

Contribution of Social Forestry to Carbon Stock Reserves through Land Cover Change Analysis in the Forest Management Unit Area I NTB

Bangkit Maulana*, Taslim Sjah, Hayati

Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Universitas Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received: June 20th, 2026

Revised : July 03th, 2026

Accepted : July 09th, 2026

*Corresponding Author:

Bangkit Maulana, Program
Studi Magister Pertanian Lahan
Kering, Pascasarjana
Universitas Mataram, Mataram,
Indonesia;

Email:

maulanabangkit@gmail.com

Abstract: Social forestry is one of the policy instruments expected to maintain forest carbon stock while supporting the achievement of Indonesia's climate change mitigation targets. This study aims to analyse the dynamics of carbon stock in social forestry areas within the Forest Management Unit (KPH) Region I of West Nusa Tenggara and to evaluate the difference in carbon stock before and after permit issuance. A before-after approach was applied to 45 Forest Farmer Groups, using the year of decree issuance as the reference point over a span of five years before to five years after issuance. Carbon stock was estimated by multiplying the area of each land cover class by its carbon factor, and the difference between periods was tested using the Wilcoxon Signed Rank Test. The results show that the total carbon stock of the area declined from 1,594,074 tons C to 1,038,944 tons C, a reduction of 555,130 tons C equivalent to 2,035,475 tons of CO₂-equivalent. As many as 37 of the 45 groups experienced a decline, and the statistical test confirmed a significant difference between conditions before and after permit issuance ($p < 0.001$). This decline was primarily caused by the conversion of forested land cover into agricultural land with lower carbon factors. These findings indicate that the issuance of social forestry permits in the study area has not succeeded in maintaining carbon stock, thus requiring strengthened post-permit governance and supervision so that social forestry can contribute positively to the Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 target.

Keywords: Carbon stock; Land cover change; Land cover; FOLU Net Sink; Social forestry.

Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang berdampak terhadap berbagai aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) akibat aktivitas antropogenik telah menyebabkan kenaikan suhu global, perubahan pola curah hujan, serta meningkatnya frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Dalam upaya mitigasi perubahan iklim, ekosistem hutan memiliki peran penting sebagai penyerap (carbon sink) dan penyimpan karbon (carbon stock) melalui akumulasi biomassa vegetasi dan bahan organik tanah. Sebaliknya, deforestasi dan degradasi hutan menjadi salah satu sumber utama emisi GRK, terutama di kawasan tropis.

Oleh karena itu, pengelolaan hutan secara berkelanjutan menjadi strategi utama dalam mendukung pengurangan emisi karbon.

Indonesia sebagai negara dengan kawasan hutan tropis yang luas menempatkan sektor kehutanan sebagai komponen utama dalam pencapaian target penurunan emisi GRK melalui *Enhanced Nationally Determined Contribution* (Enhanced NDC). Pemerintah menargetkan penurunan emisi sebesar 31,89% secara mandiri dan hingga 43,20% dengan dukungan internasional pada tahun 2030. Target tersebut didukung melalui skenario Indonesia FOLU Net Sink 2030, yaitu kondisi ketika serapan karbon sektor kehutanan lebih besar dibandingkan emisi yang dihasilkan. Upaya tersebut diwujudkan melalui

pengurangan deforestasi, rehabilitasi hutan dan lahan, peningkatan cadangan karbon, serta pengelolaan hutan secara berkelanjutan (Dharmawan *et al.*, 2023).

Salah satu instrumen penting dalam mendukung pencapaian target tersebut adalah Perhutanan Sosial, yaitu kebijakan yang memberikan akses legal kepada masyarakat untuk mengelola kawasan hutan negara melalui berbagai skema, seperti Hutan Kemasyarakatan, Hutan Desa, Hutan Tanaman Rakyat, Kemitraan Kehutanan, dan Hutan Adat. Selain meningkatkan kesejahteraan masyarakat, Perhutanan Sosial diharapkan mampu menjaga fungsi ekologis hutan melalui penerapan praktik pengelolaan berkelanjutan, seperti agroforestri, rehabilitasi lahan kritis, dan perlindungan kawasan hutan. Praktik tersebut berpotensi mempertahankan bahkan meningkatkan cadangan karbon sekaligus mendukung pencapaian target penurunan emisi nasional (Müller *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian mengenai Perhutanan Sosial di Indonesia masih berfokus pada aspek sosial-ekonomi, seperti kelembagaan, akses tenurial, penyelesaian konflik, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat (Resosudarmo *et al.*, 2019; Sahide *et al.*, 2020). Kajian yang mengevaluasi dampak ekologis melalui perubahan tutupan lahan dan dinamika stok karbon masih relatif terbatas. Penelitian yang ada umumnya dilakukan pada skala lokasi yang sempit, menggunakan periode pengamatan yang pendek, atau belum mengintegrasikan analisis perubahan tutupan lahan dengan estimasi stok karbon secara temporal (Riggs *et al.*, 2016; Santika *et al.*, 2019). Akibatnya, kontribusi nyata Perhutanan Sosial terhadap pemeliharaan cadangan karbon dan mitigasi perubahan iklim masih belum dapat dijelaskan secara komprehensif.

Balai Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Wilayah I Nusa Tenggara Barat merupakan lokasi yang potensial untuk mengkaji permasalahan tersebut. Wilayah ini mengelola kawasan seluas 78.415,97 ha, dengan areal Perhutanan Sosial mencapai 19.217,66 ha yang dikelola oleh 78 Kelompok Tani Hutan. Luasnya cakupan Perhutanan Sosial menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan pada kawasan ini berpotensi memberikan

pengaruh terhadap stok karbon pada skala lanskap. Namun, hingga saat ini belum tersedia penelitian yang mengevaluasi perubahan tutupan lahan dan stok karbon secara menyeluruh berdasarkan waktu sebelum dan sesudah penerbitan izin Perhutanan Sosial.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan dan stok karbon pada areal Perhutanan Sosial di Balai KPH Wilayah I Nusa Tenggara Barat menggunakan pendekatan temporal lima tahun sebelum dan lima tahun setelah penerbitan Surat Keputusan Perhutanan Sosial. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan *relative-time analysis* berdasarkan tahun penerbitan izin pada setiap Kelompok Tani Hutan, sehingga evaluasi perubahan ekologis dilakukan secara lebih objektif. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan analisis perubahan tutupan lahan multiwaktu dengan estimasi stok karbon berdasarkan pedoman IPCC untuk menilai kontribusi Perhutanan Sosial terhadap pemeliharaan cadangan karbon sebagai indikator pengelolaan hutan berkelanjutan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan bukti empiris mengenai efektivitas Perhutanan Sosial dalam mendukung pencapaian target Indonesia FOLU Net Sink 2030.

Bahan dan Metode

Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada areal Perhutanan Sosial di wilayah kerja Balai Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Wilayah I Nusa Tenggara Barat yang memiliki luas kelola 78.415,97 ha, meliputi kawasan Hutan Lindung (HL), Hutan Produksi (HP), dan Hutan Produksi Terbatas (HPT). Secara administratif, wilayah ini memiliki 78 Kelompok Tani Hutan (KTH) dan Gabungan Kelompok Tani Hutan (Gapoktan) pemegang izin Perhutanan Sosial dengan berbagai skema pengelolaan.

Unit analisis dipilih menggunakan *purposive sampling* dengan kriteria KTH/Gapoktan telah memperoleh Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial paling lambat tahun 2020. Kriteria tersebut ditetapkan

agar tersedia data tutupan lahan selama lima tahun sebelum dan lima tahun sesudah penerbitan SK, sesuai dengan pendekatan analisis temporal yang digunakan. Kelompok yang memperoleh izin setelah tahun 2020 tidak diikutsertakan karena belum memiliki periode observasi pasca-izin yang memadai.

Berdasarkan kriteria tersebut, diperoleh 45 KTH/Gapoktan (57,69% dari total kelompok) sebagai unit analisis. Kelompok tersebut mengelola kawasan seluas 13.626,59 ha dengan melibatkan 17.108 kepala keluarga. Areal penelitian mencakup tiga skema Perhutanan Sosial, yaitu Hutan Kemasyarakatan (HKm), Hutan Tanaman Rakyat (HTR), dan Kemitraan Kehutanan yang tersebar di beberapa kawasan hutan di Pulau Lombok.

Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data spasial dan data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi terkait. Data utama berupa peta tutupan lahan multiwaktu yang diterbitkan oleh Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Peta tersebut disusun berdasarkan interpretasi citra satelit Landsat multitemporal (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, dan Landsat 8 OLI; resolusi spasial 30 m) melalui tahapan prapengolahan, klasifikasi, interpretasi visual, pengendalian mutu, dan verifikasi sesuai standar pemetaan penutupan lahan KLHK. Produk akhir berupa peta penutupan lahan dalam format *shapefile* digunakan sebagai dasar analisis perubahan tutupan lahan melalui teknik *overlay* dengan batas areal Perhutanan Sosial.

Data pendukung meliputi peta batas areal Perhutanan Sosial, data atribut Kelompok Tani Hutan (KTH)/Gabungan Kelompok Tani Hutan (Gapoktan), tahun penerbitan Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial, peta fungsi kawasan hutan, serta faktor karbon untuk setiap kelas tutupan lahan berdasarkan pedoman yang digunakan dalam penelitian.

Unit analisis adalah 45 kelompok Perhutanan Sosial yang memenuhi kriteria penelitian. Analisis dilakukan pada 11 titik waktu, yaitu lima tahun sebelum penerbitan SK Perhutanan Sosial ($t-5$ hingga $t-1$), tahun penerbitan SK (t_0), dan lima tahun setelah

penerbitan SK ($t+1$ hingga $t+5$). Untuk setiap kelompok dihitung luas masing-masing kelas tutupan lahan pada setiap periode sehingga diperoleh 495 set data hasil analisis ($45 \text{ kelompok} \times 11 \text{ periode pengamatan}$). Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi dinamika perubahan tutupan lahan dan mengestimasi perubahan stok karbon selama periode penelitian.

Apabila data peta tutupan lahan tidak tersedia pada tahun tertentu, kondisi tutupan lahan diasumsikan tetap (*no-change assumption*) berdasarkan peta pada tahun terdekat yang tersedia. Asumsi ini diterapkan untuk menjaga konsistensi deret waktu analisis.

Tabel 1. Data dan sumber data penelitian

Data	Bentuk Data	Sumber
Batas areal Perhutanan Sosial	Shapefile	KLHK/BPSKL
Tutupan lahan multiwaktu	Shapefile	BPKH Wil VIII Denpasar
Data KTH/Gapoktan	Tabel atribut	Balai KPH Wilayah I NTB
Tahun penerbitan SK	Dokumen SK	BPSKL KLHK
Faktor karbon kelas tutupan lahan	Data sekunder	IPCC dan KLHK
Peta fungsi kawasan hutan	Shapefile	KLHK

Desain penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial dan temporal untuk mengevaluasi perubahan tutupan lahan dan stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan izin Perhutanan Sosial. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan before-after analysis dengan tahun penerbitan SK sebagai titik referensi (*event year*).

Pendekatan berbasis tahun relatif terhadap suatu kebijakan memungkinkan evaluasi yang lebih objektif dibandingkan penggunaan tahun kalender karena seluruh unit analisis dibandingkan pada fase perkembangan program yang sama meskipun tahun penerbitan izin berbeda-beda. Periode pengamatan terdiri atas lima tahun sebelum penerbitan izin ($t-5$ sampai $t-1$), tahun penerbitan izin (t_0), dan

lima tahun sesudah penerbitan izin (t+1 sampai t+5).

Tabel 2. Periode analisis penelitian

Kode Waktu	Keterangan
t-5	Lima tahun sebelum SK
t-4	Empat tahun sebelum SK
t-3	Tiga tahun sebelum SK
t-2	Dua tahun sebelum SK
t-1	Satu tahun sebelum SK
t0	Tahun penerbitan SK
t+1	Satu tahun setelah SK
t+2	Dua tahun setelah SK
t+3	Tiga tahun setelah SK
t+4	Empat tahun setelah SK
t+5	Lima tahun setelah SK

Analisis perubahan tutupan lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui teknik *overlay* antara batas areal Perhutanan Sosial dan peta tutupan lahan pada setiap periode pengamatan. Seluruh analisis spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS/QGIS (sesuaikan dengan yang digunakan). Luas setiap kelas tutupan lahan dihitung untuk masing-masing Kelompok Tani Hutan (KTH), kemudian diakumulasikan pada tingkat wilayah penelitian untuk menggambarkan dinamika tutupan lahan secara keseluruhan.

Untuk mengevaluasi perubahan kondisi kawasan sebelum dan sesudah penerbitan Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial, dihitung laju perubahan tutupan lahan tahunan (*annual land-cover change rate*) menggunakan persamaan:

$$r = (A_t - A_0)/t$$

dengan r adalah laju perubahan tutupan lahan (ha tahun^{-1}), A_t adalah luas tutupan lahan pada akhir periode pengamatan (ha), A_0 adalah luas tutupan lahan pada awal periode pengamatan (ha), dan t adalah interval waktu pengamatan (tahun). Perhitungan dilakukan secara terpisah untuk periode lima tahun sebelum dan lima tahun sesudah penerbitan SK Perhutanan Sosial sehingga dapat dibandingkan perubahan kecenderungan tutupan lahan setelah implementasi program.

Estimasi stok karbon

Estimasi stok karbon dilakukan menggunakan pendekatan berbasis tutupan lahan (*land cover-based carbon estimation*) dengan mengasumsikan bahwa setiap kelas tutupan lahan memiliki nilai stok karbon rata-rata yang berbeda. Estimasi dilakukan dengan mengalikan luas setiap kelas tutupan lahan hasil analisis spasial dengan faktor karbon yang sesuai menggunakan persamaan:

$$C = A \times CF$$

di mana C adalah stok karbon (ton C), A adalah luas tutupan lahan (ha), dan CF adalah faktor karbon untuk masing-masing kelas tutupan lahan (ton C ha^{-1}).

Nilai faktor karbon mengacu pada pedoman *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dan referensi nasional yang digunakan dalam inventarisasi karbon sektor kehutanan Indonesia (Hunka *et al.*, 2022; Murdiyarso *et al.*, 2024). Estimasi dilakukan untuk setiap kelas tutupan lahan pada seluruh periode pengamatan, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh total stok karbon pada masing-masing Kelompok Tani Hutan (KTH) dan wilayah penelitian. Selanjutnya, perubahan stok karbon dihitung dengan membandingkan nilai stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial.

Karena penelitian ini menggunakan faktor karbon baku berdasarkan kelas tutupan lahan tanpa pengukuran biomassa secara langsung di lapangan, pendekatan yang diterapkan mengikuti metode Tier 1 IPCC. Apabila faktor karbon yang digunakan berasal dari data nasional yang telah dikembangkan secara spesifik untuk kondisi Indonesia, maka pendekatan tersebut dapat dikategorikan sebagai Tier 2 sesuai pedoman IPCC 2006.

Analisis perubahan stok karbon

Perubahan stok karbon dianalisis menggunakan metode *stock difference*, yaitu membandingkan stok karbon pada dua titik waktu yang berbeda. Metode ini direkomendasikan dalam IPCC Guidelines untuk mengevaluasi perubahan cadangan karbon akibat perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan. Perubahan stok karbon

dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta C = C_t - C_0$$

di mana ΔC merupakan perubahan stok karbon (ton C), C_t adalah stok karbon pada waktu t , dan C_0 adalah stok karbon pada awal periode pengamatan.

Selain perubahan total stok karbon, penelitian ini juga menghitung laju perubahan karbon tahunan untuk mengidentifikasi kecenderungan peningkatan atau penurunan kapasitas penyimpanan karbon sebelum dan sesudah penerbitan izin Perhutanan Sosial. Untuk menghubungkan hasil penelitian dengan isu mitigasi perubahan iklim, perubahan stok karbon selanjutnya dikonversi menjadi karbon dioksida ekuivalen ($\text{CO}_2\text{-e}$) menggunakan faktor konversi 44/12 sebagaimana direkomendasikan oleh IPCC.

Analisis statistik

Analisis statistik dilakukan untuk menguji perbedaan kondisi tutupan lahan dan stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial pada setiap unit analisis. Sebelum pengujian hipotesis, dilakukan uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk*. Data yang berdistribusi normal dianalisis menggunakan *Paired Sample t-Test*, sedangkan data yang tidak berdistribusi normal dianalisis menggunakan *Wilcoxon Signed-Rank Test*. Seluruh pengujian dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$).

Selain itu, dilakukan analisis korelasi

untuk mengevaluasi hubungan antara stok karbon awal dan perubahan stok karbon selama periode pengamatan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah besarnya cadangan karbon awal memengaruhi arah maupun besarnya perubahan stok karbon setelah implementasi Perhutanan Sosial.

Analisis spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) **ArcGIS/QGIS**, sedangkan tabulasi data, perhitungan stok karbon, dan analisis statistik dilakukan menggunakan **IBM SPSS Statistics**. Seluruh pengujian menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

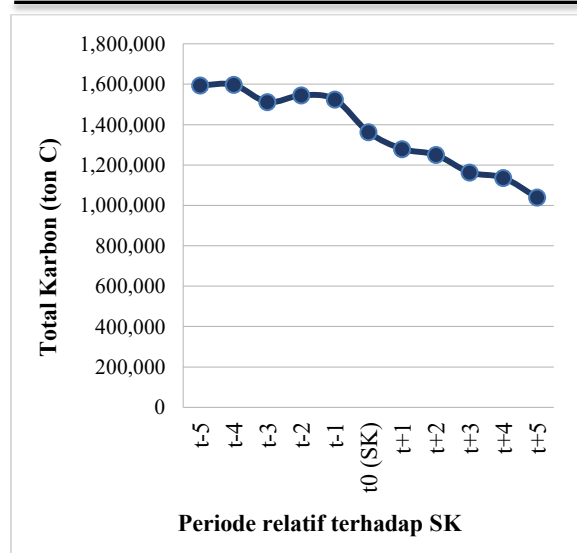
Hasil dan Pembahasan

Estimasi stok karbon pada areal perhutanan sosial

Estimasi stok karbon pada 45 Kelompok Tani Hutan dihitung dengan mengalikan luas setiap kelas tutupan lahan dengan faktor karbonnya, kemudian menjumlahkan seluruh kelas pada setiap titik waktu pengamatan. Pendekatan ini menghasilkan nilai stok karbon tahunan untuk setiap kelompok sepanjang sebelas titik waktu, yaitu lima tahun sebelum penerbitan izin ($t-5$ sampai $t-1$), tahun penerbitan izin ($t0$), dan lima tahun sesudah penerbitan izin ($t+1$ sampai $t+5$). Hasil agregasi pada tingkat kawasan menunjukkan bahwa total stok karbon mengalami kecenderungan penurunan yang konsisten sepanjang periode pengamatan, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

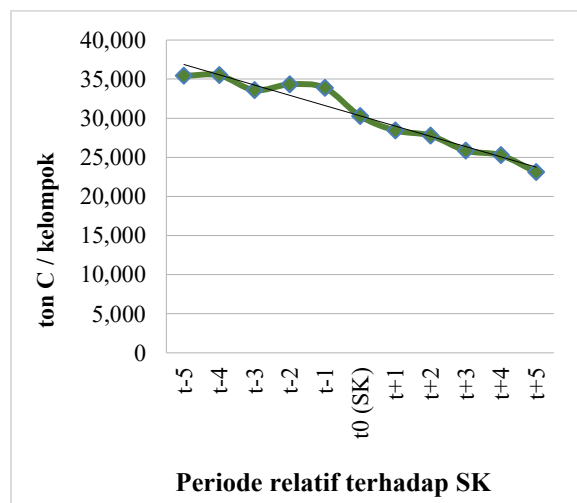
Tabel 3. Dinamika total stok karbon kawasan pada 45 kelompok Perhutanan Sosial pada Balai KPH Wilayah I

Periode	Keterangan	Total Karbon (ton C)	Rata-rata (ton C/kelompok)	ΔC vs $t-5$ (ton C)
t-5	5 tahun sebelum SK	1.594.074	35.424	0
t-4	4 tahun sebelum SK	1.597.037	35.490	+2.964
t-3	3 tahun sebelum SK	1.511.615	33.591	-82.459
t-2	2 tahun sebelum SK	1.544.594	34.324	-49.480
t-1	1 tahun sebelum SK	1.524.393	33.875	-69.681
t0	Tahun SK terbit	1.362.396	30.275	-231.678
t+1	1 tahun sesudah SK	1.279.568	28.435	-314.506
t+2	2 tahun sesudah SK	1.250.232	27.783	-343.842
t+3	3 tahun sesudah SK	1.163.392	25.853	-430.682
t+4	4 tahun sesudah SK	1.136.691	25.260	-457.383
t+5	5 tahun sesudah SK	1.038.944	23.088	-555.130



Gambar 1. Tren total stok karbon kawasan pada periode t-5 sampai t+5

Berdasarkan Tabel 3, total stok karbon kawasan menurun dari 1.594.074 ton C pada $t-5$ menjadi 1.038.944 ton C pada $t+5$, atau berkurang sebesar 555.130 ton C selama periode pengamatan. Penurunan ini setara dengan emisi sebesar 2.035.475 ton CO₂-ekuivalen apabila dikonversi menggunakan faktor 44/12. Pola penurunan tersebut tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan berlangsung bertahap dan semakin tajam setelah tahun penerbitan izin, sebagaimana tergambar pada Gambar 1. Pola serupa juga tampak pada rata-rata stok karbon per kelompok yang menurun secara konsisten dari tahun ke tahun, sebagaimana disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tren rata-rata stok karbon per kelompok sepanjang periode pengamatan

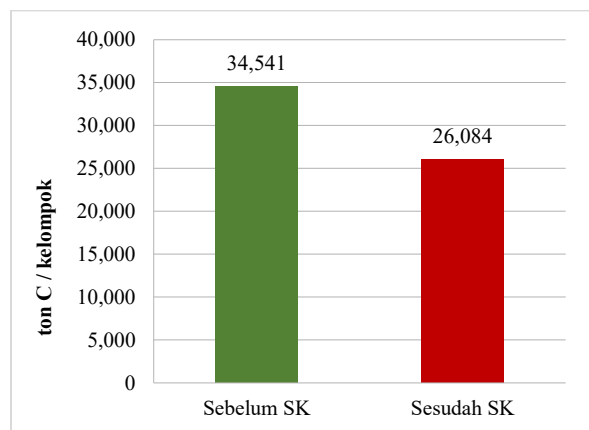
Gambar 1 memperlihatkan bahwa stok karbon relatif stabil pada periode awal sebelum penerbitan izin, kemudian menurun secara nyata sejak tahun penerbitan izin hingga akhir periode pengamatan. Kecenderungan penurunan yang berlangsung selama satu dekade ini mengindikasikan bahwa areal Perhutanan Sosial pada wilayah penelitian mengalami pelepasan karbon bersih, bukan penyerapan karbon sebagaimana yang diharapkan dari kawasan hutan yang dikelola secara lestari. Temuan serupa dilaporkan oleh *Tadese et al.* (2023) yang menemukan penurunan rata-rata stok karbon dari 34,76 juta ton menjadi 32,59 juta ton akibat perubahan tutupan lahan pada kawasan hutan *Afromontane* di Ethiopia, sehingga memperkuat indikasi bahwa dinamika tutupan lahan merupakan faktor penentu utama perubahan cadangan karbon pada skala lanskap.

Apabila Gambar 1 menggambarkan dinamika karbon secara agregat pada tingkat kawasan, Gambar 2 memperlihatkan pola yang sama pada tingkat rata-rata per kelompok, namun dengan kecenderungan yang lebih jelas dan teratur. Rata-rata stok karbon per kelompok menurun dari 35.424 ton C pada $t-5$ menjadi 23.088 ton C pada $t+5$, dengan garis tren linear yang menunjukkan penurunan yang konsisten sepanjang periode pengamatan. Kesesuaian garis tren terhadap data yang sangat tinggi ($R^2 = 0,95$) mengindikasikan bahwa penurunan stok karbon bukan merupakan fluktuasi acak antartahun, melainkan kecenderungan sistematis yang berlangsung secara berkelanjutan. Pola ini memperkuat temuan pada Gambar 1 bahwa penurunan karbon merupakan gejala umum yang dialami sebagian besar kelompok, sehingga tidak dapat dijelaskan semata-mata oleh perubahan ekstrem pada beberapa kelompok tertentu.

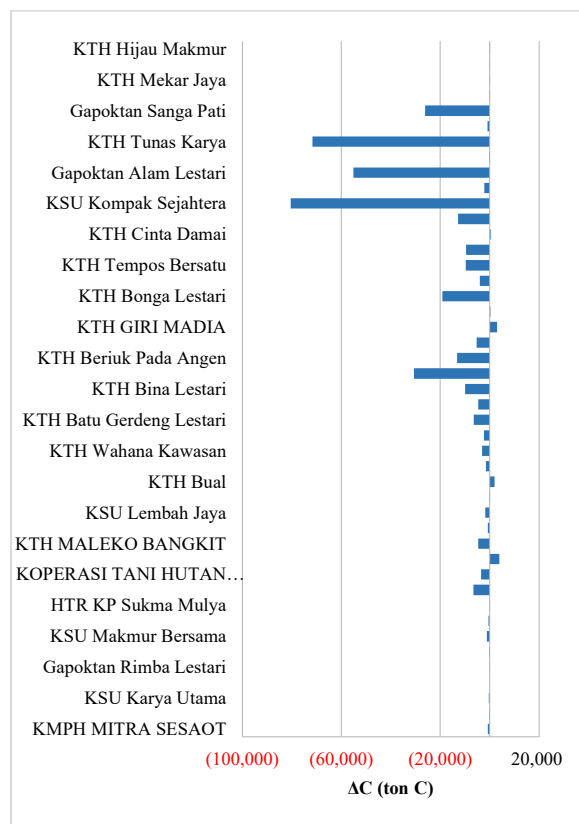
Perbandingan stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan izin

Perbandingan kondisi stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan izin dilakukan dengan membandingkan rata-rata stok karbon pada periode sebelum izin ($t-5$ sampai $t-1$) terhadap rata-rata stok karbon pada periode sesudah izin ($t+1$ sampai $t+5$). Hasil

perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata stok karbon per kelompok menurun dari 34.541 ton C pada periode sebelum izin menjadi 26.084 ton C pada periode sesudah izin, atau mengalami penurunan sebesar 24,5%. Perbandingan kedua kondisi tersebut disajikan secara visual pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan rata-rata stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan SK



Gambar 4. Perubahan stok karbon (ΔC) pada masing-masing kelompok Perhutanan Sosial

Sebanyak 45 kelompok yang dianalisis, sebanyak 37 kelompok (82,2%) mengalami penurunan stok karbon, 6 kelompok (13,3%) mengalami peningkatan, dan 2 kelompok (4,4%) relatif tidak berubah. Dominasi kelompok yang mengalami penurunan ini menunjukkan bahwa kecenderungan penurunan karbon merupakan pola umum, bukan kasus khusus pada sebagian kecil kelompok. Sebaran besaran perubahan stok karbon antarkelompok ditampilkan pada Gambar 4, sedangkan ringkasan kelompok dengan perubahan terbesar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelompok dengan perubahan stok karbon terbesar

Kelompok Tani Hutan	Tahun SK	ΔC (ton C)	Perubahan (%)	Arah
KSU Kompak Sejahtera	2018	-80.427	-77,0	Turun
KTH Tunas Karya	2019	-71.651	-75,4	Turun
Gapoktan Alam Lestari	2018	-55.159	-41,2	Turun
KTH Bun Beleng Lestari	2016	-30.681	-70,1	Turun
Gapoktan Sanga Pati	2019	-26.096	-65,6	Turun
GAPOK TAN MERTE SARI	2011	+3.842	+47,3	Naik
KTH Giri Madia	2016	+3.003	+7,4	Naik
KTH Bual	2016	+1.919	+17,3	Naik

Tabel 4 memperlihatkan bahwa penurunan stok karbon terbesar terjadi pada KSU Kompak Sejahtera dan KTH Tunas Karya, masing-masing kehilangan lebih dari 70% cadangan karbonnya. Sebaliknya, hanya sebagian kecil kelompok yang menunjukkan peningkatan, dengan besaran yang jauh lebih rendah dibandingkan kelompok yang menurun. Kesenjangan antara besarnya penurunan dan

kecilnya peningkatan ini menjelaskan mengapa neraca karbon kawasan secara keseluruhan bersifat negatif. Pola penurunan karbon yang terkonsentrasi pada konversi tutupan lahan berhutan sejalan dengan temuan Ansari et al. (2024) pada kawasan karst di Sulawesi Selatan, yang menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian kering dan area pertambangan menurunkan tutupan hutan sekaligus cadangan karbon secara signifikan.

Analisis laju perubahan stok karbon memberikan gambaran yang lebih tegas mengenai pengaruh penerbitan izin. Pada periode sebelum penerbitan izin ($t-5$ sampai $t-1$), stok karbon kawasan menurun dengan laju rata-rata sebesar 17.420 ton C per tahun. Setelah penerbitan izin ($t+1$ sampai $t+5$), laju penurunan meningkat tajam menjadi 60.156 ton C per tahun, atau sekitar tiga kali lebih cepat dibandingkan periode sebelumnya. Percepatan laju penurunan ini menunjukkan bahwa perubahan kondisi tutupan lahan tidak hanya berlanjut, tetapi justru berlangsung lebih intensif setelah pemberian akses kelola, sehingga memperkuat indikasi bahwa penurunan cadangan karbon berkaitan erat dengan periode pasca-penerbitan izin Perhutanan Sosial.

Hasil uji statistik

Pengujian statistik diawali dengan uji normalitas Shapiro–Wilk terhadap data selisih stok karbon. Hasil uji menunjukkan nilai W sebesar 0,559 dengan nilai p lebih kecil dari 0,001, sehingga data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, pengujian perbedaan dilanjutkan menggunakan uji Wilcoxon Signed Rank Test sebagai metode non-parametrik untuk data berpasangan. Ringkasan hasil uji statistik disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, uji Wilcoxon Signed Rank Test menghasilkan nilai p lebih kecil dari 0,001 yang berarti terdapat perbedaan stok karbon yang signifikan secara statistik antara kondisi sebelum dan sesudah penerbitan izin pada tingkat kepercayaan 95%. Arah perbedaan tersebut bersifat menurun, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai rata-rata selisih yang negatif. Selain itu, analisis korelasi menghasilkan koefisien sebesar -0,458 yang menunjukkan hubungan negatif antara

stok karbon awal dan besarnya perubahan, sehingga kelompok dengan cadangan karbon awal yang tinggi cenderung mengalami penurunan yang lebih besar. Penggunaan uji non-parametrik berpasangan semacam ini lazim diterapkan dalam evaluasi perubahan kondisi biofisik antarperiode ketika asumsi normalitas tidak terpenuhi.

Tabel 5. Ringkasan hasil uji statistik perbedaan stok karbon sebelum dan sesudah SK

Parameter Statistik	Nilai	Keterangan
Jumlah pasangan (n)	45	Kelompok Tani Hutan
Rata-rata sebelum SK	34.541 ton C	Periode t-5 sampai t-1
Rata-rata sesudah SK	26.084 ton C	Periode t+1 sampai t+5
Rata-rata selisih (d)	-8.457 ton C	Penurunan per kelompok
Uji Shapiro–Wilk (W; p)	0,559; p < 0,001	Data tidak normal
Uji Wilcoxon (p-value)	p < 0,001	Perbedaan signifikan
Koefisien korelasi (r)	-0,458	Korelasi negatif

Faktor Penyebab Penurunan Stok Karbon

Penurunan stok karbon yang signifikan setelah penerbitan izin pada wilayah penelitian dapat dijelaskan oleh perubahan komposisi tutupan lahan, khususnya beralihnya kelas tutupan lahan berhutan dengan faktor karbon tinggi menjadi kelas pertanian lahan kering dan pertanian lahan kering campur dengan faktor karbon yang jauh lebih rendah. Konversi semacam ini secara langsung menurunkan kapasitas penyimpanan karbon pada tingkat tapak. Guillaume et al. (2018) menunjukkan bahwa konversi hutan hujan di Indonesia menjadi sistem perkebunan dan pertanian menyebabkan kehilangan karbon dalam jumlah besar, baik dari biomassa di atas permukaan maupun dari karbon tanah, sehingga mendukung interpretasi bahwa konversi lahan merupakan mekanisme utama penurunan karbon pada areal Perhutanan Sosial.

Pemberian akses kelola melalui izin Perhutanan Sosial pada kondisi tertentu justru dapat memicu intensifikasi pemanfaatan lahan apabila tidak disertai pendampingan dan pengawasan yang memadai. Juniyantri dan

Situmorang (2023) mengidentifikasi bahwa lemahnya kapasitas kelembagaan dan kegagalan kebijakan merupakan penyebab mendasar perubahan tutupan lahan dan deforestasi di Indonesia, sedangkan aktivitas masyarakat dan perusahaan menjadi penyebab langsungnya. Temuan tersebut relevan dengan kondisi pada wilayah penelitian, di mana penurunan karbon yang terjadi setelah penerbitan izin mengindikasikan adanya kesenjangan antara pemberian hak kelola dan penguatan kapasitas pengelolaan lestari di tingkat kelompok.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kraus *et al.* (2021) yang menyimpulkan bahwa program Perhutanan Sosial di Indonesia belum menunjukkan penurunan deforestasi secara agregat. Dengan demikian, pemberian izin Perhutanan Sosial tidak secara otomatis menjamin terpeliharanya cadangan karbon, melainkan sangat bergantung pada kualitas tata kelola pasca-izin. Kajian Gunawan *et al.* (2024) menegaskan bahwa redistribusi lahan hutan melalui berbagai skema, termasuk Perhutanan Sosial, dapat berbenturan dengan tujuan konservasi keanekaragaman hayati dan mitigasi perubahan iklim apabila tidak diimbangi dengan perencanaan yang seimbang antara kepentingan ekonomi dan pelestarian lingkungan.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasilnya. Pertama, estimasi karbon menggunakan faktor karbon yang bersifat tetap untuk setiap kelas tutupan lahan sesuai pendekatan *Tier 1* hingga *Tier 2* dari IPCC, sehingga perubahan karbon yang terjadi di dalam satu kelas tutupan lahan yang sama tidak tertangkap. Brinck *et al.* (2017) menunjukkan bahwa pendekatan *Tier 1* cenderung menaksir terlalu tinggi cadangan karbon hutan tropis akibat efek tepi hutan, sehingga estimasi pada penelitian ini perlu dimaknai sebagai pendekatan pada skala lanskap. Kedua, penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol berupa areal non-Perhutanan Sosial, sehingga hasil yang diperoleh menunjukkan asosiasi temporal antara penerbitan izin dan penurunan karbon,

bukan hubungan sebab-akibat langsung. Ketiga, tahun tanpa ketersediaan peta tutupan lahan diasumsikan stagnan mengikuti kondisi peta terdekat, sehingga perubahan yang terjadi pada tahun-tahun tersebut berpotensi tidak terekam secara penuh.

Implikasi terhadap Target Mitigasi Perubahan Iklim

Temuan penurunan stok karbon pada areal Perhutanan Sosial memiliki implikasi penting terhadap pencapaian komitmen mitigasi perubahan iklim Indonesia, khususnya target *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) dan strategi *Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030*. Strategi tersebut menempatkan sektor kehutanan sebagai penyerap bersih emisi pada tahun 2030, dengan Perhutanan Sosial sebagai salah satu instrumen pendukungnya. Apabila areal Perhutanan Sosial justru menjadi sumber emisi sebagaimana ditemukan pada wilayah penelitian, maka terdapat kesenjangan antara desain kebijakan dan realisasinya di lapangan. Pusparini *et al.* (2023) menekankan pentingnya prioritas spasial yang mempertimbangkan nilai karbon dan keanekaragaman hayati dalam perencanaan konservasi di Indonesia, sehingga penguatan tata kelola, pendampingan teknis, dan pengawasan pasca-izin menjadi prasyarat agar Perhutanan Sosial dapat berkontribusi positif terhadap target *Net Sink 2030*.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak menafikan potensi Perhutanan Sosial sebagai instrumen pemeliharaan karbon, melainkan menyoroti bahwa potensi tersebut hanya dapat terwujud apabila pemberian akses kelola diiringi dengan penguatan kelembagaan dan praktik pengelolaan hutan lestari. Müller *et al.* (2023) menunjukkan bahwa program kehutanan berbasis masyarakat di Indonesia memiliki potensi simpanan karbon yang besar apabila dikelola dengan pendekatan yang berkelanjutan, sehingga arah perbaikan tata kelola menjadi kunci dalam mengubah kecenderungan penurunan karbon menjadi penyerapan karbon pada masa mendatang.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa stok karbon pada areal Perhutanan Sosial di wilayah Balai KPH Wilayah I Nusa Tenggara Barat cenderung menurun setelah penerbitan Surat Keputusan (SK) Perhutanan Sosial. Sebanyak 37 dari 45 kelompok mengalami penurunan stok karbon, dan hasil uji Wilcoxon Signed-Rank menunjukkan bahwa perbedaan stok karbon sebelum dan sesudah penerbitan izin signifikan secara statistik ($p < 0,001$). Penurunan tersebut berkaitan dengan perubahan tutupan lahan berhutan menjadi lahan dengan faktor karbon yang lebih rendah, terutama lahan pertanian.

Temuan ini mengindikasikan bahwa implementasi Perhutanan Sosial di lokasi penelitian belum sepenuhnya mampu mempertahankan cadangan karbon sebagai salah satu indikator pengelolaan hutan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan penguatan pengelolaan pasca-perizinan melalui pendampingan teknis, pemantauan perubahan tutupan lahan, serta penerapan praktik pengelolaan hutan yang mendukung konservasi karbon. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan kelompok pembanding (*control sites*) dan pendekatan estimasi karbon berbasis biomassa lapangan atau penginderaan jauh beresolusi tinggi untuk meningkatkan ketepatan analisis serta memperkuat inferensi mengenai pengaruh Perhutanan Sosial terhadap dinamika stok karbon.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Perhutanan Sosial di wilayah kerja Balai Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Wilayah I Nusa Tenggara Barat yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di tempat tersebut. Terima kasih juga kepada Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Universitas Mataram yang telah membantu dan memfasilitasi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Ansari, F., Narendra, B. H., Putri, I. A. S. L. P., Tata, H. L., Dharmawan, I. W. S., Rachmat, H. H., Suharti, S., Windyoningrum, A., Khotimah, H., Sayektiningsih, T., & Tabbas, S. (2024). Forest cover change and its carbon dynamic of the karst area in Bulusaraung, South Sulawesi, Indonesia. *Forest Science and Technology*, 20(2), 179–193. <https://doi.org/10.1080/21580103.2024.2343344>
- Brinck, K., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., De Paula, M. D., Pütz, S., Sexton, J. O., Song, D., & Huth, A. (2017). High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle. *Nature Communications*, 8, 14855. <https://doi.org/10.1038/ncomms14855>
- Dharmawan, I. W. S., Pratiwi, Siregar, C. A., Narendra, B. H., Wahyuni, N., & Pratiwi, A. (2023). Implementation of forest-land rehabilitation to support the enhancement of carbon stock on Indonesia's FOLU net sink 2030 strategy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1180, 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1180/1/012010>
- Guillaume, T., Kotowska, M. M., Hertel, D., Knohl, A., Krashevskaya, V., Murtillaksono, K., Scheu, S., & Kuzyakov, Y. (2018). Carbon costs and benefits of Indonesian rainforest conversion to plantations. *Nature Communications*, 9, 2388. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04755-y>
- Gunawan, H., Mulyanto, B., Suharti, S., Subarudi, Ekawati, S., Karlina, E., Pratiwi, Yeny, I., Nurlia, A., Effendi, R., Widarti, A., Martin, E., Kalima, T., Desmiwati, Takandjandji, M., Heriyanto, N. M., Garsetiasih, R., Sawitri, R., Rianti, A., & Marsandi, F. (2024). Forest land redistribution and its relevance to biodiversity conservation and climate change issues in Indonesia. *Forest Science and Technology*, 20(2), 213–228. <https://doi.org/10.1080/21580103.2024.2347902>

- Hunka, N., Santoro, M., Armston, J., Dubayah, R., McRoberts, R. E., Næsset, E., Quegan, S., Urbazaev, M., Pascual, A., May, P. B., Minor, D., Leitold, V., Basak, P., Liang, M., Melo, J., Herold, M., Labrière, N., & Duncanson, L. (2022). Aboveground forest biomass varies across continents, ecological zones and successional stages: refined IPCC default values for tropical and subtropical forests. *Environmental Research Letters*, 17(1), 014047. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac45b3>
- Juniyanti, L., & Situmorang, R. O. P. (2023). What causes deforestation and land cover change in Riau Province, Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 153, 102999. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102999>
- Kraus, S., Liu, J., Koch, N., & Fuss, S. (2021). No aggregate deforestation reductions from rollout of community land titles in Indonesia yet. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(43), e2100741118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2100741118>
- Mohammed, I., Marshall, M., de Bie, K., Estes, L., & Nelson, A. (2024). Mapping forest cover change and estimating carbon stock using satellite-derived vegetation indices in Alesaga forest, Ethiopia. *PLOS ONE*, 19(9), e0310780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310780>
- Murdiyarso, D., Swails, E., Hergoualc'h, K., Bhomia, R., & Sasmito, S. D. (2024). Refining greenhouse gas emission factors for Indonesian peatlands and mangroves to meet ambitious climate targets. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(17), e2307219121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2307219121>
- Müller, D. P., Szemkus, N., & Hiete, M. (2023). Carbon balance of plywood from a social reforestation program in Indonesia. *Scientific Reports*, 13, 13631. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40580-0>
- Pusparini, W., Cahyana, A., Grantham, H. S., Maxwell, S., Soto-Navarro, C., & Macdonald, D. W. (2023). A bolder conservation future for Indonesia by prioritising biodiversity, carbon and unique ecosystems in Sulawesi. *Scientific Reports*, 13, 842. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21536-2>
- Resosudarmo, I. A. P., Tacconi, L., Sloan, S., Hamdani, F. A. U., Subarudi, Alviya, I., & Muttaqin, M. Z. (2019). Indonesia's land reform: Implications for local livelihoods and climate change. *Forest Policy and Economics*, 108, 101903. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.04.007>
- Riggs, R. A., Sayer, J., Margules, C., Boedhihartono, A. K., Langston, J. D., & Sutanto, H. (2016). Forest tenure and conflict in Indonesia: Contested rights in Rempek Village, Lombok. *Land Use Policy*, 57, 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.002>
- Sahide, M. A. K., Fisher, M. R., Erbaugh, J. T., Intarini, D., Dharmiasih, W., Makmur, M., Faturachmat, F., Verheijen, B., & Maryudi, A. (2020). The boom of social forestry policy and the bust of social forests in Indonesia: Developing and applying an access-exclusion framework to assess policy outcomes. *Forest Policy and Economics*, 120, 102290. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102290>
- Santika, T., Wilson, K. A., Budiharta, S., Kusworo, A., Meijaard, E., Law, E. A., Friedman, R., Hutabarat, J. A., Indrawan, T. P., St. John, F. A. V., & Struebig, M. J. (2019). Heterogeneous impacts of community forestry on forest conservation and poverty alleviation: Evidence from Indonesia. *People and Nature*, 1(2), 204–219. <https://doi.org/10.1002/pan3.25>
- Tadese, S., Soromessa, T., Aneseye, A. B., Gebeyehu, G., Noszczyk, T., & Kindu, M. (2023). The impact of land cover change on the carbon stock of moist afro-montane forests in the Majang Forest Biosphere Reserve. *Carbon Balance and Management*, 18(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00243-z>