

ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU BERBASIS CITRA SPOT-7 BERDASARKAN KETERSEDIAAN OKSIGEN PENDUDUK DI KECAMATAN BOGOR TENGAH KOTA BOGOR

(Analysis of Green Open Space Requirements Based on Spot-7 Imagery in Relation to Oxygen Availability for Residents in Central Bogor District, Bogor City)

Munawaroh^{1,2}, Nurul Astuti², Galih Citra Yogyanti²

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Magister Penginderaan Jauh Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

KST Soekarno Cibinong, Jalan Raya Bogor Km 46 Cibinong, Kab. Bogor 16911

Email: munawaroh@brin.go.id

ABSTRAK

Ruang terbuka hijau (RTH) memiliki jasa lingkungan yang salah satunya adalah sebagai produsen oksigen. Studi ini mengevaluasi kebutuhan RTH di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, berdasarkan kebutuhan oksigen penduduk. Cita SPOT-7 digunakan untuk identifikasi RTH di area penelitian. Metode alometri dan regresi digunakan untuk estimasi stok karbon dan estimasi oksigen yang dapat diproduksi oleh RTH. Dengan menggunakan proyeksi jumlah penduduk dan data kebutuhan oksigen di kota, analisis tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan oksigen penduduk setara dengan luas RTH yang diperlukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan RTH di Kota Bogor diperkirakan mencapai 204,92 Ha untuk memenuhi kebutuhan oksigen penduduk. Studi ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang pentingnya RTH dalam menjaga kualitas udara dan kesejahteraan penduduk kota. Implikasi kebijakan yang relevan termasuk peningkatan perlindungan dan pengembangan RTH guna memenuhi kebutuhan oksigen yang berkaitan dengan pertumbuhan populasi di Kota Bogor.

Kata kunci: ruang terbuka hijau, RTH, SPOT-7, kebutuhan oksigen, Kota Bogor

ABSTRACT

Green open space (GOP) has environmental services, one of which is as an oxygen producer. This study evaluates the need for GOP in Bogor Tengah District, Bogor City, based on the population's oxygen needs. SPOT-7 imagery is used to identify GOP in the research area. Allometry and regression methods are used to estimate carbon stocks and estimate oxygen that can be produced by GOP. By using population projections and data on oxygen needs in the city, the analysis shows that the population's oxygen needs are equivalent to the area of open green space required. The research results show that the need for GOP in Bogor City is estimated to reach 204.92 Ha to meet the population's oxygen needs. This study provides an in-depth understanding of the importance of GOP in maintaining air quality and the welfare of city residents. Relevant policy implications include increasing the protection and development of GOP to meet oxygen needs related to population growth in Bogor Tengah District, Bogor City.

Keywords: green open space, RTH, SPOT-7, oxygen needs, Bogor City

PENDAHULUAN

Kota Bogor merupakan salah satu kota yang secara administratif berada di Jawa Barat dengan luas wilayah sebesar 11.850 Ha terdiri dari 6 kecamatan dan 68 kelurahan. Secara geografis Kota Bogor terletak di antara 6° 36' 0" LS, 106° 48' 0" BT. Kedudukan geografis Kota Bogor di tengah-tengah wilayah Kabupaten Bogor serta lokasinya sangat dekat dengan Ibukota Negara, sehingga Kota Bogor memiliki potensi yang strategis bagi perkembangan dan pertumbuhan ekonomi dan jasa, pusat kegiatan nasional untuk industri, perdagangan, transportasi, komunikasi, dan pariwisata. Adanya ketidakseimbangan dalam pertumbuhan penduduk, pembangunan, dan laju ekonomi terhadap ketersediaan ruang terbuka hijau sebagai penghasil ketersediaan oksigen sangat berpengaruh. RTH sangat dibutuhkan dalam suatu wilayah untuk menstabilkan iklim serta

suhu. Menurut Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, proporsi RTH pada wilayah perkotaan paling sedikit 30% dari luas wilayah keseluruhan.

Kecamatan Bogor Tengah merupakan kawasan terpusat dari 6 Kecamatan lainnya, memiliki kepadatan penduduk tinggi, dan 80% penutup lahan berupa area terbangun (Ananda & Ihsani, 2021). Aktivitas penduduk (transportasi) tinggi menghasilkan emisi gas CO_x dan NO_x tinggi yang dapat mempengaruhi kesehatan penduduk (Rinjani *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Astuti *et al.*, 2018) mengenai luasan RTH Kota Bogor, maka diketahui luasan RTH eksisting sebesar 1.199,42 Ha. RTH tersebut belum memenuhi kriteria 30% dari luas wilayah seluruhnya, luas RTH eksisting tersebut hanya 10,12%. Suplai oksigen yang dihasilkan dari RTH yang ada di Kota Bogor setiap harinya sebesar 607,21 Ton/hari. Sedangkan dari perhitungan kebutuhan oksigen di Kota Bogor setiap harinya memerlukan 3.109,21 Ton/hari. Dari hasil tersebut suplai oksigen yang dihasilkan sangat tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan oksigen di Kota Bogor. Kecamatan Bogor Tengah merupakan salah satu kecamatan di Kota Bogor dengan luas 851 Ha dan berpenduduk sekitar 96.258 jiwa (BPS, 2021). Penggunaan lahan di kecamatan Bogor Tengah sebagian besar yaitu perumahan/pemukiman seluas 524,24 Ha, bangunan umum (Kantor dan pertokoan) seluas 15,61 Ha, pemakaman 2,95 Ha, untuk lahan pertanian 0,45 Ha, dan lain lain. Kecamatan Bogor Tengah yang menjadi pusat kota memiliki RTH publik berupa Kebun Raya Bogor (KRB), Taman Kota, Jalur Hijau, dan beberapa RTH yang bersifat private (Novita, 2015). Oleh karena itu, diperlukan perhitungan mengenai kebutuhan RTH yang dapat dilakukan dengan teknik analisis data menggunakan metode statistik deskriptif. Statistik deskriptif digunakan untuk membantu memaparkan keadaan yang sebenarnya dari satu sampel penelitian.

Data penginderaan jauh dan SIG dapat digunakan untuk analisis kebutuhan dan ketersediaan oksigen untuk penduduk dari penggunaan lahan yang dikelaskan menjadi RTH. dalam penginderaan jauh sendiri satuan pengamatan terkecil adalah piksel, sehingga dalam satuan piksel tertentu yang memiliki beberapa tutupan lahan akan dikelaskan pada rata rata tutupan lahan yang mendominasi. Zylshal *et al.* (2016) melakukan kombinasi analisis visual dan digital untuk klasifikasi tutupan lahan dengan pemanfaatan transformasi citra berupa indeks Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), dan Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) diturunkan dari citra untuk membantu proses klasifikasi. Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga (2018) juga pemanfaatan transformasi Indeks untuk melihat persebaran RTH dapat menampilkan informasi ketersediaan RTH eksisting dan metode gerakis dapat di analisis kebutuhan RTH berdasarkan konsumsi oksigen. Sehingga data tersebut dapat dibandingkan untuk melihat kesesuaian kebutuhan RTH sesuai dengan permen PU No. 5 Tahun 2008. dalam penelitian lain Du *et al.* (2017) mencoba mencari faktor dampak GCI (Green Space cool island) dengan mencakup banyak variabel baik dari dalam maupun di sekitar ruang terbuka hijau dan indikator GCI mencakup tidak hanya GR (GCI Range), tetapi juga amplitudo dan gradien penurunan suhu.

Pemanfaatan penginderaan jauh resolusi tinggi juga dapat memberikan informasi lebih detail untuk memisahkan RTH, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh (Gupta *et al.*, 2012) menggunakan LISS-IV yang merupakan sensor resolusi tinggi multispektral, dengan resolusi spasial 5,8 m pada titik nadir dan beroperasi dalam tiga spektrum band dan Cartosat-2 adalah satelit kartografi sinkron matahari kutub yang diluncurkan oleh Indian Space Research Organization (ISRO). Cartosat-2 memiliki keunggulan resolusi tinggi kurang dari 1 m dan pengulangan 5 hari. Penggunaan dua set data yang dikombinasi dapat memberikan manfaat dari resolusi spasial multispektral dan tinggi dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Penelitiannya mudah diterapkan dan berbagai parameter yang disertakan mudah ditafsirkan dan dipahami oleh perencana kota dan administrator kota. Namun Cartosat-2 tidak dapat digunakan dengan citra lain yang memiliki resolusi sensor berbeda, dan Cartosat sulit diakses. Fitriana *et al.* (2019) menggunakan citra satelit landsat 8 dan SPOT 6 yang sangat efektif untuk mengklasifikasikan tutupan vegetasi berdasarkan NDVI.

Keunggulan pemanfaatan citra SPOT selain resolusi temporal yang relatif pendek sehingga menyediakan informasi berkala yang lebih banyak, adalah ketersediaannya yang mencakup wilayah regional, nasional, kontinental, maupun global. SPOT dikembangkan untuk mengatasi

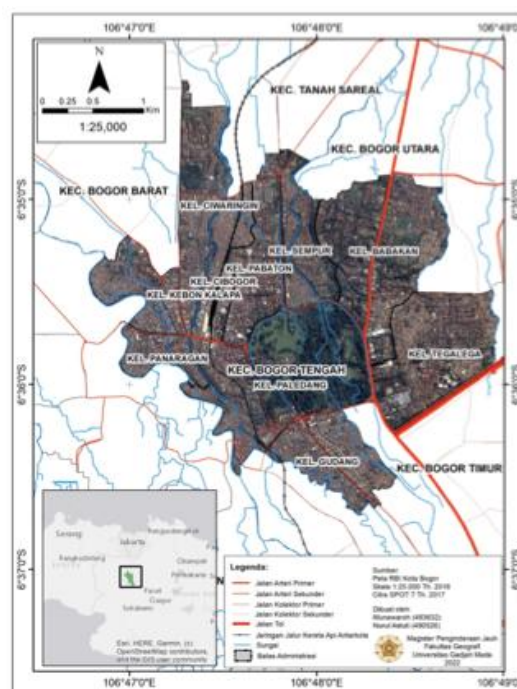
masalah yang berkaitan dengan perubahan musim dan kondisi alam yang sangat bervariasi. Sehingga mampu mempelajari, memantau, meramalkan dan mengelola sumber daya alam dan aktivitas manusia, dengan resolusi spasial yang lebih detail dapat digunakan untuk klasifikasi berbagai jenis tutupan lahan dengan penekanan khusus pada tutupan vegetasi dengan kerapatan jarang dan efektif untuk monitoring distribusi dan pertumbuhan tanaman tertentu (Xie *et al.*, 2008).

Data yang digunakan dalam penelitian ini memanfaatkan citra resolusi tinggi SPOT 7 dengan tujuan identifikasi area terbuka hijau berdasarkan transformasi indeks menggunakan citra penginderaan jauh di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor dan juga analisis kebutuhan RTH Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor berdasarkan ketersediaan oksigen dengan metode alometrik non destruktif. Teknologi penginderaan jauh dan SIG diharapkan dapat menjadi salah satu cara yang efektif untuk mengetahui stok karbon pada tegakan ruang terbuka hijau dengan persamaan alometrik dari hasil pengukuran biomassa di lapangan. Kandungan karbon yang tersimpan pada RTH berbasis tegakan (standing green open space) dapat ditentukan dengan menghitung biomassa vegetasi. Perhitungan nilai biomassa berbasis lapangan diperoleh dengan menggunakan persamaan alometrik yang kemudian dikonversi menjadi jumlah oksigen untuk menentukan nilai pasokan oksigen yang dihasilkan oleh ruang terbuka hijau yang sebenarnya. Namun dalam penggunaan persamaan allometrik disesuaikan dengan zona dan kondisi di daerah penelitian (Permatasari *et al.*, 2023).

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini diambil di wilayah kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor. Secara geografis Kecamatan Bogor Tengah terletak di antara 106° 46' - 106° 49' BT dan 6° 34' - 6° 37' LS dengan luas wilayah 836.66 Ha dan berpenduduk sekitar 90.321 jiwa (**Gambar 1**). Terletak sebagai kawasan sentral di antara lima kecamatan lainnya, Bogor Tengah berfungsi sebagai pusat transportasi utama dalam kota. Kecamatan ini memiliki ciri kepadatan penduduk yang tinggi karena lokasinya yang strategis dan dekat dengan pusat transportasi utama. Kecamatan Bogor Tengah memiliki Kebun Raya Bogor yang berperan penting sebagai ruang terbuka hijau di tengah kota Bogor. Sebagai salah satu kebun raya tertua di dunia, Kebun Raya Bogor tidak hanya berfungsi sebagai tempat konservasi dan penelitian flora yang kaya, tetapi juga sebagai tujuan rekreasi bagi penduduk setempat dan wisatawan.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Kecamatan Bogor Tengah.

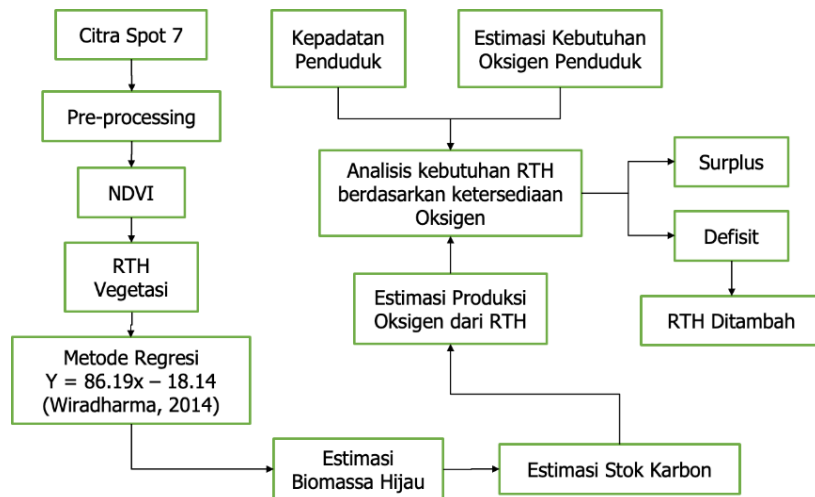
Ruang terbuka hijau ini memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk bersantai, berolahraga, dan menikmati alam dalam suasana yang sejuk dan asri. Selain itu, Kebun Raya Bogor juga memiliki nilai edukasi yang tinggi, menyediakan sarana bagi pendidikan dan penelitian di bidang botani dan lingkungan. Dengan demikian, Kebun Raya Bogor di Kecamatan Bogor Tengah tidak hanya menjadi landmark penting dalam sejarah dan budaya kota Bogor, tetapi juga memainkan peran vital dalam menjaga keseimbangan ekosistem perkotaan dan kualitas hidup warga Bogor.

Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan citra Citra SPOT 7 Multispektral Tahun 2017 dengan spesifikasi resolusi spasial Band Multispectral 6 meter dan band Pansharp 1.5 meter. Selain itu digunakan juga Peta Rupa Bumi Kota Bogor Tahun 2016 skala 1:25.000 dari Badan Informasi Geospasial dan Kota Bogor dalam angka Tahun 2018 dari Badan Pusat Statistik.

Metode Analisis

Terdapat beberapa tahapan analisis data pada penelitian ini yang dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Identifikasi RTH Vegetasi

Identifikasi RTH vegetasi dilakukan menggunakan indeks vegetasi. *Indeks Vegetasi Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) adalah indeks yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengukur kepadatan dan kesehatan vegetasi. NDVI dihitung dari perbedaan antara *band* inframerah dekat (yang dipantulkan oleh vegetasi) dan *band* merah (yang diserap oleh vegetasi). NDVI memberikan informasi tentang jumlah dan kualitas vegetasi di suatu tempat, membantu dalam identifikasi penutup lahan vegetasi dan non vegetasi. Nilai NDVI berkisar dari -1 hingga 1, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan vegetasi yang lebih sehat dan lebih padat, sementara nilai yang lebih rendah menunjukkan area yang kurang bervegetasi atau tubuh air. Adapun persamaan NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \dots\dots\dots (1)$$

Di mana:

NIR: band inframerah dekat

RED: band merah

Estimasi Stok Karbon dan Ketersediaan Oksigen

Biomassa adalah total jumlah materi hidup diatas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan sebagai satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997 dalam Wiradharma,

2014). Kandungan biomassa hijau dengan nilai indeks vegetasi (NDVI) di Kota Bogor berkorelasi sebesar 0.689. Estimasi biomassa hijau dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wiradharma, 2014):

$$Y = 86,19x-18,14 \dots\dots\dots (2)$$

Di mana:

X: Nilai NDVI

Y: Kandungan Biomassa

Estimasi Stok Karbon (SNI 7724:2011)

Estimasi stok karbon adalah proses pengukuran atau perhitungan jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu ekosistem tertentu, dimana dalam penelitian ini adalah RTH vegetasi. Estimasi stok karbon melibatkan penilaian biomassa vegetasi untuk menentukan jumlah karbon yang disimpan di atas permukaan. Adapun perhitungan karbon dari biomassa berdasarkan SNI 7724:2011 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Cb = B \times \%C \text{ organik} \dots\dots\dots (3)$$

Di mana:

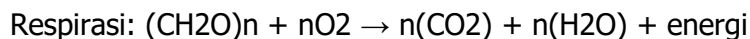
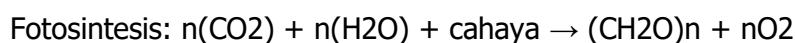
Cb adalah kandungan karbon dari biomassa, dinyatakan dalam kilogram (kg);

B: Total Biomassa dalam Kg; dan

%C organik: 0.47

Estimasi Produksi Oksigen

Produksi oksigen netto oleh vegetasi didasarkan pada jumlah oksigen yang dihasilkan selama fotosintesis dikurangi jumlah oksigen yang dikonsumsi selama respirasi tanaman (Salisbury dan Ross 1978):



di mana n adalah jumlah unit (dalam bentuk mol) dari molekul tertentu yang bereaksi atau dihasilkan dalam proses fotosintesis dan respirasi.

Jika penyerapan karbon dioksida selama fotosintesis melebihi pelepasan karbon dioksida melalui respirasi sepanjang tahun, maka vegetasi akan mengakumulasi karbon (menyerap karbon). Sehingga, vegetasi yang mempunyai akumulasi net karbon selama satu tahun (pertumbuhan pohon) juga mempunyai produksi net oksigen (Nowak, et al., 2007). Jumlah oksigen yang dihasilkan diperkirakan dari penyerapan karbon berdasarkan berat atom pada persamaan sebagai berikut:

$$\text{Produksi oksigen bersih (kg/tahun)} = \text{cadangan karbon bersih (kg/tahun)} \times 32/12 \dots\dots (4)$$

Estimasi Kebutuhan Oksigen Penduduk

Untuk menghitung kebutuhan oksigen total (dalam kg per hari) untuk populasi pada waktu tertentu t, Anda perlu mengalikan jumlah penduduk (Pt) dengan rata-rata kebutuhan oksigen per orang per hari, yaitu 0.864 kg/hari/orang.

$$\text{Kebutuhan Oksigen Penduduk: } X_t = P_t \times 0.864 \text{ kg/hari/orang (Hill, J. R., 1959)} \dots\dots (5)$$

Di mana:

Xt: Kebutuhan oksigen total per hari (dalam kg) untuk populasi pada waktu tertentu t

Pt: Jumlah penduduk pada waktu tertentu t (dalam satuan orang)

Neraca Oksigen

Dengan asumsi bahwa ekosistem perkotaan adalah sistem yang sepenuhnya tertutup, maka pendekatan neraca oksigen dihitung untuk melihat pemenuhan kebutuhan oksigen perkotaan dapat dipenuhi atau tidak dari adanya RTH. Adapun persamaan untuk menghitung neraca oksigen adalah sebagai berikut:

$$\text{Neraca Oksigen} = \text{Ketersediaan O}_2 - \text{Kebutuhan O}_2 \dots\dots\dots(6)$$

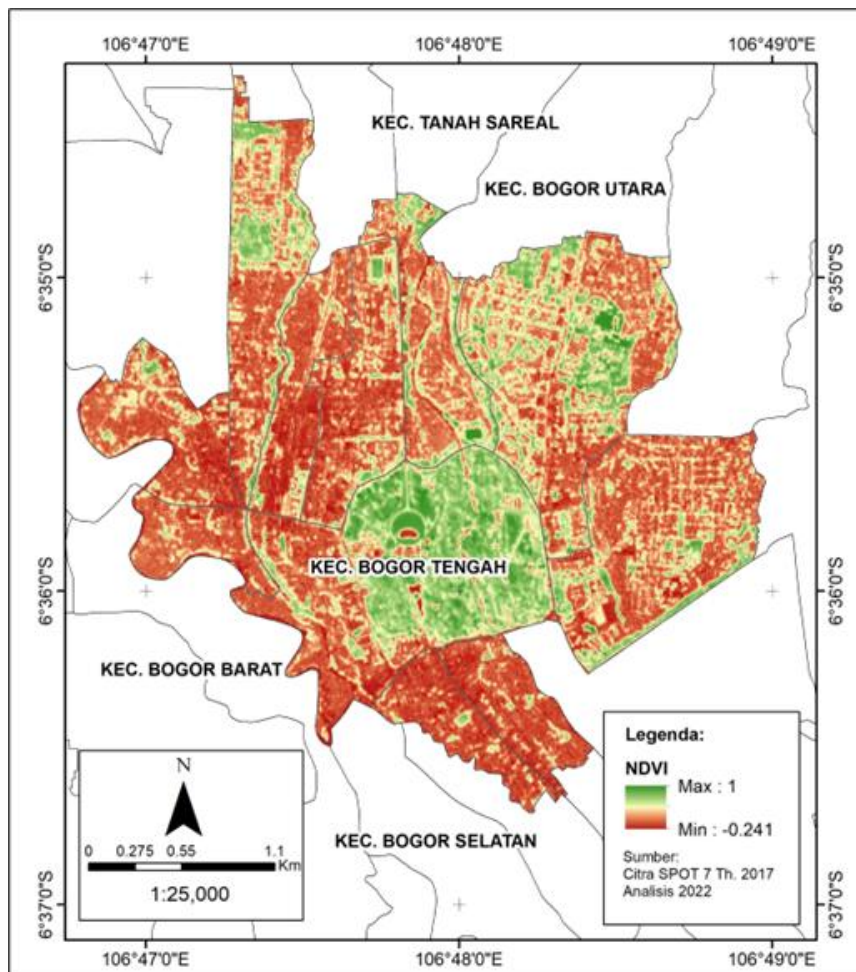
Di mana:

Jika Neraca Oksigen (-) maka perlu ditambah luasan RTH

Jika Neraca Oksigen (+) maka perlu dioptimalkan fungsi RTH yang ada

HASIL DAN PEMBAHASAN

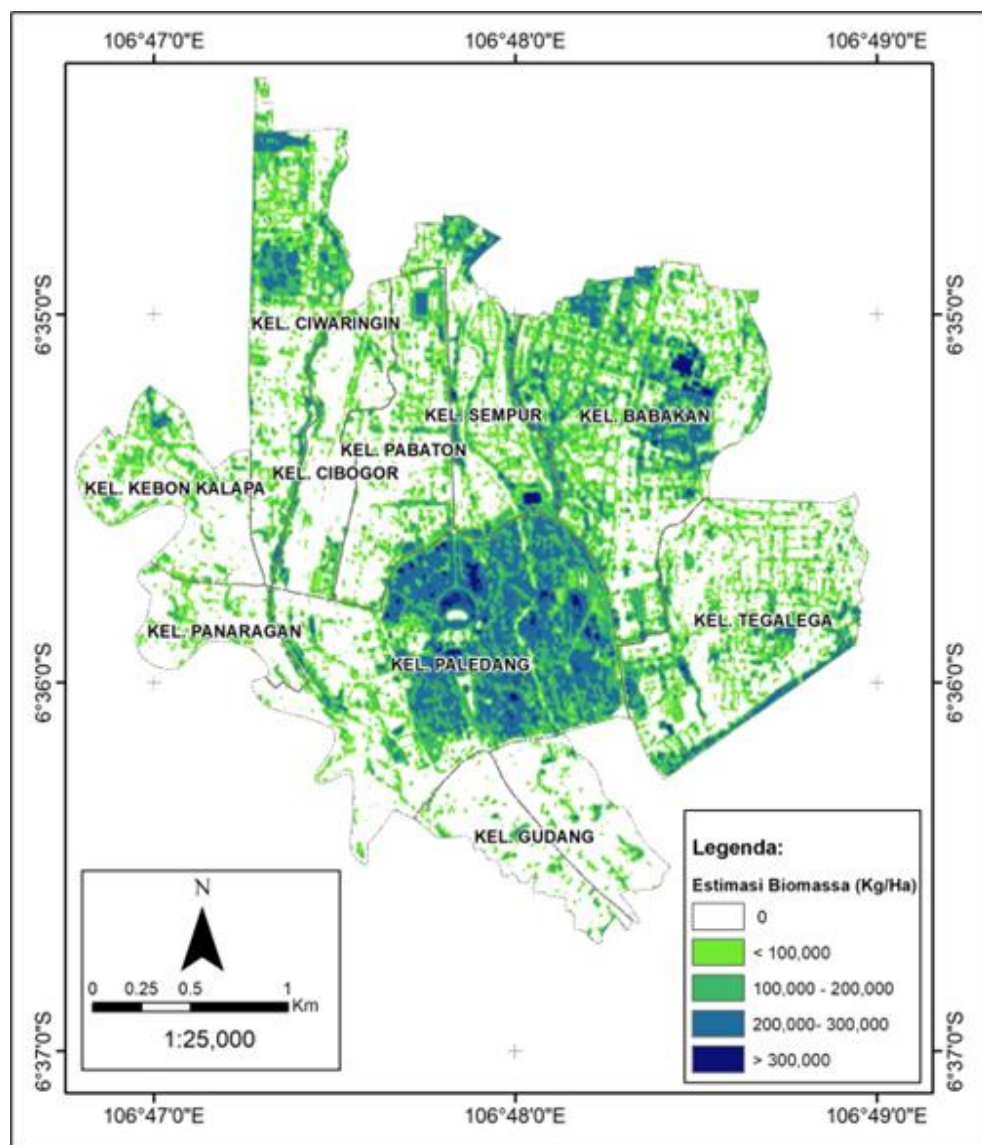
Identifikasi area terbuka hijau pada lokasi kajian di Kecamatan Bogor Tengah memanfaatkan citra SPOT-7 dengan terlebih dahulu melakukan proses *pre-processing*. Identifikasi area vegetasi menggunakan analisa transformasi indeks yakni dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Hal ini diterapkan guna membedakan objek vegetasi dan non vegetasi secara detail dan pola persebarannya. Pada sebuah penelitian yang telah dilakukan oleh Munawaroh *et al.*, (2023) menyebutkan NDVI lebih responsif terhadap jumlah vegetasi, sehingga faktor biofisik yang diperhitungkan tidak hanya diameter pada ketinggian dada atau *diameter at breast height* (DBH), tetapi juga kepadatan daun, baik dalam dimensi vertikal maupun horizontal. Hasil identifikasi menggunakan NDVI menunjukkan pola persebaran vegetasi yang lebih luas berada pada area kajian Kebun Raya Bogor dengan luas mencapai 96,07 Ha dan pola sebaran vegetasi lainnya yang lebih kecil bernilai NDVI >0.5. Secara keseluruhan proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) vegetasi diperoleh sebanyak 24% dari total luas lokasi kajian 813 Ha. **Gambar 3** memuat hasil sebaran interpretasi vegetasi menggunakan NDVI.



Gambar 3. Identifikasi RTH menggunakan indeks vegetasi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui persebaran vegetasi pada lokasi penelitian. Rentang nilai NDVI yang diperoleh berkisar -0,241 hingga 1, piksel dengan nilai mendekati angka 1 menunjukkan daerah bervegetasi lebat yang digambarkan dengan warna hijau. Sebaliknya, pada piksel dengan nilai mendekati -0,241 menunjukkan daerah minim vegetasi yang ditandai dengan warna merah. Kawasan dengan kerapatan dan persentase vegetasi tinggi didominasi pada RTH Kebun Raya dan diikuti pada area timur laut lokasi penelitian serta tersebar di beberapa wilayah lain. Kerapatan dan persentase tutupan vegetasi pada lokasi penelitian menjadi unsur penting dalam pendugaan biomassa pada suatu wilayah. Semakin tinggi tingkat kerapatan dan persentase vegetasi pada suatu wilayah, maka akan memberikan rona hijau yang lebih tinggi pada peta dan memberikan gambaran pada potensi biomassa yang tinggi.

Pendugaan biomassa pada penelitian ini menggunakan persamaan allometric non-destructive yakni teknik analisa biomassa vegetasi tanpa merusak objek yang diteliti. Persamaan ini dibangun menggunakan pendekatan diameter batang dan tinggi pohon. Diperlukan nilai NDVI sebagai variabel X untuk mendapatkan estimasi biomassa hijau. Kandungan biomassa sangat penting sebagai media penyerapan karbon dioksida pada wilayah sekitar (Wiradharma, 2014). Hasil perhitungan estimasi biomassa pada lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4**.

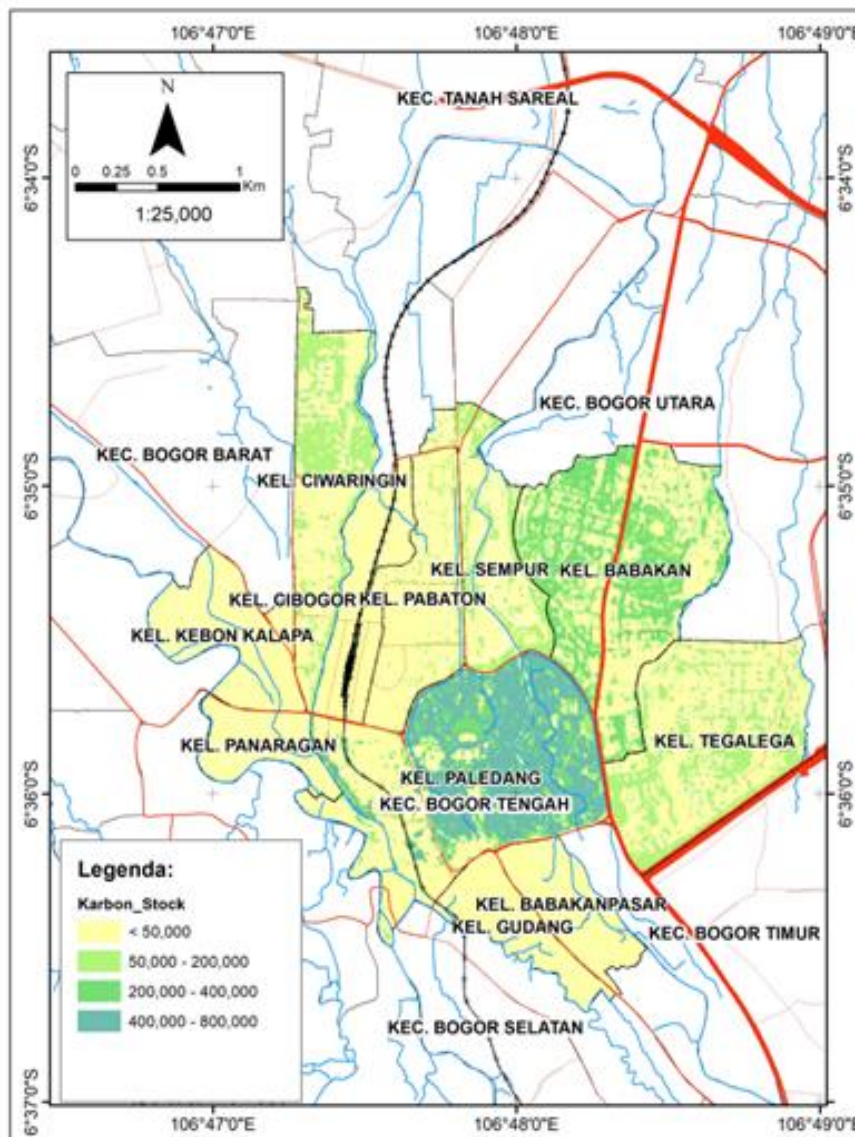


Gambar 4. Estimasi biomassa menggunakan metode allometric.

Berdasarkan pola spasial estimasi biomassa pada Kecamatan Bogor Tengah (**Gambar 4**) rentang nilai biomassa yang diperoleh ialah berkisar 0 Kg/Ha sampai dengan > 300.000 Kg/Ha. Biomassa tinggi didominasi pada area Kebun Raya Bogor, mengingat area tersebut merupakan

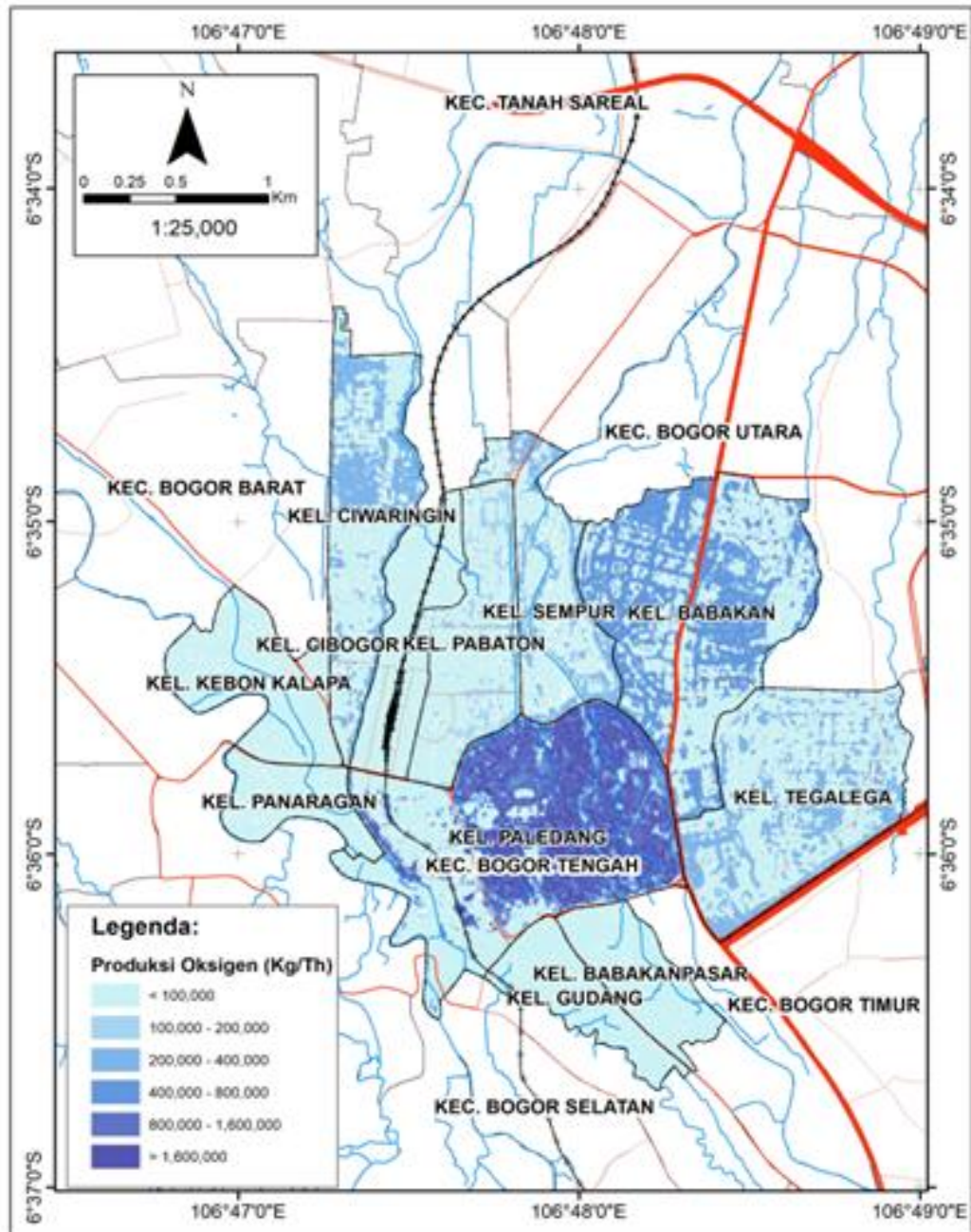
wilayah konservasi yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi pohon berkayu dan memiliki kerapatan serta persentase vegetasi tinggi. Besarnya biomassa erat kaitannya dengan kerapatan pohon dan besarnya diameter batang pohon. Semakin besar diameter tumbuhan maka semakin besar juga biomasanya, demikian sebaliknya (Rahayu, 2007). Pada penelitian yang telah dilakukan Rahmatika *et al.*, (2023) menyebutkan bahwa spesies juga mempengaruhi biomassa yang dihasilkan karena spesies yang berbeda memiliki diameter batang dan struktur daun yang berbeda. Tegakan dengan diameter besar dan kelimpahan yang tinggi akan menghasilkan biomassa yang tinggi pula, begitu juga sebaliknya. Hal ini didukung oleh (Yamani, 2013) menyatakan bahwa kandungan biomassa terbesar adalah pada tingkat pohon atau tegakan yang memiliki diameter >20 cm.

Hasil pendugaan biomassa hijau yang telah diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan estimasi stok karbon. Stok karbon dapat meliputi stok karbon atas permukaan tanah, bawah permukaan tanah dan stok karbon lainnya (Rahayu, 2007). dalam penelitian ini melakukan estimasi stok karbon pada atas permukaan tanah yang meliputi tutupan lahan berupa vegetasi. Estimasi stok karbon dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan yang merujuk pada SNI 7724:2011 pada **Persamaan 3**. Perhitungan estimasi karbon berbanding lurus dengan nilai biomassa, dimana semakin besar nilai biomassa suatu vegetasi maka akan menghasilkan nilai stok karbon yang besar juga. **Gambar 5** menampilkan sebaran stok karbon pada lokasi penelitian di Kecamatan Bogor Tengah.



Gambar 5. Estimasi stok karbon di Kecamatan Bogor Tengah.

Berdasarkan **Gambar 5** diperoleh rentang nilai karbon pada Kecamatan Bogor Tengah berkisar < 50.000 kg sampai dengan 800.000 kg. Karbon stok tertinggi berada pada area Kebun Raya dengan rentang nilai berkisar 400.000 kg sampai dengan 800.000 kg. Nilai kandungan karbon tersebut terkait dengan sekitar 47% dari total kandungan biomassa. Jumlah karbon yang terikat dalam suatu tanaman dapat mencerminkan kemampuan tanaman tersebut dalam menyerap gas CO₂ dari atmosfer. Dengan mengetahui estimasi karbon maka estimasi produksi oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah dapat diperoleh menggunakan **Persamaan 4**. Hasil perhitungan dan pola spasial produksi oksigen tersaji pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Estimasi produksi oksigen.

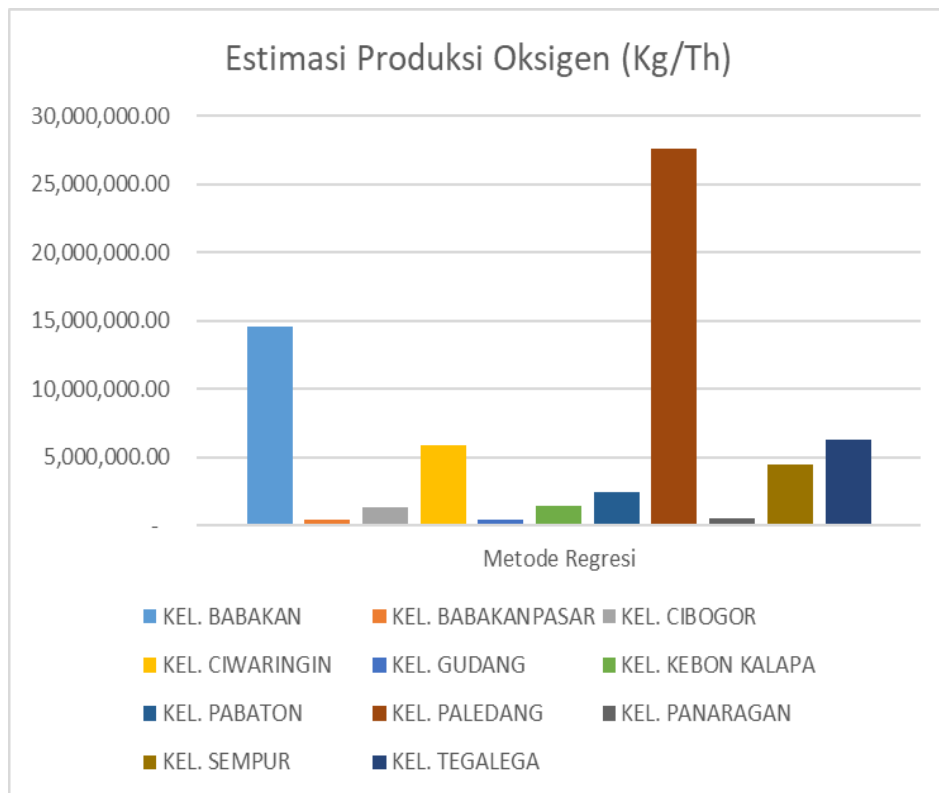
Secara administrasi Kecamatan Bogor Tengah terbagi menjadi sebelas kelurahan diantaranya Kelurahan Babakan, Babakan Pasar, Cibogor, Ciwaringin, Gudang, Kebon Kalapa, Pabaton, Paledang, Panaragan, Sempur dan Tegalega. Pada pendugaan kebutuhan oksigen Kecamatan Bogor Tengah akan dibagi berdasarkan sebelas kelurahan. **Tabel 1** menunjukkan estimasi kebutuhan oksigen menurut jumlah penduduk yang dihimpun dari BPS Kota Bogor dalam angka tahun 2018.

Tabel 1. Estimasi kebutuhan oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah

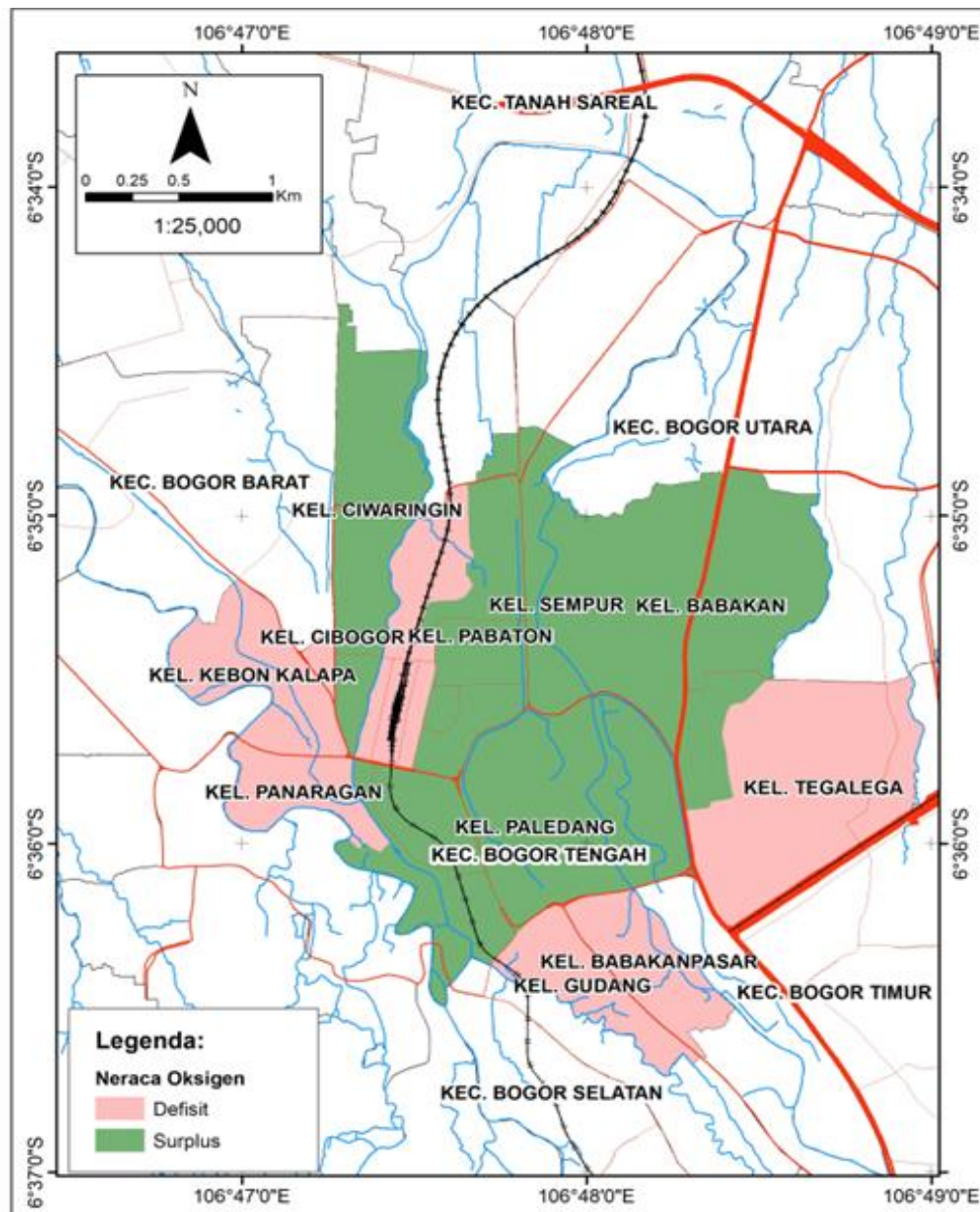
No	Kelurahan	Jumlah penduduk	Kebutuhan O ₂ (kg/hari)	Kebutuhan O ₂ (kg/tahun)
1	Kel. Babakan	11,984	10,354.18	3,779,274.24
2	Kel. Babakanpasar	9,416	8,135.42	2,969,429.76
3	Kel. Cibogor	7,253	6,266.59	2,287,306.08
4	Kel. Ciwaringin	7,688	6,642.43	2,424,487.68
5	Kel. Gudang	6,927	5,984.93	2,184,498.72
6	Kel. Kebon kalapa	11,109	9,598.18	3,503,334.24
7	Kel. Pabaton	2,447	2,114.21	771,685.92
8	Kel. Paledang	11,719	10,125.22	3,695,703.84
9	Kel. Panaragan	7,432	6,421.25	2,343,755.52
10	Kel. Sempur	7,888	6,815.23	2,487,559.68
11	Kel. Tegalega	20,990	18,135.36	6,619,406.40
Jumlah		104,853	90,592.99	33,066,442.08

Berdasarkan **Tabel 1** populasi terbanyak berada di Kelurahan Tegalega, yang juga memiliki kebutuhan oksigen tertinggi. Diikuti dengan Kelurahan Babakan, Paledang dan Kelurahan lainnya. Penelitian lain pada lokasi yang sama telah dilakukan oleh Ananda dan Ihsani (2021) menghitung kebutuhan oksigen dengan menggunakan data penduduk yang diproyeksikan dalam jangka waktu sepuluh tahun yakni tahun 2020-2030. Hasil yang diperoleh menunjukkan Kelurahan Tegalega menjadi kelurahan yang membutuhkan oksigen harian tertinggi. Selanjutnya dengan mengetahui kebutuhan oksigen berdasarkan jumlah penduduk suatu wilayah maka untuk memberikan kualitas oksigen yang baik dapat dengan memenuhi kebutuhan RTH pada lokasi kajian.

Dalam menganalisis kebutuhan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kecamatan Bogor Tengah, bisa dilakukan dengan menghitung neraca oksigen, yaitu dengan mengukur perbedaan antara ketersediaan oksigen dan kebutuhan oksigen. **Gambar 7** adalah neraca perhitungan ketersediaan oksigen pada Kecamatan Bogor Tengah yang disajikan dalam bentuk grafik (**Gambar 7a**) dan pola spasial (**Gambar 7b**).



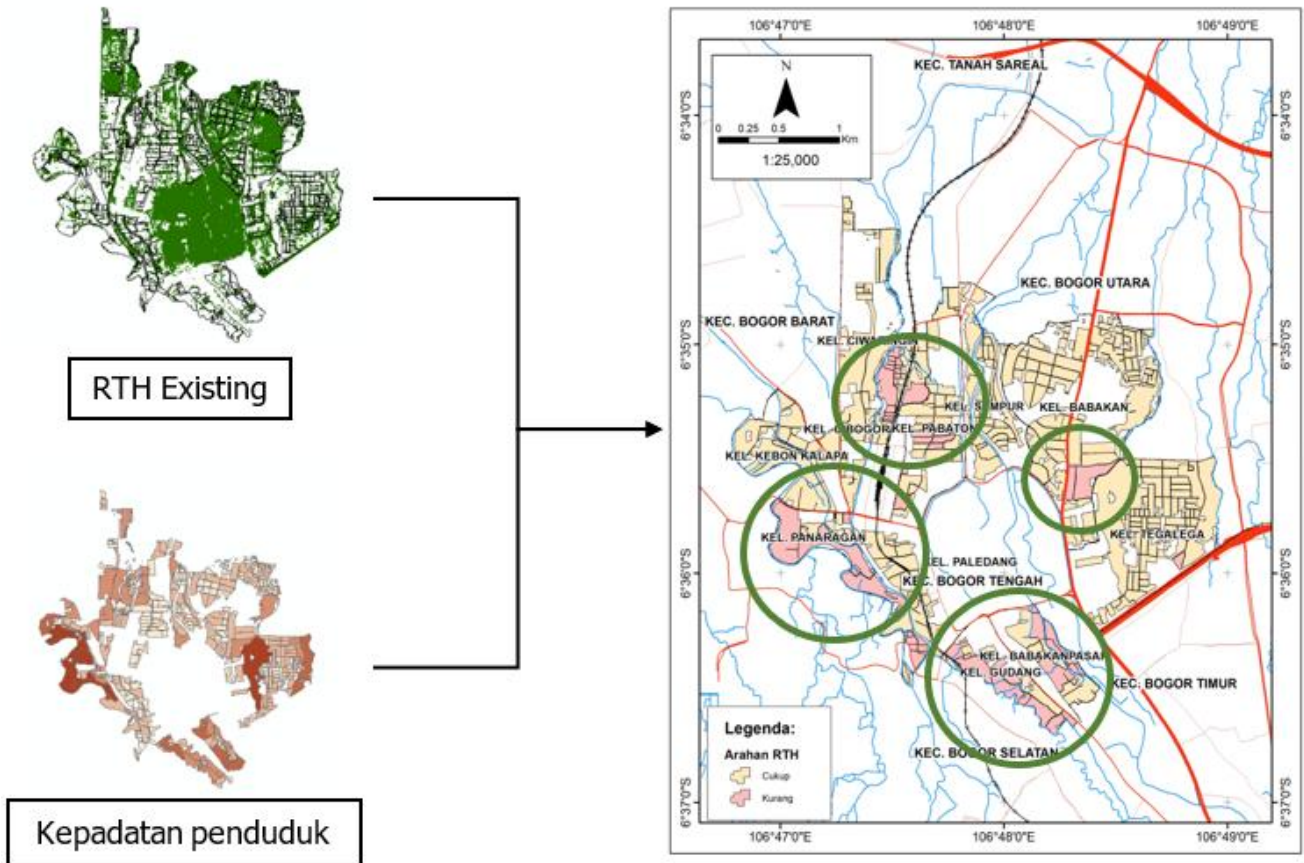
Gambar 7. (a) Neraca Ketersediaan Oksigen di Kecamatan Bogor Tengah: Grafik Neraca Ketersediaan Oksigen.



Gambar 7. (b) Neraca Ketersediaan Oksigen di Kecamatan Bogor Tengah: Pola Spasial Neraca Ketersediaan Oksigen.

Mengacu pada perkiraan ketersediaan oksigen yang dihitung dari proses ekstraksi biomassa menggunakan metode allometrik (regresi) (Wiradharma, 2014), ketersediaan oksigen pada beberapa kelurahan di Kecamatan Bogor Tengah dapat diperkirakan mengalami surplus maupun defisit. Berdasarkan **Gambar 7 (a)**, beberapa kelurahan yang mengalami surplus oksigen diantaranya Kelurahan Babakan, Ciwaringin, Pabaton dan Sempur hal ini menandakan bahwa kelurahan-kelurahan tersebut memiliki ketersediaan RTH yang mencukupi.

Sementara pada kelurahan lain seperti Kelurahan Babakanpasar, Cibogor, Gudang, Kebon Kalapa, Panaragan, dan Tegalega mengalami defisit oksigen sehingga perlu adanya penambahan kawasan RTH baik yang bersifat publik maupun privat ditandai dengan legenda merah pada **Gambar 7 (b)**. Menurut studi yang dilakukan oleh Ananda dan Ihsani (2021) menggunakan metode Gerakis, perkiraan kebutuhan RTH secara umum di Kecamatan Bogor Tengah pada tahun 2020 menunjukkan bahwa kebutuhan RTH di Kecamatan Bogor Tengah telah terpenuhi sebesar 30% dari luas wilayah yang diteliti. Hal ini menggambarkan bahwa ketersediaan oksigen yang berlebih di setiap kelurahan dapat membantu menyokong kelurahan lain yang mengalami defisit oksigen. Secara spasial kombinasi jumlah kepadatan penduduk dan RTH existing pada Kecamatan Bogor Tengah dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Arahan RTH Kecamatan Bogor Tengah

Telah disinggung sebelumnya bahwa terdapat beberapa kondisi di mana ketersediaan oksigen mengalami defisit akibat dari minimnya RTH pada beberapa kelurahan di Kecamatan Bogor Tengah yang dapat dilihat pada **Gambar 8**. Oleh karena itu, **Gambar 8** memberikan panduan atau arahan untuk penambahan RTH di area-area yang telah teridentifikasi kekurangan RTH, seperti yang ditunjukkan dengan warna merah. Area dengan status kekurangan RTH tersebut berkaitan dengan kondisi kepadatan penduduk yang tinggi, hal ini dapat diartikan bahwa pada area tersebut didominasi dengan jenis tutupan lahan terbangun. Dengan demikian jenis RTH yang memungkinkan untuk dapat diterapkan pada area tersebut adalah RTH privat, yang mana diperlukan peran serta masyarakat sekitar dalam pengadaan dan pengelolanya. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 Pasal 45 Ayat 1, menyebutkan bahwa target penyediaan RTH Privat sebesar 10% (sepuluh persen) sesuai amanat Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Arahan penyediaan RTH dapat berupa RTH privat berbasis masyarakat seperti mempertahankan RTH yang telah ada, pembagian bibit tanaman, penyediaan RTH *vertical garden* dan *roof top*, melakukan sosialisasi kepada masyarakat untuk lebih peduli pada keberadaan RTH privat, pemanfaatan barang bekas untuk dijadikan media tanam, pembentukan komunitas hijau dan bank RTH privat (Aji dan Kadri, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan citra SPOT 7 pada tahun 2027 di Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, didapatkan luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) mencapai 204,92 Ha, yang setara dengan sekitar 24% dari total wilayah kecamatan tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa luasan RTH di Kecamatan Bogor Tengah telah cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan akan ruang terbuka hijau dalam kawasan tersebut. Namun, perlu diperhatikan bahwa terdapat kebutuhan akan peningkatan luasan RTH di beberapa kawasan permukiman yang padat penduduk, seperti Kelurahan Babakanpasar, Cibogor, Gudang, Kebon Kalapa, Panaragan, dan

Tegalega. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan akan ruang terbuka hijau di kawasan-kawasan tersebut, diperlukan langkah-langkah tambahan dalam pengembangan RTH. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan jalur hijau, baik yang terpisah maupun terhubung dengan ruang terbuka hijau yang sudah ada, sehingga memperluas akses dan ketersediaan ruang terbuka bagi penduduk setempat. Selain itu, penghijauan di sepanjang sempadan sungai juga menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan kualitas lingkungan sekaligus memberikan manfaat bagi keberlangsungan ekosistem sungai. Selain itu, penerapan konsep green rooftop juga dapat menjadi solusi inovatif dalam penambahan luasan RTH di kawasan perkotaan yang padat. Dengan memanfaatkan atap bangunan sebagai area hijau, bukan hanya akan meningkatkan kesejukan dan keindahan kota, tetapi juga membantu dalam menyediakan ruang terbuka hijau tanpa harus mengorbankan lahan baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, sebagai tempat di mana penulis sedang belajar di Program Magister Penginderaan Jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, D. P., & Kadri, M. K. (2022). Arahan Penyediaan RTH Privat Berbasis Partisipasi Masyarakat Pada Kawasan Permukiman Kumuh di Kelurahan Karang Jati Kota Balikpapan. 8(1), 36–46.
- Ananda, dwi putri, & Ihsani, I. (2021). Penduduk di Kota Bogor Kecamatan Bogor Tengah (Analysis of Green Open Space Provision in Densely Populated Areas in Bogor City , Central Bogor Sub-. *Jurnal Artesis*, 1(2), 207–217.
- Astuti, W., At, M., Setiawan, I., Pengukuhan dan Penatagunaan Kawasan Hutan, D., Djuanda No, J., Bogor, K., Barat, J., Kehutanan, F., Nusa Bangsa, U., & Sholeh Iskandar No, J. (2018). IDENTIFIKASI RUANG TERBUKA HIJAU di KOTA BOGOR DENGAN APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS Identification Of Public Green Space in Bogor City With The Application Of Geographic Information System. *Jurnal Nusa Sylva*, 16(1), 24–31. <http://ciezbalqis.blogspot.com/2013/02/ist>
- BPS. (2021). *Kota Bogor dalam Angka 2021*.
- Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y. (2017). Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry and Urban Greening*, 27(May), 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.06.008>
- Fitriana, H. L., Sulma, S., Febrianti, N., Nugroho, J. T., & Haryani, N. S. (2019). the Utilization of Remote Sensing Data To Support Green Open Space Mapping in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 15(2), 199. <https://doi.org/10.30536/ijjreses.2018.v15.a2890>
- Gupta, K., Kumar, P., Pathan, S. K., & Sharma, K. P. (2012). Urban Neighborhood Green Index - A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 105(3), 325–335. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.003>
- Hill, J. R. (1959). The oxygen consumption of new-born and adult mammals. Its dependence on the oxygen tension in the inspired air and on the environmental temperature. *The Journal of physiology*, 149(2), 346.
- Indonesia, S. N. (2011). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). Badan Standarisasi Indonesia. SNI, 7724, 2011.
- Munawaroh, Yogyanti, G. C., Salsabila, H. N., Astuti, N., Widayani, P., Danoedoro, P., Murti, S. H., & Wicaksono, P. (2023). The Estimation of Forest Stand Above Ground Biomass in the district of Borobudur, Central Java, Indonesia. *Asian Association on Remote Sensing*.
- Novita, N. D. A. (2015). *Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Kota Bogor dalam Mencukupi Kebutuhan Oksigen*. Insititut Pertanian Bogor.
- Nowak, D. J., Hoehn, R., & Crane, D. E. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture and Urban Forestry*, 33(3), 220.
- Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 6 Tahun 2021 tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Nomor 8 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bogor Tahun 2011-2031.
- Permatasari, V. Y., Suharyadi, R., & Hidayati, I. N. (2023). Utilization of Planetscope Imagery for Carbon Stock Estimation of Standing Green Open Space in Jebres Sub-District, Surakarta. *E3S Web of Conferences*, 468(1), 03009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346803009>
- Rahmatika, I., Hidayati, I. N., Suharyadi, R., & Nurjani, E. (2023). Carbon Stock Estimation From Vegetation Biomass Using SPOT-7 Imagery. *Indonesian Journal of Geography*, 55(3), 385–396.
- Rinjani, A. R., Setyaningsih, L., & Rusli, A. R. (2016). Potensi Serapan Karbon di Jalur Hijau Kota Bogor

- (Studi Kasus Jalan KH. Sholeh Iskandar dan Jalan Pajajaran). *Jurnal Nusa Sylva*, 16(1), 32–40.
- Sinaga, A. H. (2018). Jurnal Geodesi Undip Januari 2018 DENGAN METODE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX dan SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX Jurnal Geodesi Undip Januari 2018. *Geodesi Undip*, 7, 202–211.
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>
- Zylshal, Sulma, S., Yulianto, F., Nugroho, J. T., & Sofan, P. (2016). A support vector machine object based image analysis approach on urban green space extraction using Pleiades-1A imagery. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0108-8>