

Potensi Cadangan Karbon Tersimpan dan Serapan Karbon pada Ekosistem Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

Nur Puji Lestari, Nana Kariada Tri Martuti[✉]

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima: 19 Januari 2024
Disetujui: 14 Oktober 2024
Dipublikasikan: 1
November 2024

Keywords:

biomass; carbon sequestration;
carbon stock; urban forest
ecosystem
biomassa; penyerapan karbon;
stok karbon; ekosistem hutan
kota

Abstract

The increase in GHGs in Semarang City, caused by the increase in motorized vehicles and industrial activity, has resulted in a decrease in environmental quality in urban areas and air pollution. Data from the Semarang City Environmental Service (2019), shows that total CO₂e emissions in 2018 were dominated by CO₂, namely 33,505,357.22 tons of CO₂ (85.24%) of the total CO₂e tons of GHG emissions. To reduce CO₂ emissions in Semarang City, one way that can be done is by utilizing urban forests which can absorb carbon dioxide. Based on these conditions, estimates of stored carbon reserves and carbon uptake in urban forests need to be calculated to determine the CO₂ that plants in urban forests can absorb. This research aims to analyze the amount of stored carbon reserves and carbon uptake in the Tinjomoyo Semarang City Forest ecosystem. This research uses an exploratory method carried out through direct observation and measurement in the field. The sampling technique used is the belt transect method. The stand measurement method is carried out using the Non-Destructive Test (NDT) method or by not damaging the research samples. Stand data analysis was carried out using the allometric equation method. Based on calculation results, the number of individual stands in the Tinjomoyo Semarang City Forest area is 367 individual stands. The total amount of biomass is 125.5 tonnes/ha, the total carbon stock is 57.72 tonnes/ha and the total amount of carbon uptake is 211.8 tonnes/ha. This research shows that the estimated carbon reserves stored in the Tinjomoyo City Forest ecosystem, Semarang are 57.72 tonnes/ha with a carbon uptake value of 211.8 tonnes/ha.

Abstrak

Peningkatan GRK di Kota Semarang disebabkan karena meningkatnya kendaraan bermotor dan aktivitas industri, menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan pada wilayah perkotaan dan pencemaran udara. Data Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (2019), menunjukkan bahwa total emisi CO₂ pada tahun 2018 didominasi oleh CO₂, yaitu sebesar 33.505.357,22 ton CO₂ (85,24%) dari total emisi GRK CO₂e ton. Untuk mengurangi emisi CO₂ di Kota Semarang, maka salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan hutan kota yang mampu menyerap karbondioksida. Berdasarkan kondisi tersebut, maka estimasi cadangan karbon tersimpan dan serapan karbon pada hutan kota perlu dihitung sebagai upaya mengetahui CO₂ yang dapat diserap tumbuhan yang terdapat di hutan kota. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jumlah cadangan karbon tersimpan dan serapan karbon pada ekosistem Hutan Kota Tinjomoyo Semarang. Penelitian ini menggunakan metode eksploratif yang dilakukan dengan melalui observasi dan pengukuran langsung di lapangann. Metode teknik sampling yang digunakan adalah metode *belt transect*. Metode pengukuran tegakan dilakukan dengan metode *Non-Destructive Test* (NDT) atau dengan tidak merusak sampel penelitian. Analisis data tegakan dilakukan dengan menggunakan metode persamaan allometrik. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah individu tegakan pada kawasan Hutan Kota Tinjomoyo Semarang sebanyak 367 individu tegakan. Total jumlah biomassa sebesar 125,5 ton/ha, total cadangan karbon sebesar 57,72 ton/ ha dan total jumlah serapan karbon sebesar 211,8 ton/ha. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa estimasi cadangan karbon yang tersimpan pada ekosistem Hutan Kota Tinjomoyo, Semarang sebesar 57,72 ton/ ha dengan nilai serapan karbon sebesar 211,8 ton/ha.

© 2024 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lt.1 Jl Raya Sekaran Gunungpati, Semarang
E-mail: nanakariada@mail.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6277
e-ISSN 2528-5009

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2005, populasi perkotaan mulai dan terus mengalami peningkatan bila dibandingkan populasi pedesaan (McGranahan *et al.*, 2007). Adanya penambahan penduduk tentunya juga akan berimplikasi dengan meningkatkan aktivitas sosial ekonomi. Peningkatan ini mendorong pembangunan infrastruktur untuk mendukung operasional dan menunjang berbagai aktivitas. Perkembangan tersebut menyebabkan kebutuhan di bidang transportasi juga mengalami peningkatan, hal ini karena mobilisasi masyarakat di daerah perkotaan umumnya lebih dinamis untuk melakukan berbagai aktivitas dari satu tempat ke tempat yang lain. Kebutuhan akan ruang terutama permukiman pun semakin bertambah, sehingga lahan terbangun menjadi semakin luas yang selanjutnya mengakibatkan kawasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) semakin sedikit.

Aktivitas industri dan transportasi berpotensi menimbulkan kerusakan pada lingkungan dan ekosistem sekitarnya apabila tidak diatur dengan baik. Adanya kebutuhan transportasi kendaraan bermotor yang semakin tinggi, tentunya juga dapat membawa dampak negatif. Penggunaan berbagai jenis transportasi yang semakin meningkat, tentunya mempunyai dampak terhadap masalah kualitas udara. Hal ini disebabkan karena emisi yang dilepaskan oleh kendaraan tersebut mengandung polutan dalam kadar tinggi, menyebabkan pencemaran udara yang merugikan (Kondorura, 2018). Sebagaimana disampaikan oleh Kusumawardani & Navastara (2017), bahwa sumber utama penyebab tingginya konsentrasi polutan di udara adalah transportasi yang mencapai 60%, aktivitas industri sebesar 25%, rumah tangga 10% dan sisanya berasal dari sampah sebesar 5%.

Kota Semarang merupakan ibukota Provinsi Jawa Tengah dengan jumlah penduduk sebanyak 1.656.564 jiwa (BPS, 2021). Kota Semarang mempunyai karakteristik wilayah perkotaan yang padat dengan aktivitas transportasi dan industri yang tinggi (Widanirmala *et al.*, 2020). Selain itu, jumlah penduduk yang padat di wilayah Kota Semarang juga mengakibatkan berkurangnya luas lahan hijau yang berperan sebagai penyerap emisi karbon, dikarenakan banyaknya perubahan alih fungsi lahan. Pembangunan perkotaan, seiring dengan pertumbuhan penduduk, menyebabkan penurunan kualitas lingkungan pada wilayah perkotaan dan ditandai dengan meningkatnya pencemaran udara.

Berdasarkan data dari BPS Kota Semarang (2021), kendaraan bermotor di Kota Semarang pada tahun 2021 berjumlah 1.875.781 unit dengan rincian 1.512.234 unit merupakan kendaraan bermotor roda dua dan 363.547 unit berupa kendaraan bermotor roda empat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor akan berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar minyak. Hal tersebut tentunya juga akan berdampak pada peningkatan emisi gas buang yang dapat menyebabkan pencemaran udara (Sudarti *et al.*, 2022).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2017, emisi adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran yang dihasilkan oleh pembakaran di dalam mesin kendaraan bermotor (Syahrui & Ghofur, 2019). Salah satu emisi gas buang kendaraan bermotor terbesar adalah emisi gas karbondioksida (CO₂).

Karbondioksida (CO_2) merupakan senyawa gabungan dari atom karbon dengan senyawa oksigen. Gas karbondioksida (CO_2) merupakan bagian terbesar dari karbon yang berada di atmosfer bumi. Emisi karbondioksida (CO_2) dihasilkan dari kegiatan antropogenik dan sumber alami. Salah satu contoh dari sumber alami yang mengemisikan karbondioksida (CO_2) ke atmosfer adalah aktivitas pembusukan. Emisi karbondioksida (CO_2) dari kegiatan antropogenik berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, kegiatan pertanian dan lain-lain. Sementara itu, gas-gas lain yang mengandung karbon di atmosfer antara lain: metana (CH_4) dan gas-gas terfluorinasi (F-gas) yang meliputi kelompok *perfluorocarbon* (PFCs), kelompok *hydrofluorocarbon* (HFCs), *sulphur hexafluoride* (SF_6), serta N_2O (IPCC, 2007). Gas-gas tersebut merupakan gas rumah kaca (GRK) yang konsentrasinya terus meningkat di atmosfer dalam dekade terakhir ini.

Data Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (2019), menunjukkan bahwa emisi GRK di Kota Semarang mengalami peningkatan antara tahun 2014 – 2018. Besaran emisi pada tahun 2014 sebesar 2.271.561,62 ton CO_2 . Sementara itu, emisi GRK meningkat menjadi 4.127.286,89 ton CO_2 pada tahun 2018. Berdasarkan jenis gasnya, jumlah dan komposisi emisi gas rumah kaca Kota Semarang dibandingkan dengan total emisi CO_2 pada tahun 2018 didominasi oleh CO_2 , yaitu sebesar 33.505.357,22 ton CO_2 (85,24%) dari total emisi GRK CO_2 ton.

Peningkatan emisi gas – gas rumah kaca secara berlebihan tersebut dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global, yang selanjutnya meningkatkan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi yang disebabkan oleh terperangkapnya gelombang panjang sinar matahari (inframerah) oleh gas– gas rumah kaca (GRK) yang berada di lapisan troposfer. Lapisan troposfer merupakan bagian atmosfer yang berada di permukaan bumi sampai radius 10 km ke angkasa (Pratama & Parinduri, 2019). Jika konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer semakin besar, maka energi panas yang terperangkap di bumi juga akan semakin besar pula. Berbagai dampak yang timbul sebagai akibat dari fenomena pemanasan global diantaranya : gangguan terhadap ekosistem dan mekanisme kehidupan organisme di bumi, perubahan suhu global yang berdampak pada perubahan iklim secara ekstrim, kenaikan permukaan air laut, ketidakseimbangan ekologi dan dampak politik serta sosial. Salah satu strategi mendasar yang bisa diterapkan untuk mengurangi jumlah emisi CO_2 di atmosfer terutama di daerah perkotaan sebagai penyerap emisi dari kendaraan bermotor yaitu dengan pemanfaatan hutan kota yang mampu menyerap karbondioksida.

Sistem hutan kota adalah jaringan yang mencakup semua hutan, kelompok pohon, dan pohon – pohon tunggal yang berada dalam wilayah perkotaan dan daerah di sekitarnya (Salbitano *et al.*, 2016). Dalam segi psikologis, ekologis, dan dampak ekonomi pada kesejahteraan penduduk perkotaan, hutan kota mempunyai peranan yang potensial. Hutan kota dapat berfungsi untuk memberikan keindahan, sehingga dapat dijadikan tempat rekreasi sebagai laboratorium alam untuk pendidikan dan penelitian. Selain itu, hutan kota juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan kota, hal ini disebabkan karena pohon secara alami dapat menyerap gas CO_2 yang disimpan dalam bentuk senyawa karbon dan dikeluarkan dalam bentuk oksigen, sekaligus menyerap panas sehingga menurunkan suhu udara sekitar (Lubis *et al.*, 2013).

Tumbuhan mengurangi kadar CO_2 melalui fotosintesis, suatu proses yang umumnya berlangsung pada semua tumbuhan berdaun hijau yang mempunyai kloroplas atau pada tumbuhan yang mempunyai

pigmen warna tertentu. Jika konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat, maka proses fotosintesis akan diaktifkan lebih lanjut, hal tersebut menyebabkan molekul CO₂ dari udara akan diikat menggunakan molekul H₂O dengan bantuan energi foto cahaya tampak (Mansur & Pratama, 2014).

Hutan Tinjomoyo adalah sebuah hutan yang merupakan bekas kebun binatang Kota Semarang yang sudah lama terbengkalai, namun kini mulai dibangkitkan lagi sebagai obyek wisata sekaligus hutan kota di wilayah Kota Semarang. Hutan Tinjomoyo sendiri memiliki wilayah dengan perpaduan bukit, sungai, hutan dan desa di dalamnya. Hutan dengan luas lahan 57,5 hektar ini kerap dimanfaatkan oleh pengunjung sebagai tempat berkemah, *outbond*, hingga *family outing*. Berbagai kegiatan tersebut memungkinkan dilakukan di area yang mempunyai permukaan tanah yang cukup luas dan datar. Flora yang mendominasi daerah ini adalah beragam jenis pohon pinus dan jati (Faza & Ariantie, 2019). Oleh sebab itu, area ini sangat sesuai untuk dijadikan sebagai hutan kota yang masih mempertahankan keadaan alaminya. Selain itu, potensi yang besar terdapat di kawasan Hutan Tinjomoyo sebagai kawasan yang berfungsi untuk penyerapan dan penyimpanan karbon di daerah Kota Semarang. Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan seberapa besar jumlah estimasi karbon tersimpan pada ekosistem hutan kota di kawasan Tinjomoyo.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Hutan Kota Tinjomoyo Semarang pada Bulan Juni sampai Agustus 2022 untuk tahapan observasi awal dan pada Bulan Mei sampai Juni 2023 untuk tahapan pengambilan data. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksploratif, yaitu metode dengan observasi dan pengukuran di lapangan secara langsung (Fathien, 2020). Teknik sampling yang digunakan adalah metode *belt transect* yang digunakan untuk menganalisis vegetasi suatu wilayah yang luas dan keadaan komunitasnya belum diketahui keadaannya (Sundra, 2016). Metode pengukuran *Diameter at Breast Height* (DBH) tegakan dilakukan dengan metode *Non Destructive Test* (NDT).

Analisis data tegakan dilakukan dengan menggunakan metode persamaan allometrik. Persamaan allometrik merupakan suatu metode yang digunakan dalam mengukur biomassa dan karbon tegakan sesuai dengan kategori jenis masing – masing tegakan (Sutaryo, 2009).

Tabel 1. Persamaan Allometrik

| No | Kategori tegakan | Persamaan allometrik | Referensi |
|----|------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Pohon | $Y = 0,11 \cdot \rho \cdot D^{2,62}$ | Ketterings <i>et al.</i> , 2001 |
| 2 | Tiang | $B = 0,1 \times 0,41 \times D^{2+0,62}$ | Ketterings <i>et al.</i> , 2001 |
| 3 | Pancang | $B = \exp (-3,23 + 2,17 \ln (D))$ | Ali <i>et al.</i> 2015 |
| 4 | Semai | $B = 0,28 (RCD)^{2,807}$ | Annighofer, P. <i>et al.</i> , 2016 |

Keterangan: Y = B = Biomassa (kg); D = Diameter (cm); ρ = berat jenis kayu (g/cm); RCD = root collar diameter (cm)

Selanjutnya, dilakukan penghitungan cadangan karbon per hektar untuk biomassa di atas permukaan tanah pada struktur jaringan hidup dengan menggunakan persamaan dari SNI 7724 tahun 2011 :

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{1000}{l_{plot}}$$

Keterangan :

- C_n : adalah kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha).
- C_x : adalah kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot, dinyatakan dalam kilogram (kg)
- l plot* : adalah luas plot pada masing-masing *pool*, dinyatakan dalam meter persegi (m²).

Nilai biomassa yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mengestimasi cadangan karbon yang tersimpan dalam tumbuhan karena 46% dari total biomassa merupakan karbon, sehingga penghitungan estimasi potensi karbon tersimpan pada masing – masing komponen dapat dilakukan dengan mengalikan total berat massanya dengan konsentrasi C, sesuai dengan rumus berikut (Hairiah & Rahayu, 2007):

$$C = \text{Biomassa (W)} \times 0,46$$

Keterangan :

- C : jumlah stok karbon (ton/ha)
- B : biomassa (ton/ha)

Setiap jenis habitat mempunyai kapasitas penyerapan yang berbeda karena adanya perbedaan biomassa dan cadangan karbon. Rumus penyerapan karbon sebagai berikut:

$$\text{Serapan CO}_2 = \frac{Mr \text{ CO}_2}{Ar \text{ C}} \times \text{Stok karbon}$$

Keterangan:

- MrCO₂ : berat molekul senyawa CO₂ (44)
- Ar C : berat molekul relatif atom C (12)

Pada penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang dianalisis menggunakan aplikasi SPSS 25. Data berupa DBH, biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon tanaman, diuji secara statistik dengan uji korelasi Pearson dan uji regresi linier sederhana. Adapun untuk interval korelasi Pearson menggunakan interval klasifikasi kekuatan korelasi menurut Sarwono (2009), yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Interval Klasifikasi Kekuatan Korelasi (Sumber: Sarwono, 2009)

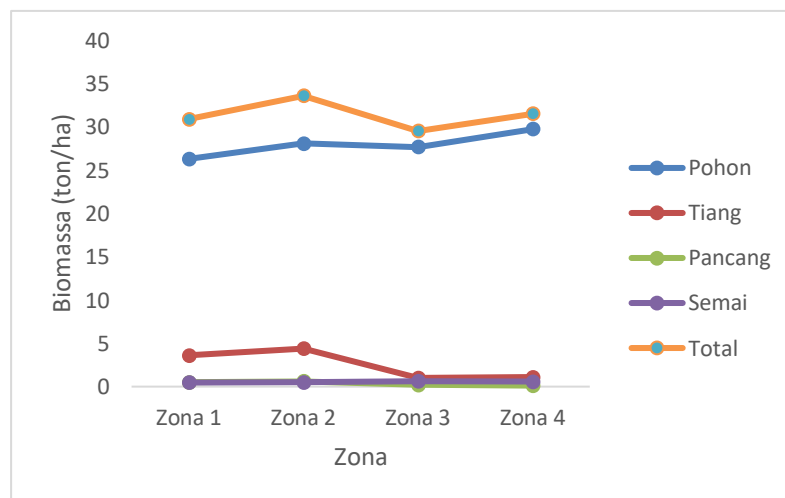
| Koefisien | Kekuatan Korelasi |
|-------------|-----------------------|
| 0 | Tidak ada korelasi |
| 0.00 – 0.25 | Korelasi sangat lemah |
| 0.25 – 0.50 | Korelasi cukup |
| 0.50 – 0.75 | Korelasi kuat |
| 0.75 – 0.99 | Korelasi sangat kuat |
| 1 | Korelasi sempurna |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil jumlah individu tegakan pada kawasan Hutan Kota Tinjomoyo Semarang sebanyak 367 individu tegakan. Adapun rincian hasil yang diperoleh sebagai berikut:

Estimasi Biomassa

Berdasarkan hasil penelitian, estimasi biomassa pada keempat zona penelitian menunjukkan total biomassa sebesar 125,5 ton/ha. Sementara masing – masing zona mempunyai jumlah estimasi biomassa yang berbeda – beda (Gambar 1)



Gambar 1. Estimasi biomassa di berbagai zona pada Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

Jumlah biomassa pada zona 1 sebesar 30,89 ton/ha, zona 2 sebesar 33,57 ton/ha, zona 3 sebesar 29,51 ton/ha, dan zona 4 sebesar 31,52 ton/ha (Gambar 1). Perbedaan jumlah biomassa pada keempat zona disebabkan karena adanya perbedaan jenis vegetasi pada keempat zona. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian dari Fadzarudin (2015), yang menyatakan bahwa adanya perbedaan jenis vegetasi menyebabkan adanya perbedaan jumlah biomassa dan karbon yang tersimpan karena tegakan yang bervariasi banyak memiliki daya serapan karbon yang bervariasi juga.

Nilai biomassa tertinggi ada pada zona 2 sebesar 33,57 ton/ha, sedangkan zona dengan nilai biomassa terendah adalah zona 3 dengan nilai 29,51 ton/ha. Nilai biomassa di zona 2 yang lebih tinggi dibandingkan zona lainnya ini disebabkan karena pada zona tersebut mempunyai jumlah tegakan berdiameter besar (26,34 cm – 66,24 cm) lebih banyak dan beragam bila dibandingkan dengan zona lainnya. Adapun beberapa tegakan yang mempunyai diameter besar, di antaranya: *Butea monosperma* atau plosor (66,24 cm), *Ceiba pentandra* atau kapuk randu (65,03 cm), *Swietenia macrophylla* atau mahoni (39,05 cm), *Gmelina arborea* atau jati putih (36,12 cm), dan *Samanea saman* atau trembesi (35,45 cm).

Berbeda pada zona 3, nilai biomassa rendah karena pada zona ini tegakan yang berdiameter besar berjumlah sedikit bila dibandingkan dengan zona 2. Selain itu, pada zona ini terdapat anak sungai dan beberapa bangunan bekas kebun binatang yang terbengkalai sehingga mengurangi tutupan untuk tegakan tumbuh dan berkembang. Hal ini menyebabkan nilai biomassa pada zona 3 lebih rendah jika dibandingkan dengan zona lainnya. Hasil data di atas sesuai dengan penelitian dari Yamani (2013), yang mengemukakan bahwa kandungan biomassa terbesar adalah pada tingkat pohon atau tegakan yang memiliki diameter >20 cm. Selain itu, Baderan (2017), juga menyatakan bahwa >80% simpanan karbon berasal dari pohon dengan diameter 25 – 30 cm.

Ukuran diameter suatu tegakan akan menentukan berapa jumlah biomassa, hal ini disebabkan karena kandungan biomassa juga terdapat pada batang sehingga semakin besar nilai diameter tegakan maka cenderung nilai biomassa, akan semakin besar (Amin, 2016).

Tabel 3. Hubungan antara Diameter dengan Biomassa

| Tipe Zona | r | P | Taraf Signifikansi |
|-----------|-------|-------|--------------------|
| Zona 1 | 0.916 | 0.000 | ** |
| Zona 2 | 0.813 | 0.000 | ** |
| Zona 3 | 0.838 | 0.000 | ** |
| Zona 4 | 0.915 | 0.000 | ** |

Keterangan : r = Koefisien korelasi Pearson
 P = Nilai signifikansi
 ** = Signifikan pada taraf 0.01

Berdasarkan analisis koefisien korelasi Pearson (r) yang ditampilkan pada Tabel 4.1, terdapat korelasi yang sangat kuat ($0,75 \leq r \leq 0,99$). Hasil tersebut menyatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat dan bersifat positif antara diameter tegakan dengan biomassa, sehingga apabila diameter suatu tegakan besar, maka nilai biomassa juga akan besar. Analisis korelasi tersebut didasarkan pada interval klasifikasi kekuatan korelasi yang dibuat oleh Sarwono (2009) (Tabel 3).

Hasil analisis tersebut, sesuai dengan penelitian Effendi (2012), yang menyatakan apabila diameter pada tegakan semakin besar, maka biomasanya juga akan semakin besar. Hal ini terjadi karena kandungan biomassa juga terdapat pada batang sehingga semakin besar nilai diameter suatu tegakan maka nilai biomassa juga cenderung akan semakin besar juga. Menurut Stephenson *et al.*, (2014), dalam penelitiannya terhadap 403 spesies tegakan di enam benua menyebutkan bertambahnya ukuran tegakan menyebabkan laju pertumbuhan biomassa tegakan meningkat. Effendi (2012), dalam penelitiannya

menyatakan sebanyak 97,5% nilai biomassa dapat dijelaskan oleh data diameter. Besarnya diameter juga dipengaruhi oleh umur tegakan, semakin besar umur tegakan maka semakin besar pula diameternya.

Korelasi yang signifikan antara diameter dan biomassa ini diduga berhubungan dengan laju penyerapan karbon dan fotosintesis. Pada proses fotosintesis, CO₂ difiksasi oleh tumbuhan dengan bantuan sinar matahari, kemudian diubah menjadi energi kimiawi untuk selanjutnya didistribusikan ke seluruh tubuh tanaman (Hairiah *et al.*, 2011). Selain sebagai energi kimiawi pada tumbuhan, karbon tersebut juga berfungsi untuk menyediakan kerangka karbon untuk molekul organik yang membentuk struktur tanaman (Munir, 2017).

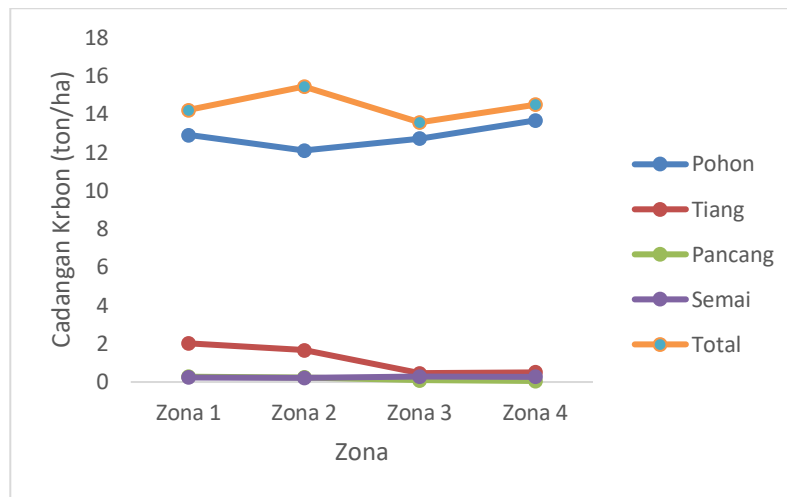
Biomassa akan bertambah karena tumbuhan menyerap CO₂ di atmosfer dan mengubahnya menjadi senyawa organik dari proses fotosintesis, hasil fotosintesis digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan ke arah horizontal dan vertikal ditandai dengan bertambahnya diameter dan tinggi (Syam'ani *et al.*, 2012). Pertumbuhan horizontal terjadi karena adanya aktivitas meristem lateral yang menghasilkan jaringan pembuluh sekunder dan periderm yang menyebabkan bertambahnya ukuran diameter tanaman (Hidayat *et al.*, 2020). Oleh sebab itu, diameter pada tanaman dapat digunakan untuk penghitungan estimasi biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon suatu tegakan.

Tingginya nilai biomassa pada zona 2 ini juga dipengaruhi oleh perbedaan jenis tegakan pada zona tersebut. Setiap tegakan mempunyai berat jenisnya masing-masing, sehingga kadar biomassa tiap tegakan berbeda-beda. Berdasarkan penelitian Pebriandi *et al.* (2014), semakin tinggi berat jenis maka kandungan biomassa karbon yang tersimpan pada tumbuhan tersebut semakin besar. Berat jenis menunjukkan tingkat kekerasan kayu. Jika nilai berat jenis tinggi, maka kayu tersebut semakin keras. Kayu yang mempunyai nilai berat jenis yang tinggi terdiri atas bahan – bahan organik yang tersusun padat. Hal tersebut berbeda dengan kayu yang mempunyai berat jenis kecil, maka kayu tersebut terdiri atas bahan – bahan organik yang rendah.

Dalam penelitian ini, pada zona 2 terdiri dari berbagai jenis tegakan yang berdiameter lebih besar dibandingkan dengan zona lainnya. Selain itu, berat jenis tegakan yang beragam tersebut mempunyai nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan zona lainnya. Menurut data dari *The International Centre For Research in Agroforestry* (ICRAF) atau db.worldagroforestry.org, berat jenis tertinggi dipunyai oleh *Dalbergia latifolia* atau sonokeling (0,83), *Tectona grandis* atau jati (0,67), *Pterocarpus indicus* atau angkana (0,65), *Delonix regia* atau flamboyan (0,63) , dan *Swietenia macrophylla* atau mahoni (0,61)

Estimasi Cadangan Karbon

Berdasarkan data hasil analisis, estimasi cadangan karbon pada keempat zona penelitian menunjukkan jumlah cadangan karbon sebesar 57,72 ton/ha. Sementara masing – masing zona mempunyai jumlah estimasi cadangan karbon yang berbeda – beda (Gambar 2).

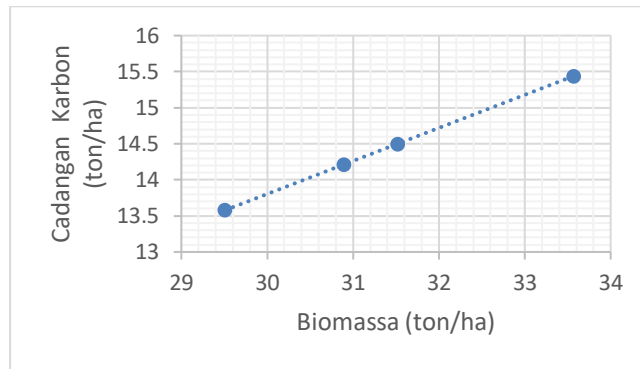


Gambar 2. Estimasi cadangan karbon di berbagai zona pada Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

Jumlah cadangan karbon pada zona 1 sebesar 14,21 ton/ha, zona 2 sebesar 15,44 ton/ha, zona 3 sebesar 13,57 ton/ha, dan zona 4 sebesar 14,50 ton/ha (Gambar 2). Nilai cadangan karbon tertinggi ditemukan pada zona 2 dengan nilai 15,44 ton/ha, sedangkan nilai cadangan karbon terendah terdapat pada zona 3, yaitu sebesar 13,57 ton/ha. Penyebab zona 2 mempunyai nilai cadangan karbon yang tinggi bila dibandingkan dengan zona lainnya adalah karena pada zona tersebut mempunyai jumlah tegakan berdiameter besar (26,34 cm – 66,24 cm) lebih banyak dan beragam bila dibandingkan dengan zona lainnya.

Sementara itu, pada zona 3, nilai cadangan karbon rendah karena pada zona ini tegakan yang berdiameter besar berjumlah sedikit bila dibandingkan dengan zona 2. Selain itu, pada zona ini terdapat anak sungai dan beberapa bangunan bekas kebun binatang yang terbengkalai sehingga mengurangi tutupan untuk tegakan tumbuh dan berkembang. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Ridwanullah (2011), yang menyatakan bahwa besarnya potensi cadangan karbon tersimpan sangat dipengaruhi oleh banyaknya jumlah tegakan pada suatu areal tertentu. Selain itu, besarnya diameter pohon juga merupakan faktor yang menentukan besarnya potensi cadangan karbon yang tersimpan pada suatu areal (Istomo & Farida, 2017). Perbedaan lain juga disebabkan oleh kemampuan tegakan dalam menyerap karbondioksida pada saat aktivitas fotosintesis dan menyimpannya. Persamaan allometrik yang dipakai dalam menghitung nilai cadangan karbon juga berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan.

Hasil analisis cadangan karbon menunjukkan bahwa keempat zona di Hutan Kota Tinjomoyo Semarang mempunyai cadangan karbon yang rendah. Suatu habitat mempunyai cadangan karbon yang tinggi apabila rata – rata cadangan karbon pada habitat tersebut adalah 150 ton/ha (Gibbs *et al.*, 2007). Pada dasarnya patokan tersebut digunakan pada habitat hutan tropis, namun, karena tidak ada tolok ukur yang menunjukkan kualitas cadangan karbon untuk habitat terrestrial tertentu, klasifikasi Gibbs tetap digunakan. Jumlah karbon yang disimpan pada keempat zona menunjukkan perbandingan yang tidak jauh berbeda dengan biomassa yang dimilikinya, sehingga hal ini menunjukkan adanya korelasi antara biomassa dengan cadangan karbon. Hubungan linier antara biomassa dan cadangan karbon ditunjukkan pada Gambar 3.

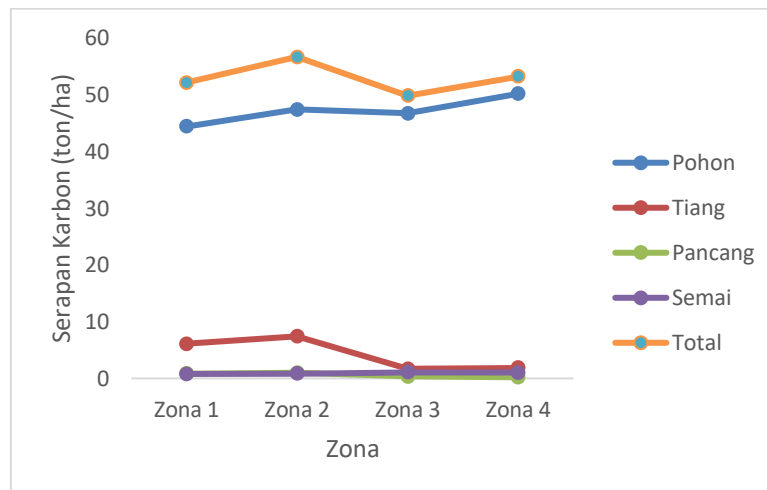


Gambar 2. Hubungan linier antara biomassa dan cadangan karbon

Berdasarkan analisis (Gambar 4.3), diketahui bahwa antara biomassa dan cadangan karbon mempunyai hubungan yang berbanding lurus (linear) dan berkorelasi positif. Nilai cadangan karbon pada suatu zona akan semakin tinggi seiring dengan tingginya nilai biomassa yang dimiliki oleh zona tersebut, sehingga apabila terjadi peningkatan biomassa, maka akan menyebabkan peningkatan potensi cadangan karbon tersimpan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Istomo & Farida (2018), yang menyatakan bahwa nilai cadangan karbon dan biomassa yang berkorelasi positif menunjukkan bahwa apabila terdapat peningkatan atau penurunan biomassa, maka akan menyebabkan peningkatan atau penurunan karbon.

Estimasi Serapan Karbon

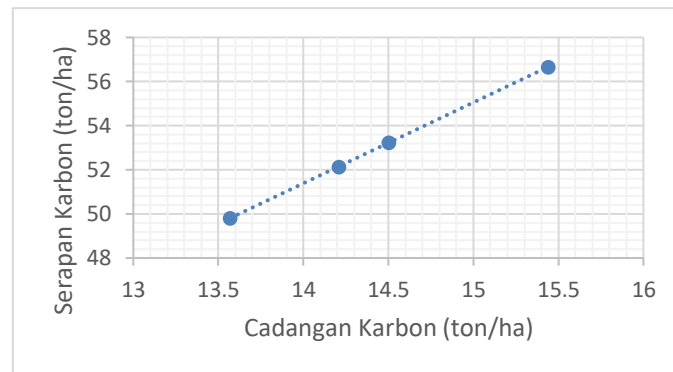
Berdasarkan data hasil analisis, estimasi serapan karbon pada keempat zona penelitian menunjukkan jumlah estimasi serapan karbon sebesar 211,8 ton/ha. Sementara masing – masing zona mempunyai jumlah estimasi serapan karbon yang berbeda – beda (Gambar 4).



Gambar 4. Estimasi serapan karbon di berbagai zona pada Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

Jumlah serapan karbon pada zona 1 sebesar 52,14 ton/ha, zona 2 sebesar 56,67 ton/ha, zona 3 sebesar 49,82 ton/ha, dan zona 4 sebesar 53,22 ton/ha (Gambar 4).

Nilai serapan karbon tertinggi terdapat pada zona 2 dengan serapan 56,67 ton/ha, sementara itu, zona 3 merupakan zona dengan nilai serapan karbon terendah, yaitu 49,82 ton/ha. Nilai serapan karbon di zona 2 yang lebih tinggi bila dibandingkan zona lainnya ini juga dipengaruhi oleh tingginya nilai cadangan karbon pada zona tersebut. Nilai serapan karbon dan cadangan karbon pada zona 2 relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan zona lainnya hal ini disebabkan karena pada zona 2 mempunyai jumlah tegakan yang lebih banyak dengan ukuran diameter tegakan yang besar. Begitu juga zona 1, zona 3 dan zona 4 yang mempunyai nilai serapan karbon lebih rendah, karena nilai cadangan karbonnya juga rendah. Hubungan linieritas antara cadangan karbon dan serapan karbon tersaji pada Gambar 5.



Gambar 3. Hubungan linier antara cadangan karbon dan serapan karbon

Berdasarkan analisis, diketahui bahwa antara cadangan karbon dan serapan karbon mempunyai hubungan yang linear atau berbanding lurus. Berdasarkan analisis regresi linier yang menunjukkan korelasi yang signifikan antara diameter dan biomassa, grafik linieritas antara biomassa dan cadangan karbon, dan grafik linearitas cadangan karbon dan serapan karbon, menunjukkan bahwa besaran akhir serapan karbon pada suatu zona dipengaruhi oleh cadangan karbonnya. Selain itu, nilai cadangan karbon bergantung pada nilai biomasanya. Begitu juga, biomassa tidak dapat dipisahkan berdasarkan ukuran diameter tumbuhan yang ada pada suatu zona. Semakin besar diameter tanaman maka akan semakin besar pula nilai biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon, begitu pula sebaliknya.

Parameter fisik di seluruh zona Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

Data hasil pengukuran parameter fisik di seluruh zona Hutan Kota Tinjomoyo Semarang disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui mengenai parameter fisik pada zona penelitian di kawasan Hutan Kota Tinjomoyo, Semarang. Suhu udara di Hutan Kota Tinjomoyo Semarang berkisar antara 31°C – 33°C dengan suhu tertinggi terdapat pada zona 1 dan suhu udara terendah terdapat pada zona 4. Kelembaban udara di Hutan Kota Tinjomoyo Semarang berkisar antara 73% – 85% dengan kelembaban udara tertinggi terdapat pada zona 2 dan kelembaban udara terendah terdapat di zona 3. pH tanah di Hutan Kota Tinjomoyo Semarang berkisar 6.8 – 7 pH dengan pH tertinggi terdapat pada zona 4 dan pH terendah terdapat pada zona 3. Kelembaban tanah di Hutan Kota Tinjomoyo Semarang berkisar antara 20 – 23% dengan kelembaban tanah tertinggi terdapat pada zona 1 serta 3 dan kelembaban tanah terendah terdapat pada zona 2. Intensitas cahaya di Hutan Kota

Tinjomoyo Semarang berkisar antara 1576 Lux – 8100 Lux dengan intensitas cahaya tertinggi terdapat pada zona 2 dan intensitas cahaya terendah terdapat pada zona 1. Perbedaan nilai pada parameter fisik di zona penelitian diakibatkan karena pengukurannya pada waktu yang berbeda.

Tabel 4. Parameter fisik di seluruh zona Hutan Kota Tinjomoyo Semarang

| No | Lokasi | Parameter fisik | | | | |
|----|--------|-----------------|----------------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| | | Suhu Udara (°C) | Kelembaban udara (%) | pH tanah (pH) | Kelembaban tanah (%) | Intensitas cahaya (Lux) |
| 1 | Zona 1 | 31-33 | 73-85 | 6.9-7.0 | 20-30 | 1576-8100 |
| 2 | Zona 2 | 31-33 | 73-85 | 6.9-7.0 | 20-30 | 1576-8100 |
| 3 | Zona 3 | 31-33 | 73-85 | 6.9-7.0 | 20-30 | 1576-8100 |
| 4 | Zona 4 | 31-33 | 73-85 | 6.9-7.0 | 20-30 | 1576-8100 |

Adanya perbedaan biomassa, cadangan karbon dan serapan karbon pada penelitian ini adalah dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu perbedaan diameter tegakan, jenis tegakan, berat jenis tegakan dan faktor fisik pada lingkungan penelitian yaitu perbedaan suhu, kelembaban udara, pH tanah, kelembaban tanah dan intensitas cahaya. Kelembaban dan suhu merupakan komponen iklim mikro yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tegakan dan masing – masing berperan untuk mewujudkan keadaan yang optimal bagi tegakan (Zinatul *et al.*, 2017). Hasil pengukuran kelembaban udara pada beberapa zona penelitian tegakan berkisar antara 73% – 85% (Tabel 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegakan dalam penelitian ini berada pada kelembaban udara yang optimal. Kelembaban udara optimum untuk fotosintesis berkisar antara 70%-85% (Fitriany & Rizka, 2014). Berdasarkan pernyataan ini mengartikan bahwa tegakan pada zona penelitian tumbuh pada kelembapan yang optimum untuk melakukan proses fotosintesis. Menurut Fitriany & Rizka (2014), ketika kelembapan lingkungan terlalu rendah, proses fotosintesis tidak dapat menghasilkan energi yang cukup untuk tumbuhan hidup sehingga mengalami kekeringan dan mati, hal tersebut juga berlaku apabila kelembapan lingkungan terlalu tinggi, jamur dan bakteri dapat tumbuh berkelembaban yang selanjutnya menyebabkan kerusakan pada tumbuhan.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, hasil pengukuran suhu pada beberapa zona penelitian tegakan berkisar antara 31°C – 33°C (Tabel 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegakan dalam penelitian ini berada pada suhu yang optimal untuk melangsungkan proses fotosintesis. Menurut penelitian dari Yongwen (2020), menyatakan bahwa suhu optimum untuk fotosintesis berkisar antara 30°C – 40°C. Faktor suhu yang tinggi dapat menyebabkan kadar CO₂ kurang larut dalam air yang selanjutnya menyebabkan potensial air pada daun akan turun termasuk sel penutupnya sehingga stomata akan tertutup. Menutupnya stoma akan menurunkan jumlah CO₂ yang masuk ke dalam daun sehingga akan mengurangi laju fotosintesis. Hal ini juga berlaku sebaliknya, suhu yang rendah juga dapat menghambat proses fotosintesis karena mempengaruhi aliran sitoplasma di dalam sel.

Selain itu, menurut Arfina *et al.*, (2020), cahaya matahari berperan besar dalam fotosintesis dan proses fisiologis tanaman lainnya seperti respirasi, pertumbuhan dan perkembangan, membuka dan menutupnya stomata, perkecambahan tanaman dan metabolisme tanaman hijau, sehingga ketersediaannya sangat menentukan tingkat produksi tumbuhan. Selain itu, intensitas cahaya juga akan berpengaruh pada pembesaran dan diferensiasi sel seperti pertumbuhan tinggi, ukuran daun, struktur daun dan batang (Zinatul, 2017). Hasil pengukuran intensitas cahaya pada beberapa zona penelitian tegakan berkisar antara 1576 Lux – 8100 Lux (Tabel 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegakan dalam penelitian ini berada pada intensitas cahaya yang optimal. Menurut Yustiningsih (2019), intensitas cahaya optimum untuk fotosintesis berada dalam kisaran 2.000 – 10.000 lux. Berdasarkan pernyataan ini mengartikan bahwa tegakan pada zona penelitian berada pada intensitas cahaya yang optimum untuk melangsungkan proses fotosintesisnya.

Berdasarkan pernyataan Rusdiana & Lubis (2012), pH tanah juga berpengaruh secara tidak langsung terhadap cadangan karbon. Besar kecilnya nilai pH mempengaruhi ketersediaan unsur hara di dalam tanah, seperti nitrogen dan kalium. N total memberikan warna hijau pada daun (klorofil) yang berperan penting dalam fotosintesis sedangkan K berperan dalam proses biokimia dan fisiologis yang diperlukan untuk pertumbuhan, ketahanan tanaman terhadap stres dan sintesis ATP serta produksi enzim yang diperlukan dalam fotosintesis. Hasil pengukuran pH tanah pada beberapa zona penelitian tegakan berkisar antara 6,8–7 (Tabel 4). Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegakan dalam penelitian ini berada pada pH tanah yang netral. Menurut Azurianti *et al.* (2022), pH optimum untuk pertumbuhan tegakan adalah 6,5–7,5 atau cenderung netral. Berdasarkan pernyataan ini mengartikan bahwa tegakan pada zona penelitian tumbuh pada pH yang optimum untuk pertumbuhannya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan estimasi cadangan karbon yang tersimpan pada ekosistem Hutan Kota Tinjomoyo Semarang sebesar 57,72 ton/ ha dan nilai serapan karbon sebesar 211,8 ton/ha, hasil tersebut masuk dalam kriteria rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali A., Xu M.S., Zhao Y.T., Zhang Q.Q., Zhou L.L., Yang X.D., & Yan E.R. (2015). Allometric biomass equations for shrub and small tree species in subtropica China. *Silva Fennica*, 49 (4),1-10. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1275>
- Amin, N. (2016). Cadangan Karbon Pada Tumbuhan Hutan Kota Banda Aceh. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 71–80. <http://dx.doi.org/10.22373/pbio.v4i1.2534>
- Annighöfer, P., Ameztegui, A., Ammer, C. *et al.*, (2016). Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species. *Eur J Forest Res* 135, 313–329. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0937-z>
- Arfina, N., Hidayat, M., & Nisa, K. (2020). Simpanan Karbon Pada Tanah Di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 71 – 77.
- Azurianti, *et al.* (2022). Kajian Hubungan Hara Tanah Terhadap Produktivitas Tanaman Teh Produktif di Perkebunan Teh Pagar Alam, Sumatera Selatan. *J. Tanah dan Sumber Daya Lahan*. 9(1), 153–161. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.1.17>

- Baderan, D.W.K. (2017). *Serapan Karbon Hutan Mangrove Gorontalo*. Deepublish.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (2019). *Penyusunan Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca*.
- Effendi, K. (2012). *Potensi Karbon Tersimpan dan Penyerapan Karbon Dioksida Hutan Tanaman Eucalyptus sp.* [Master Thesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara]. Campus Repository. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/39658>
- Fadzarudin, F.A., (2015). *Estimasi Kandungan Biomassa Dan Karbon Tersimpan Pada Tegakan Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Di Tanaman Hutan Rakyat Bunder Kabupaten Gunungkidul*. [Thesis, Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Yogyakarta]. Campus Repository. <https://repository.umy.ac.id/handle/123456789/17703>
- Salbitano, F., S. Borelli, M. C. & Y. C. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. FAO Forest, *FAO Forestry Paper*. FAO Forest. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fathien, F. I. (2020) *Analisis Vegetasi Gulma Pada Perkebunan Kopi (Coffea sp.) Rakyat Di Desa Linggajati Kecamatan Sukaratu Kabupaten Tasikmalaya*. [Thesis, Universitas Siliwangi]. Campus Repository. <http://repositori.unsil.ac.id/4121/>
- Faza, H. & Ariantie, F. (2019). Analisis Permintaan Objek Wisata Hutan Tinjomoyo Kota Semarang. *Diponegoro Journal of Economics*, 1(1), 146–158. Available at: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/dje>.
- Fitriany, R.A.M. (2014). *Studi Keanekaragaman Tumbuhan Herba Pada Area Tidak Bertajuk Blok Curah Jarak Di Hutan Musim Taman Nasional Baluran*. [Diploma Thesis, Universitas Negeri Malang]. Campus Repository. <https://repository.um.ac.id/26651/>
- Gibbs HK., Brown, S.A., Niles, J., & Foley, J. (2007). Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks: Making REDD a Reality. *Environmental Research Letter*, 2, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326%2F2%2F4%2F045023>
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Bogor: *World Agroforestry Centre*. Available at: <https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/33706/>
- Hairiah K., Ekadinata A., Sari R.R., & R. S. (2011). Pengukuran Cadangan Karbon Dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan Edisi Kedua. Bogor: *World Agroforestry Center*.
- Hidayat, W., Susatya, A., & Apriyanto, E. (2020). Pertumbuhan Tanaman Nyamplung (*Callophylum immophyllum L.*) Dalam Blok Organik Dari Limbah Serat Buah Sawit Dengan Pemupukan Di Lahan Pantai. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*. 9(2), 109 – 118. <https://doi.org/10.31186/NATURALIS.9.2.13512>
- IPCC (2007) 'Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability', in *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. New York: Cambridge University Press., 1–987. Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf.
- Istomo., & Farida, N. E. (2017). Potensi Simpanan Karbon Di Atas Permukaan Tanah Tegakan *Acacia nilotica L.* (Willd) Ex. Del. Di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(2), 155-162. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.7.2.155-162>
- Ketterings Q. M., Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, & Palm CA. (2001). Reducing Uncertainty in the use of Allometric Biomass equations for predicting above - ground tree biomass in mixed secondary forests, *Forest Ecology and Management*, 146 (1-3), 199 - 209. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(00)00460-6)
- Kondorura, C.F. (2018). Analisis Kapasitas Ruang Terbuka Hijau Balai Kota Makassar dalam Mereduksi Emisi Kendaraan Bermotor. [Thesis, Universitas Hasanuddin]. Campus Repository https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/6796/2/D12114507_skripsi%201-2.pdf
- Kusumawardani, D., & Navastara, A. M. (2017). Analisis Besaran Emisi Gas CO₂ Kendaraan. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 399–402. <https://doi.org/10.12962/J23373539.V6I2.24392>
- Lubis, S. H., Arifin, H.S., & Samsudin, I. (2013). Analisis Cadangan Karbon Pohon Pada Lanskap Hutan Kota di DKI Jakarta (Tree Carbon Stock Analysis of Urban Forest Landscape in DKI Jakarta). *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 10(1), 1–20.
- Mansur, M. & Pratama, B. A. (2014). Potensi serapan Gas Karbondioksida (CO₂) pada jenis-jenis pohon pelindung jalan (Potential Absorption of Carbon Dioxide (CO₂) in Wayside Trees). *Jurnal Biologi Indonesia*, 10(2), 149–158. <http://dx.doi.org/10.14203/jbi.v10i2.2079>
- McGranahan, G., Marcotuellio, P., Bai, X., Balk, D., Braga, T., Douglas, I., Elmqvist, T., Rees, W., Satterthwaite, D., Songso, J., & Zlotnik, H., (2007). Urban systems. In: Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends. Island Press. 795–825.

- Munir, M. (2017). Sekuestrasi Karbon Dari Berbagai Tipe Habitat Terrestrial Di Gresik, Jawa Timur Secara Non-Destructive Dengan Persamaan Allometrik. [Thesis, Institut Teknologi Sepuluh November]. Campus Repository. https://repository.its.ac.id/47266/7/1512100703-Undergraduate_Theses.pdf
- Pebriandi., Sribudiani, E., & Mukhamadun. (2014). Estimation Of The Carbon Potential In The Above Ground At The Stand Level Poles And Trees In Sentajo Protected Forest. *Jurnal Online Mahasiswa*, 1(1), 1-13.
- Pratama, R., & Parinduri, L. (2019). Penanggulangan Pemanasan Global. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 1410–4520. <https://doi.org/10.30743/but.v15i1.1879>
- Ridwanullah, D., (2011). *Pendugaan fluktuasi kandungan karbon melalui analisis biomassa pohon Akasia (Acacia mangium Willd) studi kasus PT. Sumatera Sylva Lestari*. [Thesis, Universitas Riau].
- Romantika, S., & Putro, S. (2020). Partisipasi Masyarakat dalam Pengembangan Hutan Wisata Tinjomoyo. *Edu Geography*, 8(3), 206–212.
- Rusdiana O., & Lubis R.S. (2012). Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (Carbon Stock) Pada Hutan Sekunder. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(1), 14–21. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.3.1.%25p>
- Sarwono, J. (2009). *Statistik Itu Mudah: Panduan Lengkap untuk Belajar Komputasi Statistik Menggunakan SPSS 16*. Yogyakarta: Penerbit Universitas Atma Jaya.
- Stephenson, N., Das, A., Condit, R. *et al.* (2014). Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507, 90–93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>
- Sudarti, Yushardi, N. Kasanah, N. (2022). Analisis Potensi Emisi CO₂ Oleh Berbagai Jenis Kendaraan Bermotor di Jalan Raya Kemantren Kabupaten Sidoarjo Analysis of Potential CO₂ Emissions by Various Types of Motorized Vehicles on Highway Kemantren Sidoarjo Regency. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 70–75. <https://dx.doi.org/10.21776/ub.jsal.2022.009.02.4>
- Sundra, I.K. (2016). Metode Dan Teknik Analisis Flora Dan Fauna Darat. [Thesis, Universitas Udayana].
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa : Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Bogor: *Wetlands International Indonesia Programme*. Available at: http://jurnal.lapan.go.id/index.php/berita_dirgantara/article/view/1652%0Ainternal-pdf://100.60.239.168/217-415-1-SM.pdf.
- Syahruji, S., & Ghofur, A. (2019). Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(2), 67–78. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v4i2.118>.
- Widanirmala, M., Maryono & Muhammad., F. (2020). Upaya Pemerintah Kota Semarang dalam Menurunkan Emisi Karbondioksida di Jl. Gajahmada, Kota Semarang Semarang City Government Effort to Reduce Carbon Dioxide Emissions on Gajahmada Street, Semarang City. *Prosiding Seminar Nasional*, 195–201.
- Yamani A. (2013). Studi kandungan karbon pada hutan alam sekunder di Hutan Pendidikan Mandiangin Fakultas Kehutanan UNLAM. *Jurnal Hutan Tropis*. 1 (1), 85-91.
- Yongwen., L. (2020). Optimum temperature for photosynthesis: from leaf- to ecosystem-scale. *Science Bulletin*, 65 (8), 601-604. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2020.01.006>
- Yustiningsih., M. (2019). Intensitas Cahaya dan Efisiensi Fotosintesis pada Tanaman Naungan dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung. *Jurnal BIOEDU*. 4(2), 43-48. <https://doi.org/10.32938/jbe.v4i2.385>
- Zinatul, U., Sudiana, E., & Yani, E. (2017). Analisis Biomassa Dan Cadangan Karbon Pada Berbagai Umur Tegakan Damar (*Agathis dammara* (Lamb.) Rich.) Di KPH Banyumas Timur. *Scripta Biologica*. 4(2), 119 – 124. <https://doi.org/10.20884/1.SB.2017.4.2.404>