kelas tutupan lahan guna memastikan representasi variasi spektral yang memadai dan meningkatkan stabilitas model klasifikasi [26, 17]. Selanjutnya, *training sample* digunakan sebagai masukan dalam proses klasifikasi menggunakan algoritma MLC untuk menghasilkan peta penutupan lahan wilayah penelitian. MLC adalah cara untuk mengklasifikasikan jenis tutupan lahan pada gambar satelit dengan cara digital. MLC dibangun berdasarkan nilai piksel yang mirip dan pengenalan pola dalam citra. Setiap piksel dalam kelasnya dapat diwakili oleh karakteristik yang memiliki distribusi normal. Metode ini mengklasifikasikan parameter dengan asumsi bahwa distribusi spektral setiap karakteristik bersifat normal atau mendekati normal. Selain itu, kemungkinan yang sama antar kelas juga diasumsikan [25]. Proses klasifikasi dengan metode MLC dilakukan berdasarkan perhitungan densitas probabilitas pada setiap kelas tutupan lahan. Perhitungan probabilitas atau likelihood tersebut digunakan untuk menentukan kemungkinan suatu piksel termasuk ke dalam kelas tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\mathrm{P}\,(\mathrm{i}|\mathrm{x}) = \frac{\mathrm{P}\,(\mathrm{x} \mid \mathrm{i})\,\mathrm{P}\,(\mathrm{i})}{\mathrm{P}\,(\mathrm{x})} \quad (2)$$

Keterangan :

$P\,(i \mid x)$	=	Probabilitas bersyarat suatu kelas i berdasarkan vektor x yang diketahui.
$P\,(x \mid i)$	=	Probabilitas bersyarat vektor x terhadap kelas i.
$P(i)$	=	Probabilitas kemunculan kelas i pada citra.
$P(x)$	=	Probabilitas dari vektor x.

Sumber: [26]

c. Validasi

Uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan untuk mengukur tingkat ketelitian peta yang dihasilkan melalui proses klasifikasi citra digital. Metode yang digunakan dalam uji akurasi ini adalah matriks kesalahan *(confusion matrix),* yang digunakan untuk menentukan nilai akurasi keseluruhan dan koefisien kappa. Semakin tinggi nilai akurasi, maka peta yang dihasilkan akan lebih akurat. Nilai *overall accuracy* dihasilkan dari persentase jumlah piksel yang terklasifikasi dengan benar dibagi dengan jumlah total

piksel. Menurut [27] uji akurasi koefisien kappa lebih disarankan karena memperhitungkan seluruh bagian matriks kesalahan, sedangkan overall accuracy hanya menghitung piksel yang terklasifikasi dengan benar. Syarat yang telah ditetapkan oleh USGS adalah nilai uji akurasi yang dapat diterima tidak boleh kurang dari 85%. Akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan dievaluasi menggunakan 50 titik validasi yang didistribusikan pada seluruh wilayah Kota Bandar Lampung. Penentuan titik validasi dilakukan dengan mempertimbangkan keterwakilan setiap kelas tutupan lahan sehingga mampu menangkap variasi spasial karakteristik wilayah penelitian. Penyebaran sampel tidak terkonsentrasi pada lokasi tertentu, melainkan mencakup berbagai kondisi tutupan lahan yang terdapat di Kota Bandar Lampung. Setiap titik validasi kemudian diverifikasi menggunakan citra resolusi tinggi dan data pendukung yang tersedia untuk memastikan kesesuaian antara hasil klasifikasi dan kondisi aktual di lapangan. Dengan pendekatan tersebut, titik validasi yang digunakan diharapkan dapat merepresentasikan karakteristik tutupan lahan Kota Bandar Lampung secara keseluruhan dan memberikan dasar yang memadai untuk penilaian akurasi klasifikasi.

3.2 Perhitungan Kebutuhan RTH

Analisis kebutuhan luas RTH berdasarkan kebutuhan oksigen dilakukan menggunakan metode Gerarkis tahun 1974 yang telah dimodifikasi oleh Wisesa pada tahun 1988 dan dikembangkan lebih lanjut oleh Wijayanti pada tahun 2003 sebagaimana dilaporkan oleh Muis (2005) [28]. Analisis ini menggunakan data kebutuhan oksigen penduduk, hewan ternak, kendaraan bermotor, serta sektor industri di Bandar Lampung tahun 2022. Peningkatan jumlah penduduk, hewan ternak, kendaraan bermotor, dan industri akan berpengaruh terhadap besarnya kebutuhan oksigen di Kota Bandar Lampung. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan luas RTH berdasarkan kebutuhan oksigen dengan metode Gerarkis dilakukan melalui persamaan berikut:

$$Lt = \frac{Pt + Kt + Tt + It}{(54)(0.9375)(2)} \quad (3)$$

Sumber: [28]

Keterangan:

Lt	=	luas RTH pada tahun ke-t (m^2)
Pt	=	total kebutuhan oksigen penduduk pada tahun ke-t (g/hari)
Kt	=	total kebutuhan oksigen kendaraan bermotor pada tahun ke-t (g/hari)
Tt	=	total kebutuhan oksigen hewan ternak pada tahun ke-t (g/hari)
It	=	total kebutuhan oksigen sektor industri pada tahun ke-t (g/hari)
54	=	konstanta yang menyatakan bahwa setiap 1 m^2 lahan bervegetasi dapat menghasilkan 54 gram berat kering tanaman per hari
0,9375	=	konstanta yang menunjukkan bahwa 1 gram berat kering tanaman setara dengan produksi oksigen sebesar 0,9375 gram
2	=	jumlah musim di Indonesia jumlah musim yang terjadi di Indonesia

3.3 Perhitungan Strategi Peningkatan Kebutuhan Oksigen

Perumusan strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan AHP. Penilaian dilakukan melalui penyebaran kuesioner yang diisi oleh responden dari berbagai kelompok dengan menggunakan skala perbandingan berpasangan. Responden dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan keterlibatan mereka dalam perencanaan, pengelolaan, dan pemanfaatan ruang terbuka hijau di Kota Bandar Lampung. Sebanyak 9 responden dilibatkan, terdiri atas 3 perwakilan pemerintah, 3 akademisi, dan 3 tokoh masyarakat. Komposisi tersebut dipilih untuk mengakomodasi perspektif pemangku kepentingan yang berbeda dalam proses pengambilan keputusan. Dalam metode AHP, kualitas dan

kompetensi responden sebagai pakar lebih diutamakan dibandingkan jumlah responden yang besar karena bobot prioritas diperoleh dari penilaian pakar melalui perbandingan berpasangan dan diuji menggunakan rasio konsistensi (*Consistency Ratio*/CR) [18]. Oleh karena itu, penggunaan sejumlah pakar yang memiliki kompetensi dan pengalaman relevan dianggap memadai untuk mendukung proses pengambilan keputusan multikriteria [29, 30].

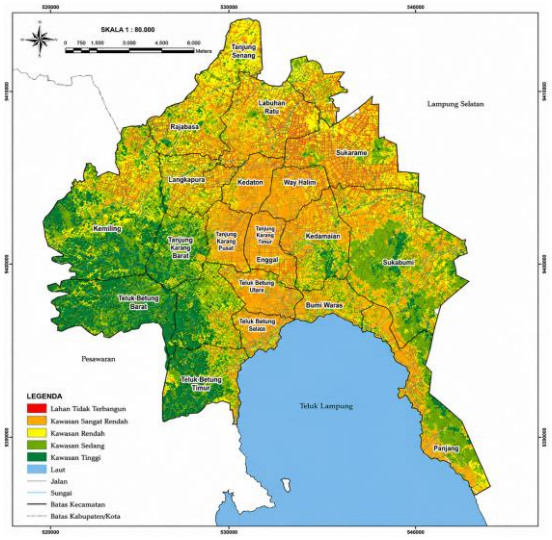
1. Kriteria yang mempengaruhi dalam pengambilan keputusan terdiri dari empat aspek, yaitu aspek sosial, aspek kebijakan, aspek ekologi, dan aspek ekonomi. Alternatif dari masing-masing aspek pada analisis ini dijelaskan sebagai berikut. Pada aspek sosial, peningkatan dapat dilakukan melalui penyediaan ruang untuk komunikasi antarindividu, penciptaan lingkungan yang lebih menarik untuk dikunjungi, serta penyediaan fasilitas bermain atau olahraga guna mendukung terciptanya masyarakat yang sehat. Keberadaan ruang terbuka hijau memiliki fungsi sosial sebagai sarana interaksi masyarakat dan peningkatan kualitas hidup [31].
2. Pada aspek kebijakan, peningkatan dapat dilakukan melalui penyusunan kebijakan pemeliharaan RTH, perencanaan yang terarah dan berkelanjutan, serta peningkatan kualitas dan kuantitas RTH setelah perencanaan dilakukan. Perencanaan dan pengelolaan RTH yang baik merupakan bagian penting dalam pembangunan wilayah yang berkelanjutan [32].
3. Pada aspek ekologi, upaya peningkatan meliputi pengurangan polusi dan penyaringan debu asap kendaraan, peningkatan penyerapan air untuk mengurangi risiko banjir di kawasan perkotaan, serta penanaman tanaman hijau sebagai upaya meningkatkan kualitas lingkungan. RTH berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem, meningkatkan kualitas udara, serta mengendalikan tata air [33], [10].
4. Selanjutnya, pada aspek ekonomi, peningkatan dapat dilakukan melalui penyediaan area aktivitas ekonomi, peningkatan perekonomian masyarakat, serta upaya menarik minat wisatawan dari luar daerah untuk berkunjung. RTH juga memberikan manfaat ekonomi melalui peningkatan nilai estetika kawasan dan potensi pariwisata [34].

Berdasarkan empat aspek tersebut, selanjutnya dilakukan penyusunan hierarki keputusan yang terdiri atas tujuan utama, kriteria, dan alternatif strategi. Setiap responden memberikan penilaian menggunakan metode perbandingan berpasangan (pairwise comparison). Nilai hasil penilaian kemudian diolah menggunakan metode AHP untuk memperoleh bobot prioritas masing-masing alternatif strategi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Peta Kerapatan Vegetasi

Hasil pengolahan citra menghasilkan peta distribusi NDVI yang menunjukkan variasi tingkat kerapatan vegetasi di wilayah penelitian. NDVI merupakan salah satu indikator dalam analisis vegetasi yang sensitif terhadap kandungan klorofil serta kondisi fisiologis tanaman, sehingga mampu mengidentifikasi tingkat kehijauan vegetasi secara kuantitatif [21-22]. Pada penelitian ini, nilai NDVI terendah yang diperoleh sebesar -0,069, sedangkan nilai tertinggi mencapai 0,490. Rentang nilai tersebut dinilai telah memenuhi kriteria karena sesuai dengan standar nilai NDVI yang telah ditetapkan. Adapun hasil pemetaan kerapatan vegetasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Kerapatan Vegetasi Kota Bandar Lampung

Berdasarkan hasil klasifikasi NDVI, wilayah penelitian didominasi oleh kelas kehijauan sangat rendah dengan luas sebesar 6.999,92 ha (38,09%). Nilai NDVI pada rentang ini umumnya merepresentasikan area dengan tutupan vegetasi yang sangat terbatas, seperti kawasan terbangun, lahan terbuka, serta permukaan tanah yang minim vegetasi. Dominasi kelas ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah telah mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan akibat aktivitas manusia. Hal ini sejalan dengan temuan Weng [35] yang menyatakan bahwa peningkatan intensitas penggunaan lahan perkotaan berkorelasi dengan rendahnya nilai NDVI. Kelas kehijauan rendah mencakup luas 4.227,52 ha (23%), sedangkan kelas kehijauan sedang sebesar 4.751,28 ha (25,85%). Kedua kelas ini umumnya mengindikasikan keberadaan vegetasi dengan kerapatan sedang hingga jarang, seperti lahan pertanian, semak belukar, dan ruang terbuka dengan vegetasi terbatas. Nilai NDVI pada rentang ini sering dikaitkan dengan vegetasi yang mengalami tekanan lingkungan atau berada pada kondisi pertumbuhan yang tidak optimal [36]

Tabel 2. Luas Kerapatan Vegetasi Kota Bandar Lampung Tahun 2022

No.	Rentang NDVI	Kerapatan Vegetasi	Luas (Ha)	Presentase (%)
1	-1 < NDVI < -0,03	Tanpa vegetasi	5,36	0,03
2	-0,03 < NDVI < 0,15	Kehijauan Sangat Rendah	6.999,92	38,09
3	0,15 < NDVI < 0,25	Kehijauan Rendah	4.227,52	23
4	0,25 < NDVI < 0,35	Kehijauan Sedang	4.751,28	25,85
5	0,35 < NDVI < 1	Kehijauan Tinggi	2.393,57	13,03
	Total		**18.377,65**	**100**

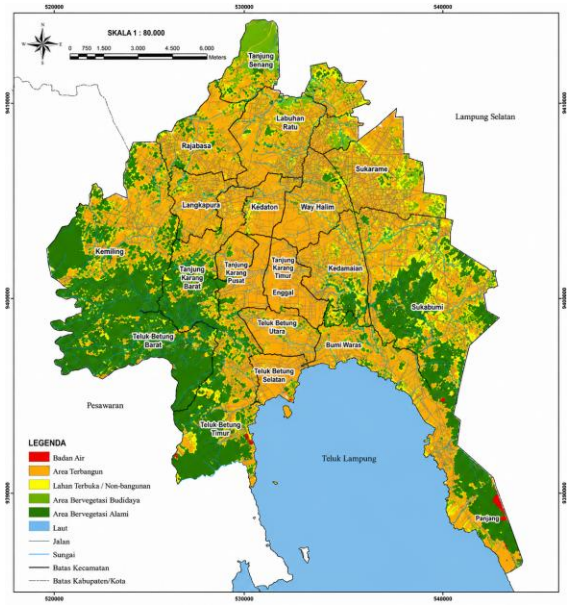
Hasil analisis NDVI menunjukkan bahwa wilayah Kota Bandar Lampung didominasi oleh kelas kehijauan sangat rendah hingga rendah dengan total persentase mencapai 61,09% dari luas wilayah. Sebaran kelas ini terutama terkonsentrasi pada Kecamatan Enggal, Tanjung Karang Pusat, Tanjung Karang Timur, Kedaton, Way Halim, Sukarame, Labuhan Ratu, dan sebagian Kedamaian, yang merupakan kawasan perkotaan dengan kepadatan bangunan dan aktivitas ekonomi yang tinggi. Dominasi nilai NDVI rendah pada kecamatan-kecamatan tersebut mengindikasikan berkurangnya tutupan vegetasi akibat konversi lahan menjadi kawasan permukiman, perdagangan, perkantoran, fasilitas pendidikan, serta jaringan transportasi. Kondisi ini dipengaruhi oleh pesatnya perkembangan Kota Bandar Lampung sebagai pusat pemerintahan dan pusat pertumbuhan ekonomi di Provinsi Lampung yang mendorong peningkatan kebutuhan lahan terbangun. Sebaliknya, nilai NDVI tinggi masih banyak dijumpai pada Kecamatan Kemiling, Teluk Betung Barat, Teluk Betung Timur, Panjang,

serta sebagian Sukabumi, yang masih memiliki kawasan hutan kota, perbukitan, ruang terbuka hijau, dan vegetasi alami yang relatif terjaga. Secara ekologis, dominasi nilai NDVI rendah menunjukkan menurunnya kapasitas lingkungan dalam menjalankan fungsi ekologis, seperti produksi oksigen, penyerapan karbon dioksida, serta pengendalian suhu permukaan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Weng yang menyatakan bahwa peningkatan urbanisasi memiliki hubungan negatif terhadap tingkat kehijauan vegetasi perkotaan dan kualitas lingkungan [35]. Distribusi spasial NDVI juga menunjukkan adanya konsentrasi vegetasi rapat pada wilayah pinggiran kota dan kawasan yang relatif belum berkembang secara intensif. Sebaliknya, wilayah pusat kota didominasi oleh nilai NDVI rendah akibat tingginya kepadatan bangunan dan aktivitas perkotaan. Pola tersebut mengindikasikan adanya fragmentasi lanskap vegetasi yang berpotensi menurunkan efektivitas fungsi ekologis RTH. Menurut Haddad dkk. [37], fragmentasi vegetasi dapat mengurangi konektivitas ekologis dan menurunkan kemampuan ekosistem dalam menyediakan jasa lingkungan secara optimal. Oleh karena itu, distribusi vegetasi tidak hanya perlu dipertahankan dari sisi kuantitas, tetapi juga perlu memperhatikan keterhubungan spasial antar kawasan hijau.

b. Peta Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan, wilayah kajian menunjukkan dominasi yang sangat kuat pada kelas area terbangun dengan luas mencapai 9.578,65 ha atau sebesar 52,12% dari total wilayah. Tingginya proporsi area terbangun ini mengindikasikan intensitas urbanisasi yang signifikan, yang umumnya berkorelasi dengan meningkatnya tekanan terhadap kualitas lingkungan, seperti penurunan daya dukung ekologis, peningkatan suhu permukaan, serta berkurangnya kapasitas penyediaan jasa ekosistem [16], [4]. Kondisi ini mencerminkan karakteristik kawasan perkotaan yang berkembang pesat, di mana konversi lahan alami menjadi lahan terbangun berlangsung secara masif.

Di sisi lain, area bervegetasi alami masih memiliki kontribusi yang cukup besar, yaitu seluas 5.462,77 ha atau sebesar 29,73%. Keberadaan vegetasi alami ini memiliki peran krusial dalam menjaga keseimbangan lingkungan, khususnya dalam fungsi ekologis seperti produksi oksigen, penyerapan karbon dioksida, serta pengendalian iklim mikro [6], [8]. Selain itu, area bervegetasi budidaya yang mencakup 1.445,27 ha (7,86%) juga menunjukkan adanya aktivitas pemanfaatan lahan berbasis vegetasi yang dapat memberikan kontribusi tambahan terhadap fungsi ekologis, meskipun dengan tingkat efektivitas yang umumnya lebih rendah dibandingkan vegetasi alami [4].



Gambar 3. Peta Tutupan lahan Kota Bandar Lampung

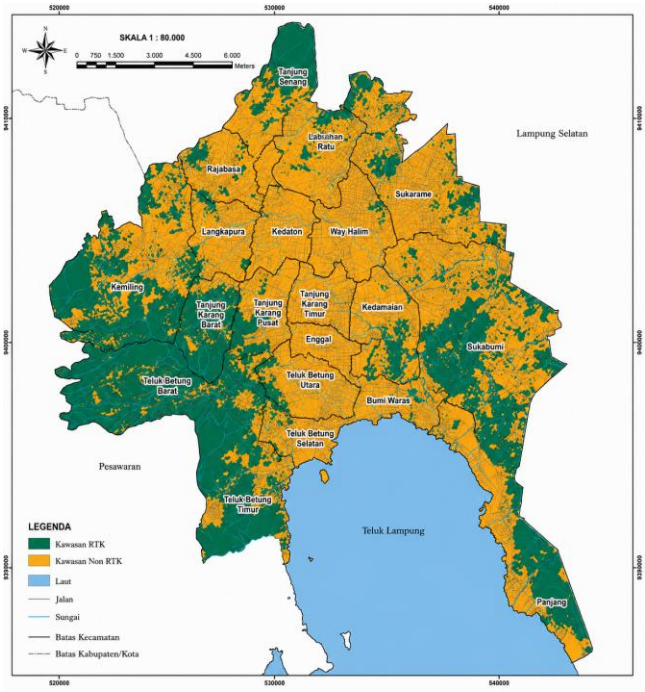
Tabel 3. Luas Tutupan lahan Kota Bandar Lampung

No.	Nama Kelas	Luas (Ha)	Presentase (%)
1	Badan Air	31,33	0,17
2	Area Terbangun	9.578,65	52,12
3	Lahan Terbuka Diusahakan	1.859,60	10,12
4	Area Bervegetasi Budidaya	1.445,27	7,86
5	Area Bervegetasi Alami	5.462,77	29,73
	Total	**18.377,62**	**100**

Lahan terbuka yang diusahakan tercatat seluas 1.859,60 ha (10,12%), yang menunjukkan adanya potensi ruang yang dapat diarahkan untuk berbagai kepentingan, baik sebagai pengembangan kawasan terbangun maupun sebagai cadangan RTH. Pemanfaatan lahan pada kategori ini sangat bergantung pada kebijakan tata ruang dan arah pembangunan wilayah, sehingga memerlukan perencanaan yang matang agar tidak semakin mengurangi proporsi vegetasi yang ada [3]. Sementara itu, badan air merupakan kelas dengan luasan terkecil, yaitu 31,33 ha (0,17%), namun tetap memiliki peran penting dalam mendukung sistem hidrologi dan keseimbangan ekosistem kawasan [33]. Secara keseluruhan, struktur tutupan lahan di wilayah kajian menunjukkan ketimpangan antara area terbangun dan area bervegetasi, di mana dominasi lahan terbangun berpotensi menyebabkan fragmentasi vegetasi serta penurunan kualitas lingkungan. Fragmentasi lanskap ini dapat mengurangi efektivitas fungsi ekologis vegetasi, termasuk dalam mendukung siklus oksigen dan menjaga stabilitas ekosistem perkotaan [34]. Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan ruang yang terintegrasi dan berbasis data untuk menjaga keseimbangan antara pembangunan dan keberlanjutan lingkungan, khususnya melalui optimalisasi peran vegetasi dalam lanskap perkotaan.

d. Peta RTH

Perhitungan luas RTH di Bandar Lampung tahun 2022 pada penelitian ini mengacu pada klasifikasi yang tercantum dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan RTH di Kawasan Perkotaan. Peraturan tersebut mendefinisikan RTH secara komprehensif, meliputi berbagai jenis ruang terbuka seperti hutan kota, taman kota, taman lingkungan, sabuk hijau, sempadan sungai, sempadan pantai, serta area vegetasi alami maupun semi-alami lainnya [31]. Berdasarkan klasifikasi tersebut, luas total RTH di Kota Bandar Lampung tercatat sebesar 6.918,39 ha atau sekitar 37,65% dari keseluruhan luas wilayah.



Gambar 4. Peta RTH Kota Bandar Lampung

Berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan, luas masing-masing kelas tersebut adalah 5.470,11 ha untuk vegetasi alami, 1.448,28 ha untuk RTH binaan, dan 31,35 ha untuk badan air (Tabel 4). Dengan demikian, total luas RTH yang diperoleh dari hasil agregasi mencapai sekitar 6.918,39 ha atau sebesar ±37,65% dari total luas wilayah Kota Bandar Lampung. Persentase ini dihitung dengan membandingkan total luas RTH terhadap luas wilayah keseluruhan, yaitu sebesar 18.377,55 ha yang berarti total luas RTH di Kota Bandar Lampung tahun 2022 sudah memenuhi persyaratan kebutuhan RTH di suatu wilayah. Namun jika berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bandar Lampung Nomor 4 Tahun 2021 Tentang RTRW Tahun 2021-2041 yang menetapkan RTH hanya meliputi taman kota, taman kecamatan, pemakaman, dan jalur hijau, maka dilihat dari tabel total luas RTH di kota Bandar Lampung hanya sebesar 1.448,28 hektar dengan persentase luas sebesar 7,88%, yang mana berarti jika berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bandar Lampung Nomor 4 Tahun 2021 Tentang RTRW Tahun 2021-2041 maka luas RTH di Kota Bandar Lampung tahun 2022 belum memenuhi persyaratan kebutuhan RTH di suatu wilayah.

Tabel 4. Luas RTH Kota Bandar Lampung

No	RTH	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Sungai, embung, danau dan lain-lain	31,35	0,17
2	Permukiman sangat padat, bangunan industri, bangunan perdagangan, dan lain-lain	9.575,30	52,10
3	Penambangan terbuka, penggalian pasir, area parkir, lapangan dan lain-lain	1.852,51	10,08
4	Jalur hijau, taman kota, pemakaman dan lain-lain	1.448,28	7,88
5	Hutan, sabana, semak belukar, dan lain-lain	5.470,11	29,77
	Total	**18.377,55**	**100**

Perbedaan yang cukup signifikan antara hasil analisis tutupan lahan dan ketentuan RTRW Kota Bandar Lampung disebabkan oleh perbedaan definisi dan kriteria ruang terbuka hijau yang digunakan. Dalam analisis tutupan lahan, seluruh area yang memiliki fungsi ekologis, seperti vegetasi alami, semak belukar, dan badan air, dihitung sebagai bagian dari RTH karena berkontribusi terhadap penyediaan oksigen dan keseimbangan lingkungan. Sebaliknya, RTRW Kota Bandar Lampung hanya memasukkan

RTH yang secara formal direncanakan dan ditetapkan dalam tata ruang, seperti taman kota, taman kecamatan, jalur hijau, dan pemakaman. Akibatnya, luas RTH berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan mencapai ±37,65% dari luas wilayah kota, sedangkan luas RTH yang diakui dalam RTRW hanya sebesar 7,88%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa Kota Bandar Lampung masih memiliki potensi ekologis yang cukup besar melalui keberadaan vegetasi alami, namun sebagian besar area tersebut belum terakomodasi sebagai RTH dalam kebijakan tata ruang. Kondisi ini memiliki implikasi penting terhadap perencanaan kota, yaitu perlunya upaya perlindungan terhadap kawasan vegetasi alami yang masih tersisa serta integrasi fungsi ekologis tersebut ke dalam kebijakan pengelolaan ruang terbuka hijau. Tanpa adanya perlindungan dan pengelolaan yang memadai, kawasan vegetasi alami berpotensi mengalami alih fungsi lahan yang dapat mengurangi kapasitas penyediaan oksigen dan kualitas lingkungan perkotaan di masa mendatang.

e. Validasi Lapangan dan Uji Akurasi

Setelah hasil peta RTH didapatkan, dilakukan validasi lapangan serta uji akurasi untuk mengetahui tingkat keakuratan peta RTH yang telah dihasilkan. Sebelum melakukan validasi lapangan, peneliti mengambil titik-titik sampel pada peta RTH. Selanjutnya melakukan validasi setiap titik sampel untuk perhitungan uji akurasi. Perhitungan uji akurasi dilakukan untuk menghitung nilai keakuratan antara hasil peta RTH dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan. Berikut adalah hasil perhitungan confusion matrix dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan

Klasifikasi \ Validasi	**Badan Air**	**Area Terbangun**	**Lahan Terbuka Diusahakan**	**Area Bervegetasi Budidaya**	**Area Bervegetasi Alami**	**Total**	***User's Accuracy* (%)**	***Producer's Accuracy* (%)**
Badan Air	9	0	0	1	0	10	90.00	100.00
Area Terbangun	0	10	0	0	0	10	100.00	90.91
Lahan Terbuka Diusahakan	0	1	6	0	3	10	60.00	100.00
Area Bervegetasi Budidaya	0	0	0	10	0	10	100.00	90.91
Area Bervegetasi Alami	0	0	0	0	10	10	100.00	76.92
Total	**9**	**11**	**6**	**11**	**13**	**50**		
						Overall accuracy		90
							Kappa	0.876

Hasil uji akurasi klasifikasi menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu menghasilkan peta tutupan lahan dengan tingkat ketelitian yang baik. Berdasarkan *confusion matrix* pada Tabel 5, diperoleh nilai *Overall Accuracy* (OA) sebesar 90% dan *Kappa Coefficient* sebesar 0,876. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil klasifikasi dan data referensi, sehingga hasil klasifikasi dapat dianggap reliabel untuk analisis spasial lebih lanjut. Menurut Richard G. Congalton, nilai OA di atas 85% umumnya telah memenuhi standar ketelitian klasifikasi penginderaan jauh, sedangkan nilai kappa di atas 0.80 menunjukkan tingkat kesepakatan yang sangat baik antara data klasifikasi dan data referensi. Berdasarkan nilai *user's accuracy* dan *producer's accuracy*, sebagian besar kelas menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, terutama pada kelas Area Terbangun, Area Bervegetasi Budidaya, dan Area Bervegetasi Alami dengan user's accuracy mencapai 100%. Sementara itu, kelas Lahan Terbuka memiliki *user's accuracy* terendah sebesar 60%, yang menunjukkan masih

terdapat kesalahan klasifikasi akibat kemiripan karakteristik spektral dengan kelas tutupan lahan lainnya. Rendahnya akurasi pada kelas ini diduga disebabkan oleh kemiripan karakteristik spektral dengan Area Bervegetasi Budidaya dan Area Terbangun, terutama pada lahan yang sedang diolah atau berada pada fase awal pertumbuhan vegetasi. Selain itu, keberadaan piksel campuran (mixed pixels) akibat heterogenitas penggunaan lahan juga dapat meningkatkan potensi kesalahan klasifikasi [37]. Kondisi tersebut umum terjadi pada klasifikasi citra multispektral di wilayah perkotaan yang memiliki heterogenitas tutupan lahan tinggi *Remote Sensing.* Secara keseluruhan, nilai OA dan Kappa yang tinggi menunjukkan bahwa hasil klasifikasi dapat digunakan sebagai dasar analisis distribusi RTH secara memadai. Penelitian ini menggunakan 50 titik validasi yang tersebar pada seluruh wilayah Kota Bandar Lampung untuk mengevaluasi akurasi klasifikasi tutupan lahan. Meskipun nilai akurasi yang diperoleh telah memenuhi standar yang direkomendasikan, penggunaan jumlah titik validasi yang lebih besar berpotensi meningkatkan representativitas sampel dan mengurangi ketidakpastian hasil evaluasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah sampel validasi yang lebih banyak dan distribusi yang lebih rinci pada setiap kelas tutupan lahan untuk meningkatkan tingkat kepercayaan hasil klasifikasi.

3.2 Analisis Kebutuhan Oksigen

Analisis kebutuhan oksigen di Bandar Lampung tahun 2022 dilakukan dengan mempertimbangkan empat kelompok pengguna oksigen, yaitu penduduk, hewan ternak, kendaraan bermotor, dan sektor industri. Data penelitian diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Bandar Lampung, Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi Lampung, Badan Pengelolaan Pendapatan Daerah Provinsi Lampung, serta Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. Perhitungan kebutuhan oksigen dilakukan berdasarkan asumsi tingkat konsumsi oksigen pada masing-masing kelompok. Penduduk diasumsikan memerlukan oksigen sebesar 0,864 kg/hari per jiwa, sementara kebutuhan oksigen hewan ternak berbeda sesuai jenis ternaknya. Kendaraan bermotor membutuhkan oksigen dalam proses pembakaran bahan bakar, sedangkan sektor industri memerlukan oksigen untuk mendukung aktivitas operasional mesin produksi. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah penduduk Bandar Lampung tahun 2022 sebanyak 1.209.937 jiwa menghasilkan kebutuhan oksigen sebesar 1.045.385,6 kg/hari atau setara dengan 1.045.385.568 g/hari. Pada sektor peternakan, kebutuhan oksigen berasal dari enam jenis ternak, yaitu sapi, kerbau, kambing, kuda, domba, dan unggas, dengan total kebutuhan oksigen mencapai 23.040,11 kg/hari atau 23.040.110 g/hari. Sementara itu, sektor kendaraan bermotor menjadi pengguna oksigen terbesar dengan total kebutuhan mencapai 9.428.661,398 kg/hari atau setara dengan 9.428.661.398 g/hari. Tingginya kebutuhan oksigen pada sektor ini dipengaruhi oleh besarnya jumlah kendaraan bermotor dan tingginya mobilitas masyarakat yang masih didominasi oleh penggunaan kendaraan pribadi, suatu kondisi yang umum terjadi di kota-kota berkembang [5]. Selain menjadi konsumen oksigen terbesar, sektor transportasi juga merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara perkotaan akibat tingginya konsumsi bahan bakar fosil [38]. Oleh karena itu, upaya pemenuhan kebutuhan oksigen tidak hanya bergantung pada penyediaan ruang terbuka hijau, tetapi juga perlu didukung oleh penerapan konsep green transportation melalui penguatan transportasi publik, pengembangan jalur pejalan kaki dan sepeda, serta penggunaan kendaraan rendah emisi untuk mengurangi tekanan terhadap lingkungan perkotaan [5, 38]. Pada sektor industri, sebanyak 106 unit industri menghasilkan kebutuhan oksigen sebesar 56.314,62 kg/hari atau setara dengan 56.314.620 g/hari. Rekapitulasi kebutuhan oksigen dan kebutuhan RTH di Kota Bandar Lampung tahun 2022 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Kebutuhan oksigen Kota Bandar Lampung

No	Konsumen Oksigen	Jumlah	Kebutuhan Oksigen per Unit (Kg/Hari)	Total Kebutuhan Oksigen (Kg/Hari)
1	Penduduk	1.209.937 jiwa	0,864	1.045.385,6
2	Hewan Ternak	146.555 ekor	Bervariasi	23.040,11
3	Kendaraan Bermotor	871.471 unit	Bervariasi	9.428.661,398
4	Industri	106 unit	531,27	56.314,62
Total				**10.553.401,696**

Berdasarkan total kebutuhan oksigen tersebut, dilakukan analisis kebutuhan luas RTH menggunakan metode Gerarkis tahun 1974 yang dimodifikasi oleh Wisesa tahun 1988 dan dikembangkan kembali oleh Wijayanti tahun 2003. Metode ini digunakan untuk mengetahui kemampuan RTH dalam memenuhi kebutuhan oksigen masyarakat dan aktivitas perkotaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa total kebutuhan oksigen Kota Bandar Lampung tahun 2022 mencapai 10.553.401.696 g/hari. Dari keempat kelompok konsumen oksigen, kendaraan bermotor merupakan konsumen oksigen terbesar, sedangkan hewan ternak merupakan konsumen dengan kebutuhan oksigen paling kecil. Berdasarkan hasil perhitungan metode Gerarkis, Kota Bandar Lampung membutuhkan RTH seluas 10.423,11 ha untuk memenuhi kebutuhan oksigen, sedangkan ketersediaan RTH eksisting hanya sebesar 6.918,39 ha. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen di Kota Bandar Lampung masih belum terpenuhi dan mengalami kekurangan sebesar 3.504,72 ha (Tabel 7). Apabila mengacu pada ketentuan kebutuhan minimum RTH sebesar 30% dari total luas wilayah, maka Bandar Lampung dengan luas wilayah 18.377 ha seharusnya memiliki RTH sedikitnya 5.513,1 ha. Secara kuantitatif, luas RTH yang tersedia saat ini telah melampaui batas minimum tersebut. Akan tetapi, kondisi tersebut belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan oksigen masyarakat secara optimal. Hal ini diduga karena sebagian besar RTH di Kota Bandar Lampung terdiri atas taman kota, taman kecamatan, jalur hijau, dan area pemakaman yang didominasi vegetasi berukuran kecil, sehingga kapasitas produksi oksigennya lebih rendah dibandingkan vegetasi berupa pohon berukuran besar.

Tabel 7. Luas Ketersediaan RTH Kota Bandar Lampung

Parameter	Luas (Ha)
Kebutuhan RTH Berdasarkan Kebutuhan Oksigen	10.423,11
Ketersediaan RTH Eksisting Kota Bandar Lampung	6.918,39
Kekurangan RTH	3.504,72

Berdasarkan penelitian sebelumnya, satu batang pohon mampu menghasilkan sekitar 120 kg oksigen per tahun, sedangkan satu manusia membutuhkan sekitar 300 kg oksigen per tahun. Dengan demikian, satu manusia memerlukan sekitar 2,5 pohon untuk memenuhi kebutuhan oksigennya. Apabila satu hektar lahan mampu ditanami sekitar 500 pohon, maka jumlah penduduk sebanyak 1.209.937 jiwa membutuhkan sekitar 3.024.842 pohon atau setara dengan kebutuhan lahan seluas 6.049 ha di Kota Bandar Lampung. Oleh karena itu, peningkatan kualitas dan kuantitas RTH sangat diperlukan melalui penanaman pohon berukuran besar dan pengembangan kawasan hijau yang lebih efektif dalam menghasilkan oksigen guna menjaga keseimbangan lingkungan perkotaan.

3.3. Strategi Peningkatan Kebutuhan Oksigen

Analisis strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH dilakukan untuk menentukan prioritas kebijakan serta strategi yang paling efektif dalam meningkatkan kapasitas ekologis Bandar Lampung dalam memenuhi kebutuhan oksigen masyarakat. Analisis ini menggunakan metode AHP karena mampu menyusun urutan prioritas keputusan berdasarkan tingkat kepentingan dari berbagai kriteria dan alternatif strategi. Penerapan metode AHP dalam penelitian pengembangan RTH

dinilai efektif karena dapat mengintegrasikan aspek ekologi, sosial, ekonomi, dan kebijakan secara sistematis dalam proses pengambilan keputusan [39]. Penentuan strategi dilakukan berdasarkan hasil wawancara dan penyebaran kuesioner kepada para responden ahli yang berasal dari kalangan akademisi, pemerintah, dan praktisi lingkungan. Penelitian ini menggunakan empat aspek utama, yaitu aspek ekologi, sosial, ekonomi, dan kebijakan. Keempat aspek tersebut dipilih karena memiliki hubungan yang erat dengan keberhasilan pengembangan RTH di kawasan perkotaan [40-41]. Hasil penggabungan analisis prioritas strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil analisis AHP (Tabel 8), diperoleh urutan prioritas strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH di Kota Bandar Lampung. Nilai *Inconsistency Ratio* (IR) sebesar 0,02 menunjukkan bahwa penilaian para responden memiliki tingkat konsistensi yang baik karena berada di bawah batas yang direkomendasikan (<0,10), sehingga hasil pembobotan dinilai reliabel untuk digunakan dalam penentuan prioritas strategi [18]. Hasil analisis menunjukkan bahwa penanaman tanaman hijau merupakan strategi prioritas utama dengan bobot global sebesar 0,333.

Strategi ini dipandang sebagai alternatif yang paling efektif karena secara langsung meningkatkan kapasitas produksi oksigen sekaligus memperkuat fungsi ekologis kawasan perkotaan. Vegetasi berperan penting dalam menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis, menyerap karbon dioksida, menurunkan suhu permukaan, memperbaiki kualitas udara, serta meningkatkan kenyamanan lingkungan perkotaan [9]. Oleh karena itu, penambahan pohon berkanopi besar pada kawasan permukiman, ruang publik, dan koridor jalan menjadi langkah yang paling diprioritaskan untuk meningkatkan daya dukung ekologis Kota Bandar Lampung. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wardana dan Pujiati yang menyatakan bahwa peningkatan kualitas ekologis melalui penambahan vegetasi merupakan strategi utama dalam pengembangan ruang terbuka hijau perkotaan.

Tabel 8. Prioritas alternatif strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan analisis AHP

Peringkat	Alternatif Strategi	Bobot Global	Aspek
1	Penanaman tanaman hijau	0,333	Ekologi
2	Penyerapan air dan mengurangi banjir di kota	0,182	Ekologi
3	Meningkatkan kualitas dan kuantitas RTH setelah perencanaan	0,151	Kebijakan
4	Mengurangi polusi dan menyaring debu asap kendaraan	0,075	Ekologi
5	Membuat lingkungan lebih menarik untuk dikunjungi	0,065	Sosial
6	Pemerintah membuat kebijakan untuk pemeliharaan RTH	0,050	Kebijakan
7	Sebagai upaya meningkatkan perekonomian masyarakat	0,042	Ekonomi
8	Menyediakan tempat bermain atau olahraga agar terciptanya masyarakat yang sehat	0,038	Sosial
9	Menyediakan ruang untuk komunikasi antar individu	0,021	Sosial
10	Menyusun dan melakukan perencanaan RTH	0,019	Kebijakan
11	Sebagai upaya menarik minat wisatawan luar daerah untuk berkunjung	0,016	Ekonomi
12	Menyediakan area aktivitas ekonomi	0,009	Ekonomi
Inconsistency Ratio (IR) = 0,02			

Strategi dengan prioritas berikutnya adalah peningkatan kemampuan resapan air dan pengurangan banjir perkotaan dengan bobot global sebesar 0,182, diikuti oleh peningkatan kualitas dan kuantitas RTH setelah perencanaan sebesar 0,151. Kedua strategi tersebut menunjukkan bahwa fungsi RTH tidak hanya terbatas sebagai penyedia oksigen, tetapi juga berperan sebagai green infrastructure yang mampu meningkatkan infiltrasi air, mengurangi limpasan permukaan, serta memperbaiki kualitas lingkungan perkotaan [42, 8]. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas penyediaan oksigen perlu

diintegrasikan dengan kebijakan tata ruang dan pengelolaan lingkungan sehingga manfaat ekologis yang dihasilkan tidak hanya berupa peningkatan kualitas udara, tetapi juga peningkatan ketahanan kota terhadap permasalahan hidrologi dan perubahan iklim. Alternatif lainnya, seperti pengurangan polusi udara melalui vegetasi (0,075), peningkatan kualitas ruang publik yang lebih menarik (0,065), serta penguatan kebijakan pemeliharaan RTH (0,050), memperoleh bobot yang relatif lebih rendah, namun tetap berperan dalam mendukung keberhasilan strategi utama. Vegetasi diketahui mampu menangkap partikel debu dan polutan udara sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas udara perkotaan [9]. Di sisi lain, keberadaan ruang terbuka hijau juga memiliki fungsi sosial sebagai ruang interaksi masyarakat dan meningkatkan kualitas hidup penduduk perkotaan [43]. Sementara itu, alternatif yang berkaitan dengan aspek ekonomi, seperti peningkatan perekonomian masyarakat (0,042), pengembangan wisata hijau (0,016), dan penyediaan area aktivitas ekonomi (0,009), memperoleh bobot yang relatif lebih kecil. Hasil ini mengindikasikan bahwa para responden lebih memprioritaskan fungsi ekologis dibandingkan fungsi ekonomi dalam upaya meningkatkan kapasitas penyediaan oksigen di Kota Bandar Lampung. Meskipun demikian, aspek ekonomi tetap memiliki peran sebagai manfaat tambahan dari pengembangan RTH, misalnya melalui peningkatan nilai estetika kawasan, pengembangan wisata perkotaan, dan peningkatan aktivitas ekonomi masyarakat sekitar ruang terbuka hijau. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi peningkatan kebutuhan oksigen di Kota Bandar Lampung perlu difokuskan pada penguatan fungsi ekologis ruang terbuka hijau melalui penambahan vegetasi, peningkatan kualitas RTH, serta penguatan kebijakan perlindungan dan pengelolaannya. Pendekatan tersebut tidak hanya berpotensi meningkatkan produksi oksigen, tetapi juga memberikan berbagai manfaat ekologis lainnya, seperti memperbaiki kualitas udara, mengurangi risiko banjir, menurunkan suhu permukaan perkotaan, serta meningkatkan kualitas lingkungan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan RTH perlu diintegrasikan ke dalam kebijakan tata ruang kota sebagai bagian dari strategi pembangunan perkotaan berkelanjutan dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, kebutuhan RTH berdasarkan kebutuhan oksigen di Bandar Lampung tahun 2022 masih belum dapat terpenuhi. Total kebutuhan oksigen yang berasal dari penduduk, hewan ternak, kendaraan bermotor, dan sektor industri mencapai 10.553.401.696 g/hari. Oleh karena itu, diperlukan luas RTH sekitar 10.423,11 ha untuk memenuhi kebutuhan oksigen tersebut. Namun, kondisi RTH eksisting di Bandar Lampung belum mampu memenuhi kebutuhan oksigen secara optimal. Hal ini diduga karena sebagian besar RTH yang tersedia berupa taman kota, taman kecamatan, pemakaman, dan jalur hijau yang didominasi oleh vegetasi atau pohon berukuran kecil, sehingga kapasitas produksi oksigennya lebih rendah dibandingkan pohon berukuran besar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan RTH di Kota Bandar Lampung tidak hanya berkaitan dengan kuantitas luas lahan hijau, tetapi juga kualitas vegetasi yang terdapat di dalamnya. Hasil analisis strategi peningkatan kebutuhan oksigen berdasarkan ketersediaan RTH menunjukkan bahwa aspek ekologi menjadi prioritas utama dalam upaya peningkatan kapasitas oksigen kota. Strategi alternatif yang direkomendasikan adalah meningkatkan kualitas vegetasi melalui penanaman tanaman hijau, khususnya pohon-pohon berukuran besar yang memiliki kemampuan produksi oksigen lebih tinggi. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan menanam pohon besar maupun mengganti vegetasi kecil yang kurang optimal pada berbagai kawasan RTH seperti taman kota, trotoar, jalur hijau pinggir jalan, dan ruang terbuka lainnya. Peningkatan kualitas vegetasi diharapkan mampu meningkatkan kapasitas produksi oksigen, memperbaiki kualitas lingkungan perkotaan, serta mendukung keseimbangan ekologis Kota Bandar Lampung. Selain memberikan manfaat ekologis berupa peningkatan kualitas udara dan penurunan polusi, peningkatan

ketersediaan oksigen juga dapat menciptakan lingkungan yang lebih sehat bagi masyarakat serta mendukung aktivitas ekonomi dan industri yang bergantung pada ketersediaan oksigen secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Fang, X., Li, J., & Ma, Q. (2023). Integrating green infrastructure, ecosystem services and nature-based solutions for urban sustainability: A comprehensive literature review. Sustainable Cities and Society, 98, 104843. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104843

[2] Herath, P., & Bai, X. (2024). Benefits and co-benefits of urban green infrastructure for sustainable cities: Six current and emerging themes. Sustainability Science, 19, 1039–1063. https://doi.org/10.1007/s11625-024-01475-9

[3] Perrelet, K., Moretti, M., Dietzel, A., Altermatt, F., & Cook, L. M. (2024). Engineering blue-green infrastructure for and with biodiversity in cities. npj Urban Sustainability, 4, Article 27. https://doi.org/10.1038/s42949-024-00163-y

[4] Seto, K.C., Güneralp, B., and Hutyra, L.R., (2012). "Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), pp. 16083–16088.

[5] UN-Habitat, (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization*, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi.

[6] Lambin, E.F., and Meyfroidt, P., (2011). "Global Land Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), pp. 3465–3472.

[7] Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., et al., (2005). "Global Consequences of Land Use," *Science*, 309(5734), pp. 570–574.

[8] Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., et al., (2007). "Promoting Ecosystem and Human Health in Urban Areas Using Green Infrastructure," *Landscape and Urban Planning*, 81(3), pp. 167–178.

[9] Nowak, D.J., Crane, D.E., and Stevens, J.C., (2006). "Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States," *Urban Forestry and Urban Greening*, 4(3–4), pp. 115–123.

[10] Grey, G.W., and Deneke, F.J., (1978). *Urban Forestry*, John Wiley and Sons, New York.

[11] Escobedo, F.J., and Nowak, D.J., (2009). "Spatial Heterogeneity and Air Pollution Removal by an Urban Forest," *Landscape and Urban Planning*, 90(3–4), pp. 102–110.

[12] World Health Organization, (2016). *Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease*, WHO Press, Geneva.

[13] Nugroho, A., (2013). *Ruang Terbuka Hijau dan Permasalahan Perkotaan*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

[14] Kurniawan, R., Sitorus, S.R.P., dan Pravitasari, A.E., (2018). "Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Kebutuhan Oksigen di Kawasan Perkotaan," *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 6(2), pp. 87–98.

[15] Dahlan, E.N., (2007). *Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Kebutuhan Oksigen Kota*, IPB Press, Bogor.

[16] Qihao Weng, (2012). *Remote Sensing of Impervious Surfaces in the Urban Areas: Requirements, Methods, and Trends*, CRC Press, Boca Raton.

[17] Jensen, J.R., (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 4th ed., Pearson Education, New York.

[18] Thomas L. Saaty, (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

[19] Malczewski, J., (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons, New York.

[20] Li, X., Zhou, W., and Ouyang, Z., (2015). "Relationship between Urban Landscape Pattern and Land Surface Temperature," *Ecological Indicators*, 48, pp. 637–646.

[21] Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., and Yin, Z.Y., (2010). "Remote Sensing Image-Based Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes," *Remote Sensing of Environment*, 104(2), pp. 133–146.
[22] Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W., (1974). "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS," *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, NASA SP-351, pp. 309–317.
[23] Tucker, C.J., (1979). "Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation," *Remote Sensing of Environment*, 8(2), pp. 127–150.
[24] Irawan, A., dan Malau, K., (2016). "Analisis Ruang Terbuka Hijau Menggunakan NDVI," *Jurnal Geodesi Indonesia*, 5(1), pp. 45–53.
[25] Septiani, D., Siregar, V.P., dan Prasetyo, L.B., (2019). "Pemetaan Kerapatan Vegetasi Menggunakan NDVI," *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 16(2), pp. 77–85.
[26] Congalton, R. G., & Green, K. (2019). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429052729
[27] Sampurno, R.M., dan Thoriq, A., (2016). "Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat," *Jurnal Teknik Geodesi dan Geomatika*, 12(1), pp. 33–41.
[28] Muis, A., (2005). *Teknik Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*, Andi Offset, Yogyakarta.
[29] Forman, E. H., & Gass, S. I. (2001). The Analytic Hierarchy Process—An exposition. Operations Research, 49(4), 469–486. https://doi.org/10.1287/opre.49.4.469.11231
[30] Aly, S., & Vrana, I. (2008). Evaluating the knowledge, relevance and experience of expert decision makers utilizing the Fuzzy-AHP. Agricultural Economics (Czech), 54(11), 529–535. https://doi.org/10.17221/264-AGRICECON
[31] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2008). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan*, Jakarta.
[32] Pemerintah Republik Indonesia, (2007). *Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*, Jakarta.
[33] Badan Standardisasi Nasional, (2014). *SNI 7645:2014 Klasifikasi Penutup Lahan*, BSN, Jakarta.
[34] Hernawati, R., dan Darmawan, A., (2018). "Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Kota," *Jurnal Planologi*, 15(2), pp. 101–110.
[35] Lu, D., and Weng, Q., (2007). "A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance," *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), pp. 823–870.
[36] Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., et al., (2005). "Using the Satellite-Derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change," *Trends in Ecology and Evolution*, 20(9), pp. 503–510.
[37] Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., et al., (2015). "Habitat Fragmentation and Its Lasting Impact on Earth's Ecosystems," *Science Advances*, 1(2), pp. 1–9.
[38] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926
[39] Wardana, A., dan Pujiati, A., (2018). "Evaluasi Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Kebutuhan Oksigen," *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(1), pp. 55–64.
[40] Humaida, N., (2016). *Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Perkotaan Berkelanjutan*, Deepublish, Yogyakarta.
[41] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2008). *Pedoman Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan*, Jakarta.

[42] Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133.
[43] Chiesura, A. (2004). The role of urban parks for the sustainable city. Landscape and Urban Planning, 68(1), 129–138. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003