

Analisis Simpanan Karbon di Atas dan di Bawah Permukaan Tanah Pada Ekosistem Alami di Sub-DAS Tuntang

Analysis of Aboveground and Belowground Carbon Stocks in Natural Ecosystems of the Tuntang Sub-Watershed

Bernardinus Arga Nugrahanto^{1*}, Alfred Jansen Sutrisno¹

AFILIASI

¹Universitas Kristen Sayta Wacana, Salatiga

*Korespondensi:

512021021@student.uksw.edu

Diterima: 30-06-2026

Disetujui: 15-10-2026

**COPYRIGHT @ 2026 by
Agricola: Jurnal Pertanian.**

This work is licensed under a
Creative Commons Attributions
4.0 International License

ABSTRACT

This study aimed to determine carbon stocks in vegetation and necromass components and soil organic carbon content in natural ecosystems consisting of forests, shrublands, and grasslands in the Tuntang Sub-Watershed, and to recommend potential plant species for increasing carbon stocks in agroecosystems. A quantitative observational method was employed using primary data on site conditions, plant biomass, necromass, and soil organic carbon collected from five sampling sites. Each sampling site was inventoried, and litter samples were collected according to the established sampling plots. The data were subsequently analyzed statistically using SPSS. The results showed that the highest tree carbon stock was recorded in Forest Site 1 at 0.082 kg m⁻², while the lowest was recorded in the shrubland ecosystem at 0 kg m⁻². The highest understory carbon stock was found in Forest Site 2 at 0.77 kg m⁻², whereas the lowest was recorded in Shrubland Site 2 at 0.14 kg m⁻². The highest necromass carbon stock was recorded in Forest Site 1 at 0.29 kg m⁻², while the lowest values were found in the grassland ecosystem and Shrubland Site 1, both at 0 kg m⁻². The highest soil organic carbon content was found in the forest ecosystem at 9.80%, while the lowest was recorded in the grassland ecosystem at 6.99%. Based on vegetation characteristics and carbon storage potential, *Leucaena leucocephala* is recommended for application in plantation, rice-field, and dryland farming agroecosystems because of its potential to absorb and store carbon, provide shade, reduce soil erosion, and serve as green manure.

KEYWORDS: Carbon stock, Agroforestry, Land cover, Ecosystem services, Soil organic carbon.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui simpanan karbon pada komponen vegetasi dan nekromassa serta kandungan karbon organik tanah pada ekosistem alami yang terdiri atas hutan, semak belukar, dan padang rumput di Sub-DAS Tuntang, serta memberikan rekomendasi jenis tanaman potensial untuk meningkatkan simpanan karbon pada agroekosistem. Penelitian menggunakan metode observasional kuantitatif dengan data primer berupa kondisi tapak, biomassa tanaman, nekromassa, dan karbon organik tanah yang diperoleh dari lima titik sampel. Setiap titik sampel diinventarisasi dan diambil sampel seresah sesuai dengan demplot yang telah ditentukan, kemudian data dianalisis secara statistik menggunakan SPSS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpanan karbon pohon tertinggi terdapat pada ekosistem hutan 1 sebesar 0,082 kg/m², sedangkan terendah pada ekosistem semak belukar sebesar 0 kg/m². Simpanan karbon tumbuhan bawah tertinggi ditemukan pada ekosistem hutan 2 sebesar 0,77 kg/m², sedangkan terendah pada ekosistem semak belukar 2 sebesar 0,14 kg/m². Simpanan karbon nekromassa tertinggi ditemukan pada ekosistem hutan 1 sebesar 0,29 kg/m², sedangkan terendah pada ekosistem padang rumput dan semak belukar 1 sebesar 0 kg/m². Kandungan C-organik tanah tertinggi ditemukan pada ekosistem hutan sebesar 9,80%, sedangkan terendah pada ekosistem padang rumput sebesar 6,99%. Berdasarkan karakteristik vegetasi dan potensi penyimpanan karbon, lamtoro (*Leucaena leucocephala*) direkomendasikan untuk diterapkan pada agroekosistem kebun, sawah, dan tegalan karena berpotensi menyerap dan menyimpan karbon,

berfungsi sebagai tanaman penabung, membantu mengurangi erosi, serta dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hijau.

KATA KUNCI: Simpanan karbon, Agroforestri, Tutupan lahan, Fungsi ekosistem, Karbon organik tanah.

1. PENDAHULUAN

Ekosistem alami memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan melalui penyediaan habitat, pengaturan siklus hidrologi, pemeliharaan keanekaragaman hayati, serta penyerapan dan penyimpanan karbon (Fahrizal et al., 2024; Hidayat et al., 2024). Ekosistem alami berfungsi sebagai penyerap (sink) dan penyimpan karbon yang penting dalam mendukung kestabilan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim (Husain et al., 2025). Karbon dalam ekosistem tersimpan dalam berbagai komponen, terutama biomassa vegetasi, bahan organik mati atau nekromassa, dan tanah. Besarnya simpanan karbon dipengaruhi oleh karakteristik vegetasi, kerapatan dan komposisi jenis, kondisi tanah, hidrologi, serta karakteristik biofisik lokasi (Ramdhan et al., 2025). Oleh karena itu, informasi mengenai simpanan karbon pada berbagai tipe ekosistem penting untuk mendukung pengelolaan ekosistem dan strategi mitigasi perubahan iklim.

Hutan merupakan salah satu ekosistem alami yang memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang relatif tinggi karena memiliki biomassa vegetasi yang besar dan struktur vegetasi yang kompleks. Karbon tersimpan dalam batang, cabang, ranting, daun, akar, serasah, nekromassa, dan tanah. Hutan dengan keragaman vegetasi dan jumlah serasah yang tinggi berpotensi memiliki simpanan karbon yang besar (Astuti et al., 2020; Qirom et al., 2018). Kerapatan serta kondisi vegetasi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi jumlah biomassa dan karbon yang tersimpan. Kondisi vegetasi hutan dapat dikaji melalui karakteristik kerapatan dan perubahan tutupan vegetasi. Prasetyo et al. (2017) menunjukkan bahwa pendekatan NDVI dan EVI menggunakan citra Landsat 8 dapat digunakan untuk menganalisis perubahan kerapatan hutan di Kabupaten Semarang. Informasi mengenai kondisi vegetasi tersebut penting sebagai dasar untuk memahami kapasitas ekosistem dalam mempertahankan biomassa dan simpanan karbon.

Selain hutan, semak belukar dan padang rumput juga merupakan ekosistem yang berkontribusi terhadap penyimpanan karbon. Semak belukar memiliki kemampuan menyimpan karbon melalui biomassa vegetasi, serasah, nekromassa, dan tanah, meskipun kapasitasnya dapat berbeda dengan ekosistem hutan karena perbedaan struktur dan kerapatan vegetasi (Ratnaningsih et al., 2014; Qirom et al., 2018). Sementara itu, padang rumput berperan dalam siklus karbon melalui penyimpanan karbon pada biomassa tumbuhan dan terutama pada sistem perakaran serta tanah (Liu et al., 2023). Perbedaan struktur dan komposisi vegetasi pada ketiga tipe ekosistem tersebut berpotensi menghasilkan perbedaan dalam jumlah dan distribusi simpanan karbon.

Sub-DAS Tuntang Hulu merupakan salah satu wilayah yang telah menjadi lokasi berbagai kajian mengenai karbon. Penelitian terdahulu telah mengkaji simpanan karbon pada agroekosistem kebun dan perkebunan di wilayah Tuntang Hulu. Mustikasari dan Simanjuntak (2025) melaporkan bahwa kapasitas penangkapan dan penyimpanan karbon pada agroekosistem perkebunan dan kebun dipengaruhi antara lain oleh jenis vegetasi, pH tanah, tekstur tanah, dan bobot isi tanah. Penelitian lain oleh Sigar et al. (2025) menganalisis simpanan karbon tanah pada sawah irigasi, sawah tadah hujan, dan tegalan di Sub-DAS Tuntang Hulu. Selain itu, Anugraheni et al. (2025) mengkaji hubungan biodiversitas dan serapan karbon vegetasi pada agroekosistem sawah irigasi dan kebun di wilayah yang sama. Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa kajian karbon di Sub-DAS Tuntang Hulu telah berkembang, tetapi sebagian besar berfokus pada agroekosistem atau komponen karbon tertentu.

Meskipun demikian, informasi mengenai simpanan karbon pada ekosistem alami di Sub-DAS Tuntang Hulu masih perlu dikembangkan, khususnya kajian yang membandingkan beberapa tipe ekosistem alami dengan karakteristik vegetasi yang berbeda. Penelitian sebelumnya di wilayah tersebut lebih banyak berfokus pada agroekosistem atau komponen karbon tertentu, sehingga informasi komparatif mengenai ekosistem alami masih terbatas. Penelitian yang mengintegrasikan komponen karbon pohon, tumbuhan bawah, nekromassa, dan kandungan karbon organik tanah dalam satu kajian komparatif pada ekosistem hutan, semak belukar, dan padang rumput masih diperlukan. Kajian tersebut penting karena setiap tipe ekosistem memiliki struktur vegetasi, produktivitas biomassa, jumlah bahan organik mati, dan kondisi tanah yang berbeda sehingga berpotensi menghasilkan pola simpanan karbon yang berbeda pula.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan komparatif terhadap simpanan karbon pada tiga tipe ekosistem alami, yaitu hutan, semak belukar, dan padang rumput, dengan mempertimbangkan beberapa komponen karbon yang meliputi biomassa pohon, tumbuhan bawah,

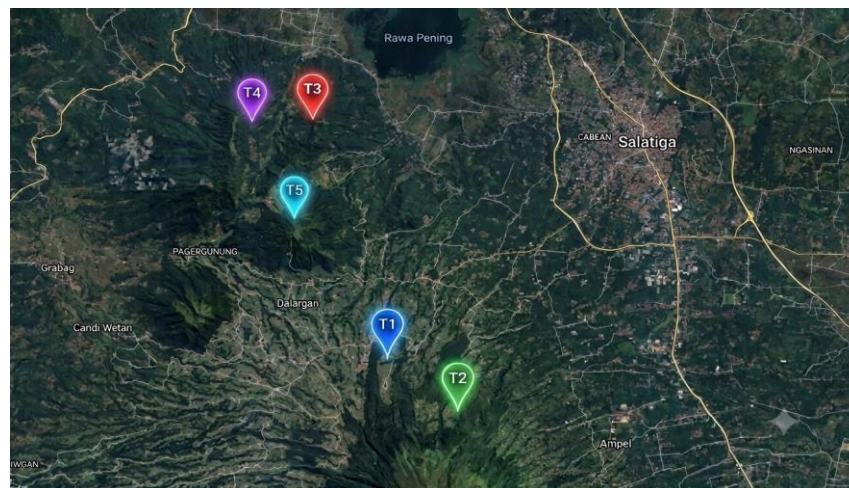
nekromassa, dan karbon organik tanah. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih terpadu mengenai distribusi simpanan karbon pada ekosistem alami di Sub-DAS Tuntang Hulu. Kebaruan penelitian terletak pada pengintegrasian dan perbandingan beberapa komponen karbon tersebut pada tiga tipe ekosistem alami dalam satu kajian. Selain menghasilkan informasi mengenai kondisi simpanan karbon, penelitian ini juga menghubungkan karakteristik vegetasi dengan potensi pemanfaatannya sebagai dasar rekomendasi jenis tanaman yang dapat diterapkan pada agroekosistem kebun, sawah, dan tegalan.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis simpanan karbon pada komponen vegetasi dan nekromassa serta kandungan karbon organik tanah pada ekosistem hutan, semak belukar, dan padang rumput di Sub-DAS Tuntang Hulu, serta memberikan rekomendasi jenis tanaman potensial untuk mendukung peningkatan simpanan karbon pada agroekosistem.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2024 yang diawali dengan survei dan pengambilan sampel di Sub DAS (Daerah Aliran Sungai) Tuntang Hulu di Kabupaten Semarang. Sebaran titik sampel sebanyak 5 titik sampel ekosistem alami yang terdiri dari 2 titik hutan, 1 titik padang rumput, dan 2 titik semak belukar. Gambar 1 menjelaskan T1 dan T2 merupakan titik sampel berupa hutan, T3 berupa padang rumput, T4 dan T5 berupa semak belukar. Titik sampel ditentukan dengan mempertimbangkan tujuan penelitian, yaitu memperoleh data yang representatif mengenai simpanan karbon permukaan tanah dan karbon organik tanah pada ekosistem alami di Sub-DAS Tuntang. Pemilihan lokasi dilakukan berdasarkan variasi tipe ekosistem, kondisi vegetasi, serta karakteristik biofisik lahan sehingga setiap titik sampel mampu mewakili kondisi wilayah penelitian. Selanjutnya sampel di analisis di Laboratorium Tanah Fakultas dan Bisnis Universitas Kristen Satya Wacana.



Gambar 1. Peta Sebaran Titik Sampel

2.2. Jenis dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan observasional kuantitatif. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi kondisi tapak, komposisi dan struktur vegetasi, biomassa tanaman, nekromassa, serta kandungan karbon organik tanah (Tabel 2). Data sekunder berupa citra Sentinel-2A digunakan sebagai data pendukung dalam penentuan dan interpretasi kondisi lokasi penelitian. Kerangka pemikiran yang merupakan tahapan penelitian seperti pada Gambar 2. Hasil nilai simpanan karbon pohon, simpanan karbon tumbuhan bawah, dan simpanan karbon nekromassa kemudian diuji untuk melihat perbedaan simpanan karbon di atas permukaan tanah maupun didalam tanah pada ekosistem hutan, semak belukar, dan padang rumput di SUB-DAS Tuntang.

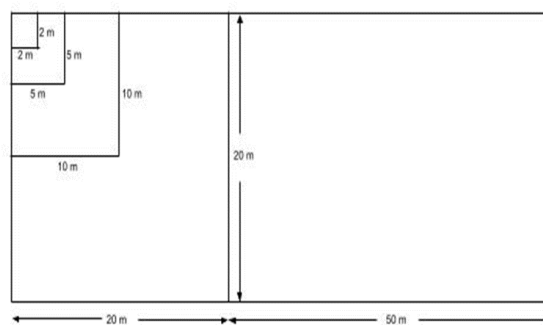
2.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data diawali dengan pengamatan vegetasi dengan pembuatan demplot penelitian (Gambar 3). Pengamatan vegetasi dilakukan menggunakan beberapa ukuran demplot sesuai dengan tingkat pertumbuhan tanaman. Demplot berukuran 20×50 m dan 20×20 m digunakan untuk pengukuran vegetasi tingkat pohon. Demplot berukuran 10×10 m digunakan untuk pengambilan sampel vegetasi tingkat perdu, sedangkan demplot berukuran 5×5 m digunakan untuk pengamatan vegetasi tingkat semak. Sementara itu, demplot berukuran 2×2 m digunakan untuk pengambilan sampel tumbuhan bawah, serasah vegetasi, dan

nekromassa. Pembagian ukuran demplot tersebut bertujuan untuk memperoleh data vegetasi yang lebih representatif sesuai dengan karakteristik setiap strata tumbuhan.



Gambar 2. Kerangka Pemikiran



Gambar 3. Demplot Pengukuran

Selanjutnya dilakukan kegiatan inventarisasi yaitu mengidentifikasi dan mencatat seluruh jenis tumbuhan: nama tumbuhan, dan jumlah setiap tumbuhan yang ditemukan pada setiap demplot di vegetasi hutan, padang rumput, dan semak belukar, dengan pengaturan sebagai berikut:

1. Proses pengukuran pada vegetasi strata pohon, dilakukan dengan metode *non destructive sampling* yaitu dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode ini dilakukan dengan cara mengukur tinggi atau diameter tanaman pohon. Pengukuran diameter batang dan tinggi tanaman untuk memperoleh data pertumbuhan dan struktur tegakan. Pengukuran diameter batang menggunakan meteran atau jangka sorong sedangkan untuk tinggi tanaman menggunakan hagameter, yaitu mengukur batang tanaman dari batang bagian bawah setinggi 1,3 m. Pengukuran dilakukan dengan melilitkan pita ukur sejajar pada batang pohon setinggi 1,3 meter dengan posisi pita harus sejajar untuk semua arah, sehingga didapat data berupa keliling batang ($K = \pi D$). Kemudian untuk memperoleh data diameter pohon menggunakan rumus $D = K/\pi$ ¹. Dilakukan juga pengukuran lebar tajuk tiap pohon menggunakan bagian terluar dari tajuk. Selain itu, dilakukan pengukuran nekromasa pada semua pohon dengan mengambil sampel dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm. Pada demplot 10 x 10 meter dan 5 x 5 meter. Pengukuran biomassa pohon dapat dilakukan menggunakan persamaan alometrik seperti berikut ini.

Table 1. Persamaan Alometrik Estimasi Biomassa Pohon

Jenis Pohon	Estimasi Biomassa Pohon (kg/pohon)	Sumber
Pohon bercabang	$BK = 0.11 \rho D^{2.62}$	Ketterings, 2001
Pohon tidak bercabang	$BK = \pi \rho H D^2/40$	Hairiah et al, 1999
Kopi dipangkas	$BK = 0.281 D^{2.06}$	Arifin, 2001
Pisang	$BK = 0.030 D^{2.13}$	Arifin, 2001
Bambu	$BK = 0.131 D^{2.28}$	Priyadarsini, 1999
Sengon	$BK = 0.0272 D^{2.831}$	Sugiharto, 2002
Pinus	$BK = 0.0417 D^{2.6576}$	Waterloo, 1995
Kenari Muda	$Y = -941,765 + 399,903 X_1 + 3,429 X_2$	Mardiatmoko, 2020

Sumber : Hairiah & Subekti (2007)

Keterangan :

BK = Berat kering (gram)

D = Diameter pohon (cm)

H = Tinggi pohon (cm)

P = BJ kayu (g/cm³)

Untuk perhitungan nekromassa berkayu dengan cabang dapat menggunakan rumus alometrik seperti pohon (lihat tabel 3.3). Disisi lain untuk nekromassa pohon yang tidak bercabang dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$BK \left(\frac{kg}{nekromas} \right) = \frac{\pi \rho H D^2}{40} \quad (1)$$

Keterangan :

H = panjang/tinggi nekromasa (cm)

D = diameter nekromassa (cm)

- Proses pengukuran biomassa tumbuhan bawah dilakukan pada demplot 2 x 2 meter dilakukan pengukuran biomassa tumbuhan bawah dan serasah tanaman. Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan metode *destruktif* atau merusak bagian tanaman. Pada setiap demplot kecil dilakukan pengambilan seluruh tumbuhan bawah yang terdapat di dalamnya kemudian dipisahkan antara daun dan batang tanaman menggunakan gunting atau pisau lalu ditimbang untuk mendapatkan data berat basah nya. Pengukuran nekromassa dilakukan pada plot 0,5 x 0,5 meter dengan mengambil serasah dan ditimbang berat basah nya. Selanjutnya dilakukan pengeringan sampel baik biomassa maupun nekromassa tumbuhan bawah menggunakan oven selama 2x24 jam untuk data berat kering nya. Untuk perhitungan total berat kering tanaman bawah setiap plot menggunakan rumus sebagai berikut ini.

$$\text{Total Berat Kering(g)} = \frac{BK \text{ sampel (g)}}{BB \text{ sampel (g)}} \times \text{Total BB (g)} \quad (2)$$

Keterangan:

BK = Berat kering

BB = Berat basah

Untuk menghitung total karbon (C) tersimpan per komponen menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat kering biomassa atau nekromasa (kg ha}^{-1}) \times 0.46 \quad (3)$$

Keterangan :

0.46 = Estimasi konsentrasi C dalam bahan organik tersimpan

- Proses pengambilan sampel tanah untuk menentukan karbon tanah dilakukan di dalam demplot 20 x 20 m. Satu sampel tanah utuh di setiap demplot diambil 1 ring. Pengambilan sampel tanah dilakukan dari kedalaman 0-15 cm saat kondisi tanah agak kering untuk memastikan sampel yang diambil tidak terlalu basah atau kering. Dalam demplot 20 x 20 m juga diambil sampel tanah komposit dengan cara mengambil 20 genggam tanah dari 20 titik-titik berbeda dan mencampurkannya menjadi satu. Variabel yang diamati

dalam pengukuran karbon tanah antara lain bobot isi menggunakan metode ring sampel dan kandungan bahan organik menggunakan metode Walkey & Black.

Table 2. Jenis Data

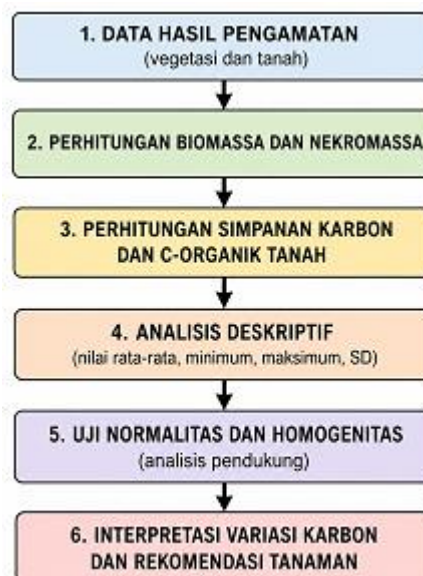
Jenis data	Satuan	Metode	Fungsi
Jumlah spesies pohon	Batang	Survei lapangan	Evaluasi kondisi eksisting
Jumlah individu pohon	Batang	Survei lapangan	Evaluasi kondisi eksisting
Pengukuran batang	Cm	Survei lapangan	Menghitung biomassa pohon
Biomassa	kg/m ²	Analisis	Menghitung simpanan karbon
Nekromassa	kg/m ²	Analisis	Menghitung simpanan karbon
Berat basah	Gram	Analisis laboratorium	Menghitung biomassa
Berat kering	gram	Analisis Laboratorium	Menghitung biomassa
Kandungan C-Organik tanah	%	Analisis Laboratorium	Menghitung simpanan karbon tanah

2.4. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk menggambarkan variasi simpanan karbon pada setiap titik pengamatan (Gambar 4 Tahapan analisis data penelitian). Data yang dianalisis meliputi simpanan karbon pohon, simpanan karbon tumbuhan bawah, simpanan karbon nekromassa, dan kandungan C-organik tanah. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan dibandingkan antar titik pengamatan untuk menggambarkan variasi simpanan karbon pada ekosistem hutan, padang rumput, dan semak belukar.

Analisis statistik menggunakan SPSS dilakukan sebagai analisis pendukung untuk mengevaluasi karakteristik data. Uji normalitas dilakukan pada tingkat signifikansi (α) = 0,05 untuk mengetahui distribusi data, sedangkan uji homogenitas dilakukan pada tingkat signifikansi yang sama untuk mengetahui kesamaan varians data (Razali & Wah, 2011; Levene, 1960).

Pengukuran simpangan baku (standar deviasi) dalam penelitian ini tidak digunakan karena nilai yang disajikan merupakan hasil pengukuran tunggal per lokasi, artinya tidak ada pengulangan pengambilan sampel di tiap lokasi titik sampel. Setiap titik sampel dalam penelitian ini diperlakukan sebagai satu unit observasi yang mewakili karakteristik masing-masing ekosistem.



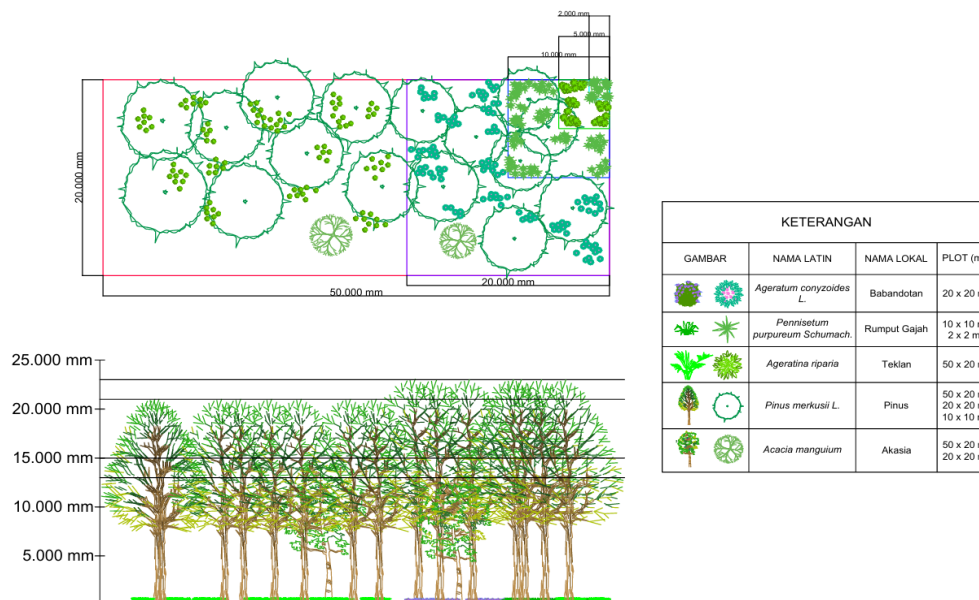
Gambar 4. Tahapan Analisis Data Penelitian

Hipotesis atau dugaan sementara pada penelitian ini adalah :

- Hipotesis Nol (H_0)** : Tidak terdapat perbedaan simpanan karbon di atas permukaan tanah maupun dalam tanah antara ekosistem hutan, semak belukar, dan padang rumput di SUB-DAS Tuntang.
- Hipotesis Alternatif (H_1)** : Terdapat perbedaan simpanan karbon di atas permukaan tanah maupun dalam tanah pada ekosistem hutan, semak belukar, dan padang rumput di SUB-DAS Tuntang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

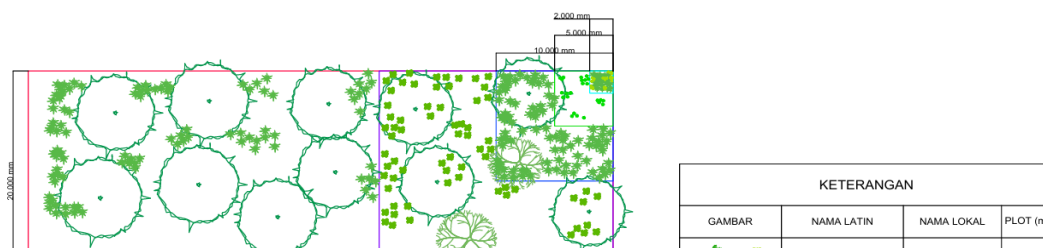
3.1. Evaluasi Kondisi Eksisting



Gambar 5. Potongan Atas dan Melintang Hutan 1

Hutan yang menjadi titik sampel penelitian merupakan hutan alami yang belum diolah maupun digunakan sebagai lahan pertanian aktif oleh manusia. Pada agroekosistem hutan ini terdapat berbagai jenis tumbuhan, dengan ukuran yang berbeda dan jenis yang berbeda pula. Sejalan dengan pernyataan Idris et al. (2013), Hutan alami merupakan ekosistem hutan yang terbentuk secara alami dan tersusun dari berbagai jenis vegetasi dan berkembang melalui regenerasi alami tanpa campur tangan manusia secara intensif. Struktur vegetasi di hutan alami cukup kompleks, keanekaragaman jenis yang tinggi dan berfungsi penting dalam penyimpanan karbon. Pada sampel hutan 1, pohon yang mendominasi adalah pohon pinus (*Pinus merkusii* L.). Sedangkan tumbuhan bawah yang mendominasi adalah babadotan (*Ageratum conyzoides* L.) dan rumput gajah (*Pennisetum purpureum* Schumach.). Hasil survei tegakan pada sampel hutan 1 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada sampel hutan 2, pohon pinus (*Pinus merkusii* L.) masih mendominasi untuk kelompok jenis pepohonan. Selanjutnya untuk tumbuhan bawah, rumput gajah (*Pennisetum purpureum* Schumach.) lebih banyak ditemukan daripada tumbuhan bawah lainnya. Hasil survei tegakan pada agroekosistem hutan 2 dapat dilihat pada Gambar 6.

Kondisi agroekosistem alami hutan ini keduanya memiliki tutupan vegetasi pohon pinus tumbuh tersebar dengan jarak tumbuh dan ketinggian yang berbeda - beda. Tumbuhan bawah hidup tersebar dan tumbuh memenuhi lantai permukaan tanah. Sesuai dengan pernyataan Rawana et al. (2023), hutan merupakan kesatuan ekosistem yang berisi sumber daya alam hayati dan didominasi oleh pepohonan. Meskipun memiliki tutupan vegetasi yang sama, untuk tutupan vegetasi bawah memiliki perbedaan tumbuhan yang mendominasi. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan lingkungan tumbuh dan persebaran benih tumbuhan bawah. Menurut Cahyanto et al. (2022), meskipun memiliki tegakan pohon yang sama, komposisi tumbuhan bawah dapat berbeda karena tumbuhan bawah dinilai lebih responsif terhadap kondisi lingkungan mikro seperti intensitas cahaya, kelembaban, suhu, kondisi tanah, dan tingkat gangguan yang terjadi di ekosistem tersebut. Faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap kemampuan tumbuhan untuk bertahan hidup sehingga menghasilkan komposisi tumbuhan bawah yang berbeda.



Gambar 6. Potongan Atas dan Melintang Hutan 2

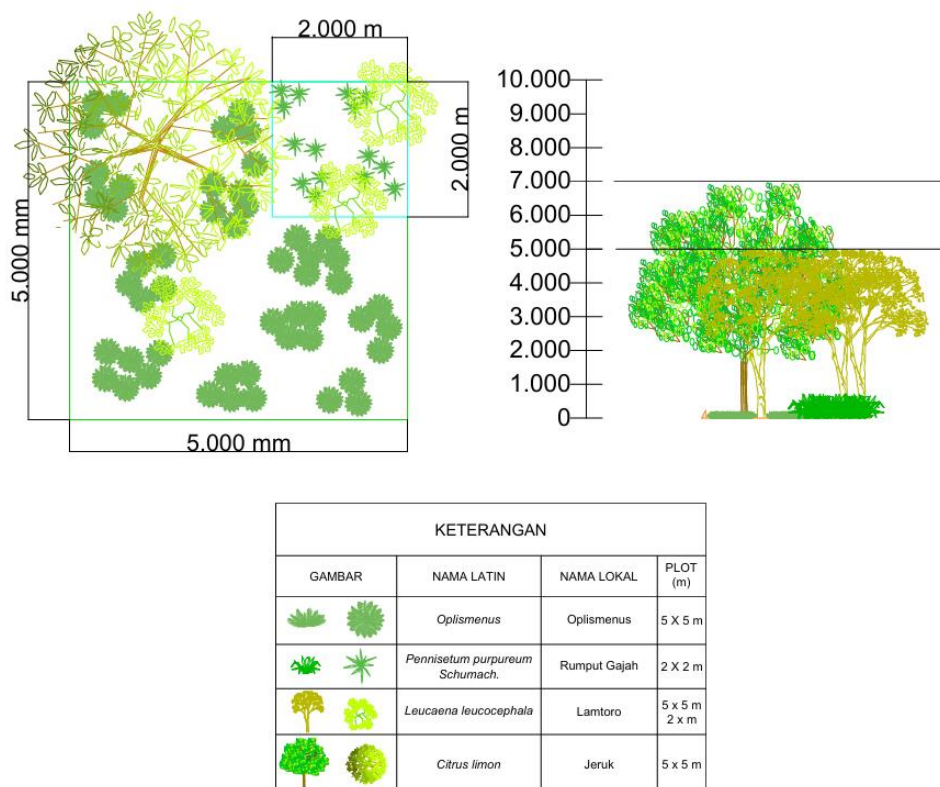
Pohon pinus yang mendominasi agroekosistem hutan vegetasi atas memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap karbon dan menyimpannya dalam bentuk batang, cabang, daun, akar, serasah, serta beberapa ada di dalam tanah. Faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan pohon pinus dalam menyerap dan menyimpan karbon adalah tinggi dan diameter pohon. Umur suatu pohon menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi penyerapan dan penyimpanan karbon. Semakin tua suatu pohon, maka diameter batang akan bertambah. Dengan begitu karbon akan semakin banyak terserap oleh pohon (Pradipta et al., 2022). Selain itu, kerapatan pinus, semak, dan rumput yang ada pada agroekosistem hutan juga dapat mempengaruhi jumlah biomassa serasah (Basuki & Mandala, 2024). Selanjutnya, rumput gajah memiliki laju pertumbuhan sangat cepat dan produksi biomassa yang tinggi. Produksi biomassa yang tinggi menjadikan rumput gajah sebagai salah satu vegetasi yang dapat menyerap karbon pada lahan terbuka (Amalyadi, 2024).

Pada sampel padang rumput, pohon yang mendominasi adalah lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dan tumbuhan bawah yang mendominasi adalah Oplismenus (*Oplismenus*). Hasil survei ditunjukkan pada Gambar 7. Dari hasil survei menunjukkan adanya sedikit pepohonan berkayu yang menjulang tinggi dan ditemukan rerumpunan yang tersebar di permukaan tanah. Sejalan dengan pernyataan Hematang (2022), Padang rumput merupakan ekosistem atau vegetasi yang didominasi tumbuhan rumput dan herba, pohon dan semak yang sedikit atau tidak dominan. Padang rumput ini merupakan wilayah yang kondisi iklim, tanah, dan keberadaanya mendukung pertumbuhan rumput daripada pohon.

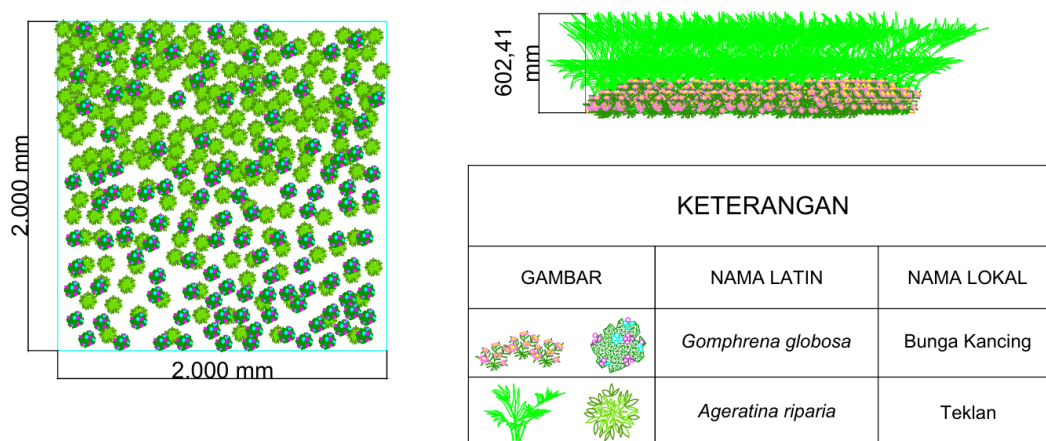
Tumbuhan yang mendominasi pada agroekosistem padang rumput adalah lamtoro yang tumbuh menyebar. Tumbuhan lamtoro ini merupakan jenis pohon *leguminosa* yang tumbuhnya cepat, dapat menghasilkan biomassa tinggi, dan mampu mengikat nitrogen (melalui simbiosis dengan bakteri akar). Beberapa karakteristik tersebut dapat menjadikan lamtoro memiliki potensi yang tinggi dalam penyerapan CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk biomassa batang, daun, akar, cabang, dan bahan organik tanah. Lamtoro juga banyak direkomendasikan untuk pembukaan lahan baru bekas tambang karena menghasilkan biomassa tinggi yang berguna untuk peningkatan karbon ekosistem (Ichsanudin et al., 2024). Oplismenus yang dikategorikan sebagai rumput bawah tegakan (pepohonan) yang menyerap CO₂ melalui fotosintesis. Ukuran tumbuhan ini relatif kecil sehingga cadangan karbon yang disimpan juga cenderung kecil jika dibandingkan dengan vegetasi berkayu maupun semak besar lainnya namun tetap berkontribusi terhadap simpanan karbon (Sumarna & Hadisusanto, 2024).

Pada sampel semak belukar 1, tidak ditemukan pohon yang mendominasi sedangkan tanaman bawah yang mendominasi adalah tekla (*Ageratina riparia*). Hasil survei ditunjukkan pada Gambar 8. Pada sampel semak belukar 2, juga tidak ditemukan pohon yang mendominasi sedangkan tanaman bawah yang mendominasi adalah rumput teki (*Cyperus rotundus*). Hasil survei ditunjukkan pada gambar 5. Kedua titik sampel tidak memiliki tumbuhan berkayu besar, seluruhnya didominasi dengan rumputan berbatang kecil. Menurut Talakua (2019), semak belukar merupakan kawasan lahan yang didominasi oleh vegetasi semak dan tumbuhan berkayu berukuran kecil. Kawasan ini dapat terbentuk pada lahan bekas pertanian atau ladang yang ditinggalkan,

maupun sebagai sisa dari hutan yang lebih rapat setelah pohon-pohon besar di dalamnya mengalami penebangan.



Gambar 7. Potongan Atas dan Melintang Padang Rumput

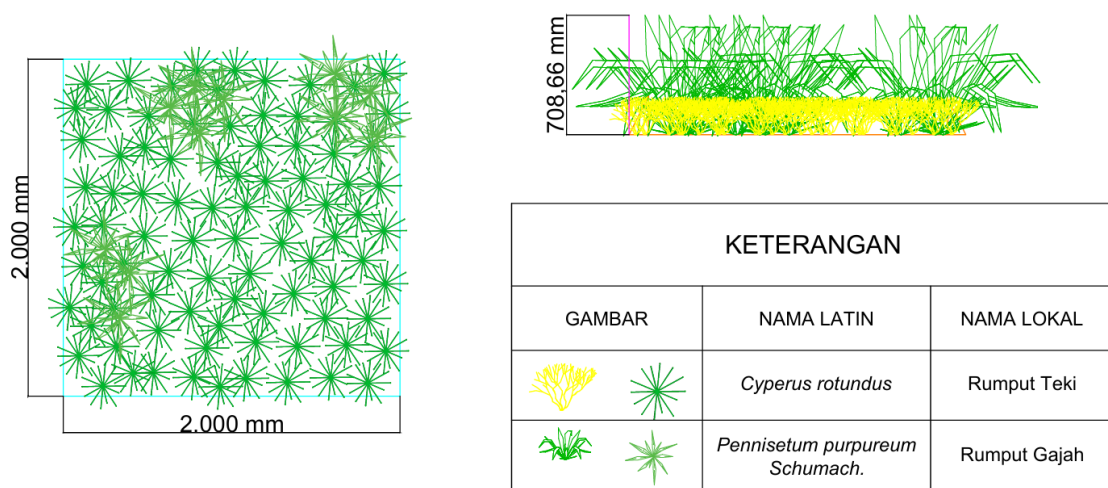


Gambar 8. Potongan Atas dan Melintang Semak Belukar 1

Teklan merupakan tumbuhan yang diklasifikasikan tumbuhan herba menahun, tekla dapat tumbuh cepat dan dapat menjadi tutupan vegetasi yang rapat dan menjadi tanaman yang mendominasi. Penelitian yang dilakukan oleh Sari et al. (2022) di Kebun Raya Bali menunjukkan bahwa tumbuhan tekla memiliki tingkat toleransi yang tinggi pada intensitas cahaya, suhu, serta kelembaban, tekla dapat tumbuh di segala situasi baik lahan yang curam dan tanah yang kurang subur. Tingkat kepadatan dan kerapatan tekla ini dapat disimpulkan bahwa tekla berkontribusi dalam penyimpanan karbon dan dapat menghasilkan biomassa yang cukup besar pada strata tumbuhan bawah. Selanjutnya, rumput teki merupakan rerumputan jenis herba memiliki sistem perakaran yang menjalar dan umbi bawah tanah yang berkembang sangat baik. Dalam penelitiannya, Amprin & Anisum (2020), melakukan uji coba penanaman rumput teki di daerah yang terkontaminasi hidrokarbon dan hasilnya menunjukkan rumput teki dapat tumbuh dan bertahan pada lingkungan yang tidak mendukung. Dalam

kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa rumput teki memiliki potensi sebagai penyimpan karbon pada vegetasi bawah tanah karena tetap dapat memproduksi biomassa pada lingkungan yang kurang baik.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, karbon tanah yang ada pada hutan 1 menunjukkan hasil yang paling besar yaitu 9,8% dan paling rendah ditemukan pada ekosistem padang rumput sebesar 6,99% (Tabel 3). Kandungan C-organik tanah dapat mencerminkan kondisi dan kualitas tanah serta dipengaruhi oleh penggunaan dan pengelolaan lahan (Suleman et al., 2026). C-organik berasal dari sisa tumbuhan atau hewan di tanah yang mengalami perubahan bentuk karena faktor biologi. Hutan memiliki vegetasi yang rapat karena banyak pepohonan yang menjulang tinggi dengan kanopi (tajuk) yang rapat dan berlapis sehingga tingkat volume serasah akan lebih tinggi. Selain itu, rapatnya tumbuhan tutupan lahan di hutan, akan menjadikan serasah lebih banyak. Menurut Rauf (2023), tingginya volume serasah (daun, ranting, bunga, buah yang gugur) dipengaruhi oleh rapatnya vegetasi. C-organik sendiri merupakan bagian dari materi organik tanah yang meliputi serasah, biomassa mikroba, dll. Tinggi rendahnya C-organik berkaitan dengan nilai serasah, artinya adanya serasah di permukaan tanah memberikan dampak terhadap tinggi dan rendahnya kandungan C-organik (Sulthan Nainawa et al., 2021).



Gambar 9. Potongan Atas dan Melintang Semak Belukar 1

Table 3. Karbon Organik Tanah Pada Penggunaan Lahan

No.	Penggunaan Lahan	Total C-organik (%)
1.	Hutan 1	9,8
2.	Hutan 2	9
3.	Padang Rumput	6,99
4.	Semak belukar 1	8,21
5.	Semak belukar 2	8,67

3.2. Evaluasi Variasi Simpanan Karbon Pada Ekosistem Alami

Data yang diperoleh dari analisis laboratorium ditunjukkan pada Tabel 4. Data tersebut meliputi data simpanan karbon tumbuhan atas, simpanan karbon tumbuhan bawah, dan simpanan karbon nekromassa di setiap penggunaan lahan. Data menunjukkan bahwa penggunaan lahan hutan memiliki simpanan karbon di atas permukaan tanah tertinggi. Hal ini disebabkan vegetasi hutan lebih rapat sehingga menghasilkan serasah yang lebih banyak.

Table 4. Variasi Simpanan Karbon

Penggunaan Lahan	Simpanan Karbon Pohon (kg/m ²)	Simpanan Karbon Tanaman Bawah (kg/m ²)	Simpanan Karbon Nekromassa (kg/m ²)
Hutan 1	0,082051	0,493672	0,290058
Hutan 2	0,069914	0,774530	0,262347
Padang Rumput	0,000079	0,218886	-
Semak belukar 1	0	0,169096	-
Semak Belukar 2	0	0,140907	0,044583

Uji normalitas data dilakukan menggunakan SPSS pada tingkat signifikansi (α) = 0,05. Pada uji normalitas, hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa data berdistribusi normal, sedangkan hipotesis alternatif (H_1) menyatakan bahwa data tidak berdistribusi normal. Hasil uji normalitas disajikan pada **Tabel 5**. Nilai *p-value* pada variabel simpanan karbon pohon menunjukkan nilai < 0,05, sehingga H_0 ditolak dan data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Selanjutnya, dilakukan uji homogenitas pada tingkat signifikansi (α) = 0,05. Hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi < 0,05, sehingga data dinyatakan tidak homogen.

Table 5. Hasil Uji Normalitas dan Uji Heterogenitas

Kelas	Normalitas	Homogenitas
Simpanan Karbon pohon	0,018 (Tidak normal)	
Simpanan Karbon Tumbuhan Bawah	0,711 (Normal)	0,021 (Tidak homogen)
Nekromassa	0,449 (Normal)	

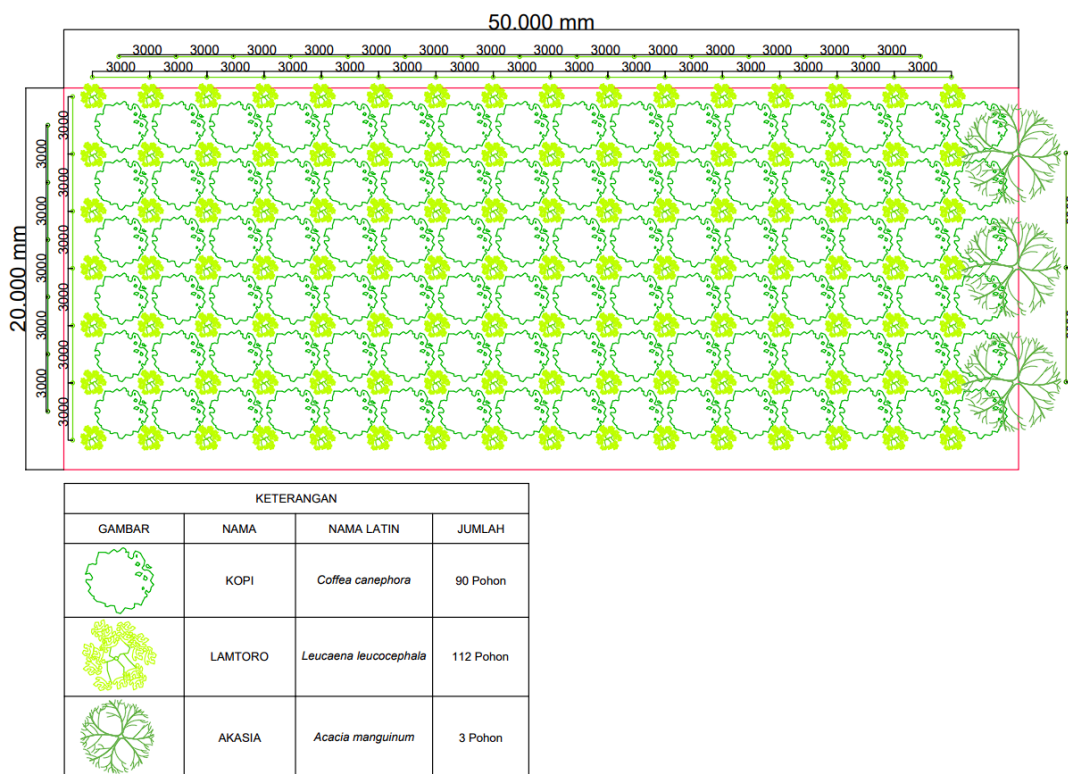
Selanjutnya, dilakukan uji Friedman menggunakan SPSS pada tingkat signifikansi (α) = 0,05 untuk mengevaluasi variasi nilai simpanan karbon berdasarkan data pengamatan. Hasil uji menunjukkan nilai *p-value* < 0,001, sehingga H_0 ditolak. Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan nilai simpanan karbon pada data yang dianalisis. Namun, karena setiap titik sampel hanya memiliki satu kali pengambilan sampel tanpa ulangan, hasil uji tersebut tidak digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan perbedaan yang signifikan antar tipe ekosistem. Variasi nilai simpanan karbon pada masing-masing lokasi diduga berkaitan dengan perbedaan faktor iklim, topografi, karakteristik lahan, umur dan kepadatan vegetasi, serta kondisi lingkungan tumbuh. Perubahan tutupan lahan dan kondisi vegetasi juga dapat memengaruhi dinamika simpanan karbon pada suatu ekosistem (Ramdhan et al., 2025).

3.3. Rekomendasi Tanaman

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap biomassa pohon, tumbuhan bawah, dan nekromassa pada masing-masing ekosistem alami, diperoleh variasi simpanan karbon antar titik pengamatan. Oleh karena itu, rekomendasi tanaman disusun berdasarkan jenis vegetasi yang ditemukan pada lokasi penelitian, karakteristik vegetasi, potensi biomassa, serta kesesuaiannya untuk diterapkan pada agroekosistem kebun, tegalan, dan sawah. Salah satu komoditas perkebunan yang unggul dan memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia adalah kopi (*Coffea*). Kopi merupakan tanaman yang membutuhkan intensitas cahaya matahari yang tidak penuh tetapi tetap memerlukan pencahayaan yang sesuai selama pertumbuhannya. Tanaman kopi memerlukan naungan untuk menjaga intensitas cahaya agar tidak terlalu rendah maupun terlalu tinggi. Intensitas cahaya yang diterima tanaman berkaitan dengan proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman (Hanatul Qolby et al., 2025). Berdasarkan hasil survei vegetasi di lokasi penelitian, jenis tanaman yang berpotensi digunakan sebagai tanaman penaung adalah lamtoro dan akasia. Namun, akasia memiliki tajuk yang relatif rapat dan sistem perakaran yang dapat menimbulkan persaingan dengan tanaman utama dalam memperoleh air, cahaya, dan unsur hara (Komang Surata, 2010). Oleh karena itu, diperlukan tanaman penaung yang memiliki tajuk tidak terlalu rapat dan mudah dikelola melalui pemangkasan sehingga dapat menjaga keseimbangan kebutuhan cahaya, suhu, kelembapan, dan ketersediaan air tanah. Berdasarkan karakteristik tersebut, lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dinilai lebih sesuai untuk digunakan sebagai tanaman penaung kopi karena memiliki tajuk yang relatif mudah diatur dan tidak terlalu rapat (**Gambar 10**). Pida dan Ariska (2022) menyatakan bahwa lamtoro merupakan salah satu jenis tanaman penaung yang dapat digunakan pada tanaman kopi karena karakteristik tajuk dan sistem perakarannya. Selain berfungsi sebagai tanaman penaung, lamtoro

juga berpotensi menghasilkan biomassa, membantu meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah, serta dapat dikelola melalui pemangkasan untuk mengatur distribusi cahaya pada tanaman utama.

Pada Gambar 10, tanaman kopi ditata dalam pola barisan dengan jarak tanam 3×3 m, baik dalam barisan maupun antarbarisan. Berdasarkan rancangan tersebut, jumlah tanaman kopi yang digunakan sebanyak 90 pohon. Tanaman lamtoro ditempatkan di antara barisan kopi dengan pola zigzag sebagai tanaman pelindung atau penaung. Berdasarkan rancangan penanaman, jumlah lamtoro sebanyak 112 pohon sehingga dapat memberikan naungan secara relatif merata pada tanaman kopi. Sementara itu, akasia ditempatkan pada sisi kanan lahan sebagai tanaman pemecah angin (*windbreak*). Jarak tanam akasia ditetapkan 6 m antar pohon dalam satu garis tanam. Penataan tersebut dimaksudkan untuk mengoptimalkan fungsi lamtoro sebagai tanaman penaung dan akasia sebagai pelindung dari angin tanpa mengganggu ruang tumbuh tanaman kopi.

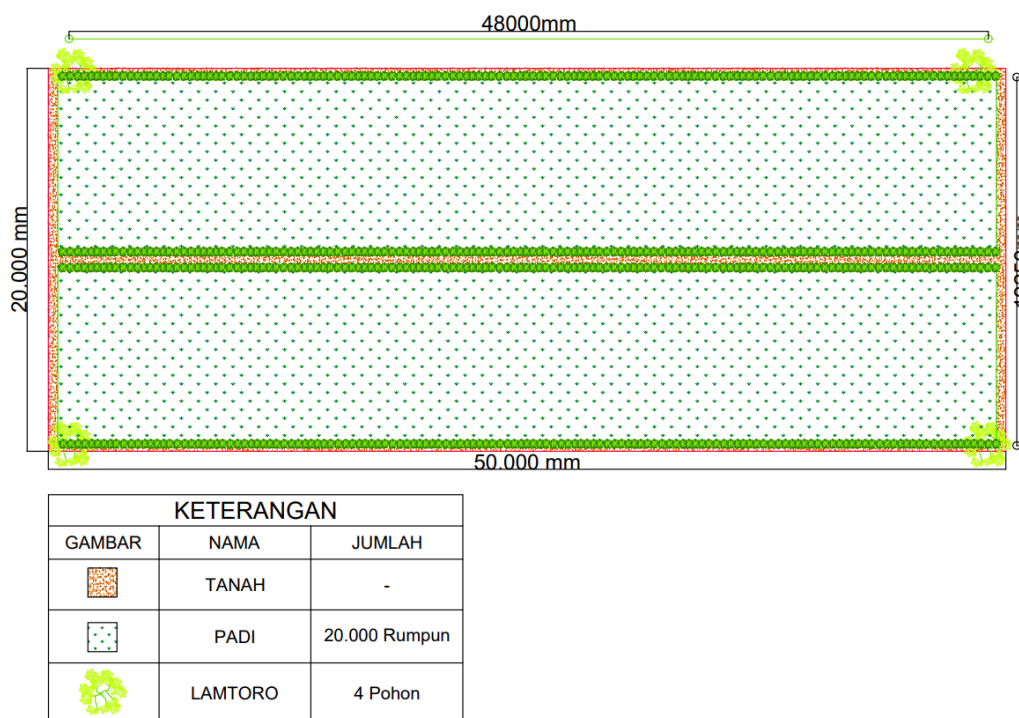


Gambar 10. Rekomendasi Pada Agroekosistem Kebun

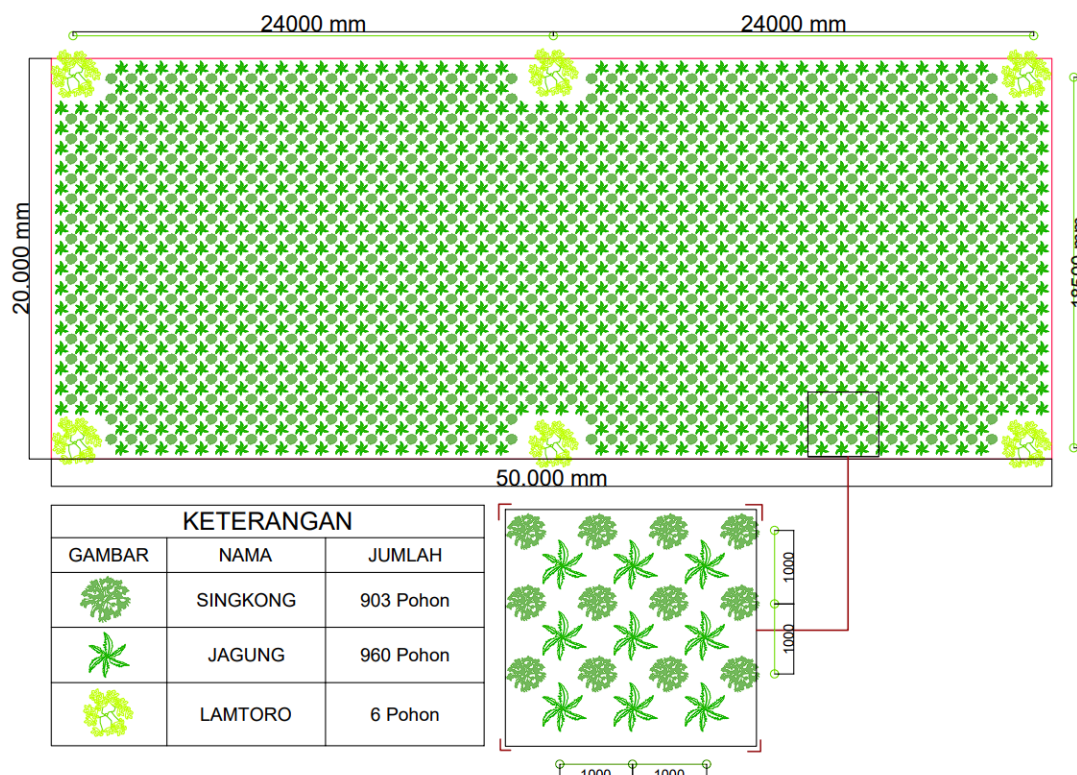
Agroekosistem selanjutnya adalah sawah, sawah merupakan lahan basah yang menjadi penopang utama ketahanan pangan nasional dengan memproduksi padi sebagai makanan pokok. Salah satu jenis sawah adalah sawah tadah hujan, sawah tadah hujan merupakan lahan persawahan yang sumber air utamanya berasal dari curah hujan sehingga ketersediaan air sangat bergantung pada kondisi musim. Oleh karena itu, sawah jenis ini umumnya hanya dapat ditanami dan berproduksi secara optimal pada musim hujan (Martini, 2016).

Karena sangat bergantung pada curah hujan untuk ketersediaan air, sawah tadah hujan memerlukan tanaman sela yang efektif untuk menunjang kebutuhannya. Menurut Farizi et al. (2024), sawah tadah hujan memerlukan tanaman pinggir maupun tanaman penutup tanah untuk mengurangi erosi dan aliran permukaan. Selain itu, tanaman pinggir di sawah tadah hujan juga dapat mengurangi kekuatan dispersi air hujan dan mengurangi jumlah serta kecepatan aliran. Dalam desain (Gambar 11) Lamtoro digambarkan peletakkannya di pematang sawah dengan tujuan agar tidak mengganggu kegiatan pengolahan tanah dan panen padi. Selain itu perakaran lamtoro membantu memperkuat pematang sawah sehingga mengurangi risiko longsor atau erosi. Didukung oleh pernyataan Rosida (2022), Penanaman pohon lamtoro dapat mencegah erosi tanah alami oleh angin dan air, terutama pada lahan yang terdapat aliran air karena memiliki perakaran yang dalam. Pohon lamtoro berfungsi sebagai tanaman sudut atau pembatas luar dan hanya berjumlah 4 pohon. Tanaman ini diletakkan secara simetris di empat penjuru atau sudut terluar dari lahan persawahan. Jarak horizontal antara pohon lamtoro di sudut kiri dan sudut kanan adalah 48 meter. Sementara itu, dimensi total lahan secara keseluruhan memiliki panjang horizontal 50.000 mm (50 meter) dan lebar vertikal 20.000 mm (20 meter), yang sekaligus menjadi acuan batas terluar penempatan tanaman lamtoro. Penggunaan lamtoro juga diletakkan

di pinggir saja agar padi juga mendapat pencahayaan yang maksimal. Penanaman di area pematang sawah agar memudahkan dalam pemangkasan untuk mengurangi naungan pada tanaman padi.



Gambar 11. Rekomendasi Pada Agroekosistem Sawah



Gambar 12. Rekomendasi Pada Agroekosistem Tegalan

Pada agroekosistem tegalan, terdapat berbagai macam tanaman yang dibudidayakan. Biasanya tanaman yang dibudidayakan sama ataupun berbeda jenisnya. Tegalan merupakan lahan kering yang dimanfaatkan untuk lahan pertanian yang dicirikan sebagai lahan yang memiliki kesuburan rendah, kekurangan air seta sensitif terkena degradasi lahan sehingga perlu pengelolaan yang intensif dan optimal. Tegalan juga cenderung

menghilangkan prinsip pelestarian lingkungan (Mas'udi et al., 2021). Tegalan memiliki tingkat kesuburan yang rendah sehingga membutuhkan tanaman pendukung yang mampu memberikan perawatan alami. Selain itu, penerapan sistem olah tanah konservasi dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan stok karbon di dalam tanah melalui pengurangan gangguan tanah dan pemanfaatan sisa tanaman sebagai bahan organik (Suleman et al., 2026). Dalam hal ini, lamtoro dipilih karena tidak hanya mampu menyerap dan menyimpan karbon, namun juga mampu menyediakan sumber hara melalui daunnya, serta dapat menjadi pencegah erosi jika dalam topografi lahan yang miring. Pada (**Gambar 12**) Tanaman singkong dan jagung ditanam secara terintegrasi dengan pola tumpang sari di seluruh area utama tegalan. Berdasarkan detail perbesaran grid di bagian bawah denah, jarak antar-baris tanaman diatur secara berselang-seling dengan modul 1.000 mm (1 meter), baik pada sumbu horizontal (panjang) maupun vertikal (lebar). Dalam pola ini, barisan tanaman singkong dan tanaman jagung diletakkan secara bergantian, sehingga menciptakan jarak vertikal antar-sesama pohon singkong sejauh 2.000 mm (2 meter) dengan tanaman jagung berada tepat di tengah-tengahnya. Pada desain (**Gambar 12**) menunjukkan bagaimana lamtoro dapat disesuaikan pada lahan tegalan yang ditanami singkong dan juga jagung. Pohon lamtoro ditanam sebagai tanaman pelindung atau pembatas dengan jumlah total 6 pohon. Tanaman ini diletakkan secara simetris di sekeliling tepi lahan, yaitu pada empat sudut terluar tegalan serta dua pohon tambahan tepat di bagian tengah sisi atas dan sisi bawah. Jarak horizontal antara pohon lamtoro sudut (kiri/kanan) menuju pohon lamtoro tengah adalah sejauh 24.000 mm (24 meter). Secara keseluruhan, penataan pembatas ini mengikuti batas total bentang lahan luar yang memiliki panjang 50.000 mm (50 meter) dan lebar 20.000 mm (20 meter). Lamtoro ditanam di area pinggiran lahan tegalan sebagai tumbuhan pagar tujuannya adalah memperoleh manfaat lamtoro sebagai penyedia biomassa, pengikat nitrogen, dan penyimpan karbon tanpa menurunkan hasil jagung dan singkong akibat persaingan cahaya, air, dan unsur hara. Pemangkasan lamtoro juga menjadi lebih mudah ketika berada di area pinggiran. Hasil pemangkasan juga dapat dimanfaatkan menjadi bahan organik tanah. Sejalan dengan pernyataan Ratrinia et al. (2013), penggunaan daun lamtoro dapat meningkatkan kandungan nitrogen (N) dan dapat digunakan sebagai pupuk hijau yang dapat menyuburkan tanaman. Daun lamtoro yang basah mengandung unsur N, P, dan K yang lebih besar jika dibandingkan dengan daun lamtoro yang kering.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi simpanan karbon pada titik pengamatan ekosistem hutan, padang rumput, dan semak belukar. Kandungan C-organik tertinggi ditemukan pada Hutan 1 sebesar 9,80%, simpanan karbon pohon tertinggi sebesar 0,082051 kg/m² dan nekromassa sebesar 0,290058 kg/m² pada Hutan 1, sedangkan simpanan karbon tumbuhan bawah tertinggi ditemukan pada Hutan 2 sebesar 0,774530 kg/m².

Variasi simpanan karbon antar titik pengamatan diduga berkaitan dengan perbedaan struktur dan kerapatan vegetasi, komposisi jenis tumbuhan, biomassa dan nekromassa, serta kondisi tanah. Karena setiap titik pengamatan hanya memiliki satu kali pengambilan sampel tanpa ulangan, hasil penelitian ini diinterpretasikan secara deskriptif dan tidak digunakan untuk menyimpulkan perbedaan signifikan antar tipe ekosistem.

Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) berpotensi dikembangkan sebagai tanaman pendukung pada agroekosistem kebun, sawah, dan tegalan. Pada kebun kopi, lamtoro dapat dimanfaatkan sebagai tanaman penabung, sedangkan pada sawah dan tegalan dapat ditempatkan pada bagian tepi atau pematang untuk mendukung penyediaan biomassa dan bahan organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalyadi, R. (2024). Rumput Gajah sebagai Pakan Ternak Berkelanjutan: Implikasinya terhadap Efisiensi Produksi dan Mitigasi Perubahan Iklim. *MACROCEPHALON: Jurnal Ilmu Peternakan*.
- Amprin, & Anisum. (2020). Analisis Pertumbuhan Tanaman Rumput Teki (*Cyperus rotundus*) Pada Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon Di Sangatta Kutai Timur. *Magrobis Jurnal*, 20(1):140–146.
- Anugraheni, E., Sutrisno, A. J., Savitri, G. W., Nugrahanto, B. A., & Simanjuntak, B. H. (2025). Hubungan nilai biodiversitas dan serapan karbon vegetasi pada agroekosistem sawah irigasi dan kebun di Sub DAS Tuntang Hulu, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. *Jurnal Agroteknologi*, 19(1):1–18. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v19i1.53686>
- Arifin, J. (2001). Estimasi Cadangan Karbon pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang. Skripsi S1, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. 61 pp.

- Astuti, R., Wasis, B., & Hilwan, I. (2020). Potensi Cadangan Karbon Pada Lahan Rehabilitasi Di Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah. *Media Konservasi*, 25(2), 140–148. <https://doi.org/10.29244/medkon.25.2.140-148>
- Basuki, B., & Mandala, M. (2024). Penilaian Karbon Total Hutan Produksi Komoditas Pinus Berbagai Umur Di Formasi Geologi Merawan Kaki Gunung Gunitir. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jat.v12i3.8098>
- Cahyanto, T., Ramdan, D. M., Salsabila, S., Efendi, M., & Hizqiyah, I. Y. (2022). Struktur dan Komposisi Tumbuhan Bawah di Zona Pegunungan Bawah Blok Malagembol, Cagar Alam Gunung Tilu, Jawa Barat. *BIOSFER, J. Bio& Pend. Bio*, 7(2):108–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.23969/biosfer.v7i2.6827>
- Fahrizal, A., Ratna, R., Wawiyai, M. M., Ayomi, N. B., & Sambu, P. B. (2024). Harmoni Mangrove : Wanamina sebagai Inovasi Keseimbangan Ekosistem di Kota Sorong. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6):1441–1454. <https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1441-1454>
- Farizi, K. Al, Hazriani, R., & Alhaddad, A. M. (2024). Evaluasi Kesesuaian Lahan Sawah Taduh Hujan Untuk Tanaman Padi Di Desa Empodis Kecamatan Bonti Kabupaten Sanggau. *Jurnal Pedontropika : Jurnal Ilmu Tanah Dan Sumber Daya Lahan*, 10:81–92. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26418/pedontropika.v9i1.83184>.
- Hairiah, K., van Noordwijk, M., & Palm, C. A. (1999). Methods for sampling above- and below-ground organic pools. In D. Murdiyarso, M. van Noordwijk, & D. A. Suyanto (Eds.), *Modelling Global Change Impacts on the Soil Environment (IC-SEA Report No. 6/GCTE Working Document No. 28, pp. 46–77)*. Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology (BIOTROP)/Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE), Bogor, Indonesia.
- Hairiah, K., & Subekti, R. (2007). *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre. www.worldagroforestrycentre.org/sea
- Hanatul Qolby, F., Pertanian Negeri Payakumbuh, P., Barat, S., & Author, C. (2025). Pertumbuhan Vegetatif Bibit Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) pada Jenis Naungan Berbeda. *JurnalResearch Ilmu Pertanian*, 2:135–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.31933/1zhark72>
- Hematang, F. (2022). Distribusi Spasial Padang Rumput Bentang Lahan Mahkota Permata Tanah Papua. *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 5(2):123–134. <https://doi.org/10.47039/ish.5.2023.123-134>
- Hidayat, X. Z. A., Arifin, R. D. S. L., & Syukur, A. (2024). *Vegetation Structure and Diversity of Mangrove Species in The Bagek Kembar Natural Forest, Sekotong, West Lombok*. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1):853–862. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.7120>
- Husain, P., Ihsan, M. S., Kuswara, R. D., Ihwan, K., Risfianty, D. K., Sanuriza, I. Il, Alyaminy, I. H. A. Z., & Atika, B. N. D. (2025). Karbon Biru pada Ekosistem Mangrove : Dinamika, Kapasitas Penyimpanan, dan Implikasinya terhadap Mitigasi Perubahan Iklim. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 5(4):1112–1127. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i4.877>
- Ichsannudin, Abdul Wahid, M., & Jalil, A. (2024). *Assessing Land Suitability for Lamtoro (Leucaena leucocephala) in Reclaimed Mining Lands of Sanggau Regency, West Kalimantan*. *Journal of Earth and Marine Technology*, 4(2):337–344. <https://doi.org/https://doi.org/10.31284/j.jemt.2024.v4i2.5377>
- Idris, M. H., Latifah, Si., Aji, I. M. L., Wahyuningsih, E., Indriyatno, & Ningsih, R. V. (2013). Studi Vegetasi Dan Cadangan Karbon Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Senaru, Bayan Lombok Utara. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 7(1):25–36.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (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):199–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Komang Surata. (2010). Pemanfaatan Tegakan Sebagai Pohon Penaung Dan Inang Tanaman Cendana (Linn). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 241–251.

- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In I. Olkin, S. G. Ghurye, W. Hoeffding, W. G. Madow, & H. B. Mann (Eds.), *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press.
- Liu, L., Sayer, E. J., Deng, M., Li, P., Liu, W., Wang, X., Yang, S., Huang, J., Luo, J., Su, Y., Grünzweig, J. M., Jiang, L., Hu, S., & Piao, S. (2023). *The grassland carbon cycle: Mechanisms, responses to global changes, and potential contribution to carbon neutrality*. In *Fundamental Research*, 3(2):209–218. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.09.028>.
- Mardiatmoko, G. (2020). Pentingnya uji asumsi klasik pada analisis regresi linier berganda (studi kasus penyusunan persamaan allometrik kenari muda [*Canarium indicum* L.]). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 14(3):333–342. <https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss3pp333-342>
- Martini, S. (2016). Analisa Ketersediaan Air Sawah Tadah Hujan Di Desa Mulia Sari Kecamatan Muara Telang Kabupaten Banyuasin, 4 4).
- Mas'udi, A. F., Indarto, I., & Mandala, M. (2021). Pemetaan Indeks Kualitas Tanah (IKT) pada Lahan Tegalan di Kabupaten Jember. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 45(2):133. <https://doi.org/10.21082/jti.v45n2.2021.133-144>
- Mustikasari, R., & Simanjuntak, B. H. (2025). Assessment of Carbon Capture and Storage in Plantation and Garden Agroecosystems in Tuntang Hulu Sub-Watershed. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 14(6):2380–2390. <https://doi.org/10.23960/jtepl.v14i6.2380-2390>
- Prasetyo, N. N., Sasmito, B., & Prasetyo, Y. (2017). Analisis Perubahan Kerapatan Hutan Menggunakan Metode Ndvi Dan Evi Pada Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2013 Dan 2016 (Area Studi: Kabupaten Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2017.17180>
- Pida, R., & Ariska, N. (2022). *The Influence Of Lamtoro (Leucaena Sp) Type Storage Plants On The Growth And Productivity Of Arabica Coffee Plants (Coffea arabica) In Aceh Tengah Regency*. *Jurnal Pertanian Agros*, 24(2).
- Pradipta, D., Alfred Jansen Sutrisno, dan, Pertanian dan Bisnis, F., & Kristen Satya Wacana, U. (2022). Penilaian Korelasi Biodiversitas Dan Karbon Tersimpan Pada Taman Kota Bendosari, Kota Salatiga. *Jurnal AGRIFOR*, 21(2):227–240. <https://doi.org/10.31293/agrifor.v21i1>
- Priyadarsini, R. (1999). Estimasi Modal C (C-stock) Masukan Bahan Organik, dan Hubungannya dengan Populasi Cacing Tanah pada Sistem Wanatani. Tesis, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. 76 pp.
- Qirom, M. A., Yuwati, T. W., Santosa, P. B., Halawany, W., & Rachmanadi, D. (2018). Potensi Simpanan Karbon Pada Beberapa Tipologi Hutan Rawa Gambut di Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12:196–211.
- Ramadhan, A., Lense, O. N., & Purnawati, R. (2025). The land cover change modeling based Artificial Neural Network (ANN) of mangroves in Teluk Bintuni Regency. *AGRICOLA*, 15(1):11–20. <https://doi.org/10.35724/ag.v15i1.6572>
- Ratnaningsih, A. T., Suwarno, E., & Insusanty, E. (2014). Potensi Karbon Pada Beberapa Tipe Vegetasi Di Hutan Tanaman Industri. *Jurnal Ilmiah Petanian*, 11(2).
- Ratrinia, P. W., Makruf, W., & Dewi, E. (2013). Pengaruh Penggunaan Bioaktivator Em4 Dan Penambahan Daun Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) Terhadap Spesifikasi Pupuk Organik Cair Rumput Laut *Eucheuma spinosum*. *Jurnal Pengolahan Dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3:82-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.29244/j-siltrop.15.01.51-56>
- Rauf, A. (2023). Laju Penghacuran Serasah Vegetasi Hutan Mangrove. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6. <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>
- Rawana, Wijayani, S., & Masrur, M. A. (2023). Indeks Nilai Penting dan Keanekaragaman Komunitas Vegetasi Penyusun Hutan di Alas Burno SUBKPH Lumajang. *Jurnal Wana Tropika*, 12(02):80-89. <https://doi.org/10.55180/jwt.v12i02.215>.

- Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2:21–33.
- Rosida, D. F. (2022). *Lamtoro Gung : Produk, Sifat Fungsional dan Manfaatnya* (Y. M. Supriyadi, Ed.; 1st ed.). Indomedia Pustaka. www.indomediapustaka.com
- Sari, D. A. I. T., Wijaya, I. M. S., & Sutomo. (2022). Kelimpahan spesies asing invasif teklai (*Ageratina riparia* (Regel) R. M. King & H. Rob.: Asteraceae) pada vegetasi lantai di Kebun Raya “Eka Karya” Bali. *Jurnal Biologi Udayana*, 26(2):186–197. <https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2022.v26.i02.p04>.
- Sigar, A., Susetyo, Y., Mustikasari, R., Simanjuntak, B., Setiawan, A., & Banjarnahor, D. (2025). Simpanan Karbon Tanah pada Lahan Sawah Irigasi, Sawah Tadah Hujan, dan Tegalan di Kecamatan SUB-DAS Tuntang Hulu. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 13(2):255–270. <https://doi.org/10.36084/jpt.v13i2.673>
- Suleman, D., Alam, S., Rustam, L. O., & Setiawan, A. (2026). *Evaluation of soil quality of irrigated and rainfed rice fields In Maginti District, West Muna Regency*. *AGRICOLA*, 16(1):1–8. <https://doi.org/10.35724/ag.v16i1.7106>
- Sulthan Nainawa, R., Rusdiana, O., & Nina Mindawati, and. (2021). Potensi Karbon Tanah pada Hutan Tanaman Tegakan Campuran Schima wallichii dan Acacia mangium (*Potential of Soil Carbon in The Mixed Stands Forest Plantation of Schima wallichii and Acacia mangium*). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 20(2):115–129.
- Sumarna, A., & Hadisusanto, S. (2024). *Floristic Composition and Carbon Storage of Floor Vegetation in Community Forests of Ciamis Regency, West Jawa*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 30(2):213–226. <https://doi.org/10.7226/jtftm>
- Sugiharto, C. (2002). Kajian Aluminium sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nelson). Skripsi S1, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. 64 pp.
- Talakua, S. M. (2019). Identifikasi Degradasi Tanah dan Pengaruh Faktor Penggunaan Lahan Terhadap Degradasi Tanah Pada Kebun Campuran Dan Semak Belukar Di Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram Bagian Barat Propinsi Maluku. *JURNAL BUDIDAYA PERTANIAN*, 15(1):13–20. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2019.15.1.13>
- Waterloo, M. J. (1995). Water and Nutrient Dynamics of Pinus caribaea Plantation Forests on Former Grassland Soils in Southwest Viti Levu, Fiji. PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands. 478 pp.