

**ESTIMASI EMISI KARBONDIOKSIDA EQUIVALEN DARI  
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI HUTAN LINDUNG  
KPHL PASAMAN RAYA**

**Zakiy Nurnasfi<sup>1\*</sup>, Noril Milantara<sup>1</sup>, Teguh Haria Aditia Putra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

\*Corresponden author: [zakiynurnasvi01@gmail.com](mailto:zakiynurnasvi01@gmail.com)

***Abstract***

*The Pasaman Raya Protection Forest (KPHL) plays a crucial role in climate change mitigation through carbon storage. This study aims to analyze land cover changes from 1990 to 2023, estimate carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>-eq) emissions. Secondary data were processed using ArcGIS and LUMENS software with the change detection method and the QUES-C model for carbon estimation. The results show significant land cover changes. Secondary forests decreased from 157,609 hectares (1990) to 126,599 hectares (2023), while plantations increased from 1,091 hectares to 17,202 hectares. These changes reflect significant pressure from land conversion for agriculture. Shrubs and open land also increased, indicating land degradation and suboptimal natural regeneration. Estimates revealed that forest-to-non-forest conversion is the primary contributor to CO<sub>2</sub>-eq emissions, while natural regeneration provides limited carbon sequestration. This study concludes that primary forest conservation, degraded land rehabilitation, and controlled plantation expansion are essential to maintain ecosystem balance. These findings are crucial for supporting climate change mitigation policies, particularly in achieving Indonesia's FOLU Net Sink 2030 targets.*

**Keywords: Land cover, Carbondioxide, Emissions, Sequestration**

***Abstrak***

*Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyimpanan karbon. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan tutupan lahan periode 1990–2023. Data sekunder diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan LUMENS dengan metode change detection serta model QUES-C untuk estimasi karbon. Hasil menunjukkan perubahan signifikan pada tutupan lahan. Luas hutan sekunder menurun dari 157.609 hektar (1990) menjadi 126.599 hektar (2023), sementara perkebunan meningkat dari 1.091 hektar menjadi 17.202 hektar. Perubahan ini menggambarkan tekanan besar akibat konversi lahan untuk sektor agrikultur. Belukar dan tanah terbuka juga meningkat, mengindikasikan degradasi lahan dan regenerasi alami yang tidak optimal. Estimasi menunjukkan konversi hutan ke non-hutan sebagai penyumbang utama emisi CO<sub>2</sub>-eq, sementara regenerasi alami memberikan penyerapan karbon terbatas. Penelitian ini menyimpulkan perlunya perlindungan hutan primer, rehabilitasi lahan terdegradasi, dan pengendalian ekspansi perkebunan untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Temuan ini penting untuk mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim, khususnya dalam mencapai target FOLU Net Sink 2030 Indonesia.*

**Kata kunci: tutupan lahan, Karbondioksida, Emisi, Sekuestrasi.**

## **PENDAHULUAN**

Perubahan tutupan lahan merupakan faktor utama dalam peningkatan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq) yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Deforestasi dan degradasi hutan akibat ekspansi perkebunan, pertanian, serta konversi lahan untuk pemukiman telah menjadi isu utama dalam pengelolaan hutan tropis, termasuk di Indonesia (Margono et al., 2012). Sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya menyumbang sekitar 36,17% dari total emisi gas rumah kaca nasional (KLHK, 2018), menunjukkan urgensi mitigasi terhadap laju kehilangan tutupan hutan.

Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan berdampak signifikan terhadap stok karbon hutan. Penelitian oleh Aldrian et al. (2011) menyatakan bahwa konversi hutan menjadi perkebunan sawit menurunkan cadangan karbon dari 100–300 ton/ha menjadi hanya 30–40 ton/ha. Tekanan urbanisasi terhadap lahan hutan berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem dan meningkatkan emisi karbon. Namun, masih terbatas kajian yang mengestimasi secara kuantitatif dampak perubahan tutupan lahan terhadap emisi karbon dalam skala spesifik kawasan hutan lindung di Sumatera Barat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya serta mengestimasi emisi CO<sub>2</sub>-eq yang dihasilkan akibat perubahan tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim, khususnya dalam pencapaian target FOLU Net Sink 2030 di Indonesia.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya dengan menggunakan data sekunder dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Data utama berupa peta tutupan lahan tahun 1990, 2000, 2011, dan 2023 dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS dengan metode change detection untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan.

Estimasi emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq) dilakukan menggunakan model QUES-C pada perangkat lunak LUMENS. Model ini menghitung emisi berdasarkan perubahan kategori tutupan lahan dan nilai stok karbon masing-masing jenis lahan. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan perubahan luas hutan dan lahan non-hutan dalam setiap periode.

Tahapan penelitian meliputi pengolahan data spasial, analisis perubahan tutupan lahan, perhitungan emisi karbon, serta interpretasi hasil. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kuantitatif mengenai dampak perubahan tutupan lahan terhadap emisi karbon dan menjadi referensi dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **I. Perubahan Tutupan Lahan**

Perubahan tutupan lahan di kawasan Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya selama periode 1990 hingga 2023 mencerminkan dampak yang signifikan dari aktivitas manusia

serta faktor alamiah terhadap dinamika ekosistem hutan. Seiring berjalannya waktu, tekanan terhadap lahan hutan kian meningkat akibat adanya permintaan yang terus bertambah untuk lahan pertanian, perkebunan, dan pemukiman. Pada saat yang sama, upaya konservasi untuk melindungi hutan primer dan mengurangi deforestasi terus dilakukan, meskipun tekanan konversi lahan kerap kali sulit dihindari. Dampak perubahan ini tak hanya merubah lanskap tutupan lahan, namun juga berkontribusi pada emisi karbon dioksida ekuivalen yang signifikan, mengingat peran penting hutan dalam menyimpan dan menyerap karbon. Jenis tutupan lahan di KPHL Pasaman Raya dari tahun 1990-2023 dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1. Jenis dan Luas Tutupan Lahan Tahun 1990-2023 di KPHL Pasaman Raya**  
(*Type and Area of Land Cover 1990-2023 in KPHL Pasaman Raya*)

| No           | Tutupan Lahan                 | Luas             |                  |                  |                  |
|--------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|              |                               | Thn 1990         | Thn 2000         | Thn 2011         | Thn 2023         |
| 1            | Badan Air                     | 243,10           | 265,19           | 265,19           | 522,26           |
| 2            | Belukar                       | 11123,20         | 8652,82          | 23152,52         | 23276,25         |
| 3            | Belukar Rawa                  | 819,38           | 851,78           | 1231,07          | 1154,15          |
| 4            | Hutan Lahan Kering Primer     | 104297,47        | 104276,72        | 103423,46        | 106246,39        |
| 5            | Hutan Lahan Kering Sekunder   | 157609,39        | 157880,47        | 141447,98        | 126599,27        |
| 6            | Hutan Mangrove Sekunder       | 1188,26          | 1184,32          | 939,00           | 177,81           |
| 7            | Hutan Rawa Primer             | 1905,73          | 1905,73          | 1646,18          | 3093,60          |
| 8            | Hutan Rawa Sekunder           | 8394,44          | 6886,94          | 6248,00          | 679,17           |
| 9            | Hutan Tanaman                 | 1043,62          | 1511,80          | 1192,65          | 24,92            |
| 10           | Pemukiman                     | 287,54           | 311,97           | 311,97           | 386,82           |
| 11           | Perkebunan                    | 1091,92          | 2942,89          | 3215,07          | 17202,67         |
| 12           | Pertanian Lahan Kering        | 12071,40         | 12637,81         | 14163,02         | 8160,96          |
| 13           | Pertanian Lahan Kering Campur | 32336,21         | 33061,64         | 32669,33         | 41070,04         |
| 14           | Sawah                         | 918,35           | 933,51           | 834,94           | 847,48           |
| 15           | Tanah Terbuka                 | 345,30           | 486,69           | 2848,35          | 3719,10          |
| <b>Total</b> |                               | <b>333675,32</b> | <b>333790,30</b> | <b>333588,73</b> | <b>333160,90</b> |

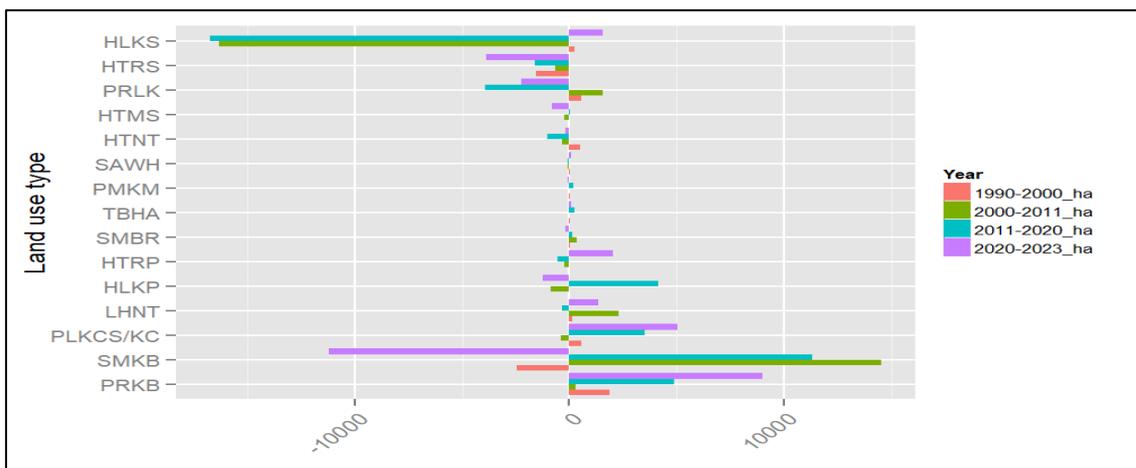
Hasil analisis perubahan tutupan lahan di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya menunjukkan adanya pergeseran yang signifikan dalam kurun waktu 1990 hingga 2023. Data hasil interpretasi peta tutupan lahan menunjukkan bahwa luas hutan lahan kering sekunder mengalami penurunan yang cukup besar, dari 157.609 hektar pada tahun 1990 menjadi 126.599 hektar pada tahun 2023. Penurunan ini sejalan dengan peningkatan luas lahan perkebunan yang mengalami ekspansi signifikan, dari hanya 1.092 hektar pada tahun 1990 menjadi 17.202 hektar pada tahun 2023. Selain itu, luas belukar juga mengalami peningkatan yang cukup mencolok, dari 11.123 hektar pada tahun 1990 menjadi 23.276 hektar pada tahun 2023.

Perubahan ini mengindikasikan adanya tekanan konversi lahan yang tinggi terhadap ekosistem hutan lindung. Konversi hutan menjadi lahan perkebunan dan pertanian dapat berdampak langsung pada hilangnya stok karbon di kawasan tersebut, mengingat hutan memiliki kapasitas simpan karbon yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang telah dikonversi.

Penelitian yang dilakukan oleh Sultan (2024) di kawasan hutan lindung Sumatera Barat menunjukkan pola yang mirip, di mana terjadi penurunan luas hutan sekunder secara signifikan

akibat ekspansi perkebunan dan pemukiman, dan meningkatnya permintaan lahan pertanian. Penelitian tersebut juga mencatat bahwa konversi hutan sekunder menjadi lahan terbuka atau belukar terjadi akibat perambahan hutan untuk kegiatan ekonomi. Penelitian serupa oleh Pahlevi et al (2021) di wilayah Kalimantan Barat menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan hutan sekunder menjadi lahan perkebunan memberikan kontribusi besar terhadap emisi karbon, serta menciptakan kondisi ekosistem yang lebih rentan terhadap erosi dan penurunan kualitas tanah.

Dalam 33 tahun terakhir yaitu dari tahun 1990 hingga tahun 2023 perubahan tutupan lahan yang terjadi di wilayah kelola KPHL Pasaman Raya mengalami perubahan tutupan. Peningkatan dan penurunan jenis tutupan lahan pada wilayah kelola KPHL Agam Raya periode 1990-2000, 2000-2011, 2011-2023 dapat di lihat pada gambar berikut:



**Gambar 1. Peningkatan dan Penurunan Jenis Tutupan Lahan (*Increase and Decrease in Land Cover Types*)**

Keterangan: Ba= Badan Air, B= Belukar, BR= Belukar Rawa, HLKP= Hutan Lahan Kering Primer, HLKS= Hutan Lahan Kering Sekunder, HMS= Hutan Mangrove Sekunder, HRP= Hutan Rawa Primer, HRS= Hutan Rawa Sekunder, HT= Hutan Tanaman, Pm= Permukiman, Pkb= Perkebunan, PLK= Pertanian Lahan Kering, PLKC= Pertanian Lahan Kering Campur, Sw= Persawahan, TB= Tanah Terbuka

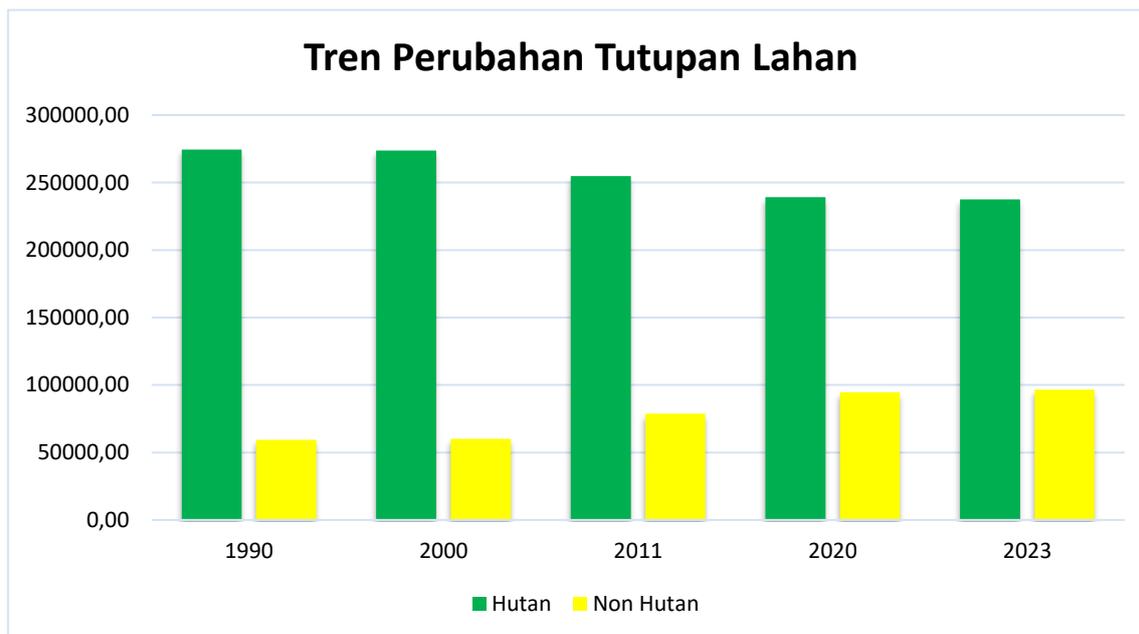
Hasil penelitian membuktikan perubahan tutupan lahan dari tahun 1990 hingga 2023 menunjukkan penurunan pada luas area hutan, disertai dengan peningkatan pada area non-hutan. Pada tahun 1990, luas hutan tercatat sebesar 274.438,92 hektar, sedangkan area non-hutan sebesar 59.351,38 hektar. Dekade berikutnya, pada tahun 2000, luas hutan sedikit menurun menjadi 273.645,99 hektar, sementara area non-hutan meningkat menjadi 60.144,30 hektar.

Penurunan yang lebih drastis pada area hutan mulai terlihat pada tahun 2011, ketika luas hutan tercatat sebesar 254.897,26 hektar, berkurang sekitar 18.748 hektar dari tahun 2000. Pada tahun yang sama, area non-hutan mengalami peningkatan signifikan menjadi 78.893,04 hektar, mencerminkan adanya alih fungsi lahan yang cukup besar.

Perubahan terus berlanjut pada tahun 2010, dengan luas hutan berkurang lagi menjadi 239.307,03 hektar. Sementara itu, area non-hutan meningkat menjadi 94.662,15 hektar. Pada tahun 2023, luas hutan tercatat sebesar 237.528,92 hektar, sementara area non-hutan terus meningkat menjadi 96.428,81 hektar.

Penurunan luas hutan yang terus terjadi dari tahun 1990 hingga 2023 mengindikasikan adanya tekanan yang kuat terhadap kawasan hutan, kemungkinan besar akibat ekspansi sektor perkebunan, pertanian, pemukiman, atau infrastruktur. Jika tren ini terus berlanjut tanpa adanya upaya konservasi dan pengelolaan hutan yang berkelanjutan, wilayah ini berpotensi mengalami degradasi lingkungan yang lebih parah di masa mendatang.

Klasifikasi tutupan lahan wilayah kelola KPHL Pasaman Raya sesuai dengan yang tercantum dalam (Sinery, 2019) yang membagi tutupan lahan menjadi 2 kategori yaitu hutan dan non hutan dapat dilihat pada gambar diagram berikut:



**Gambar 2. Grafik Tutupan Lahan Hutan dan Non Hutan KPHL Pasaman Raya**  
(*Graph of Forest and Non-Forest Land Cover of KPHL Pasaman Raya*)

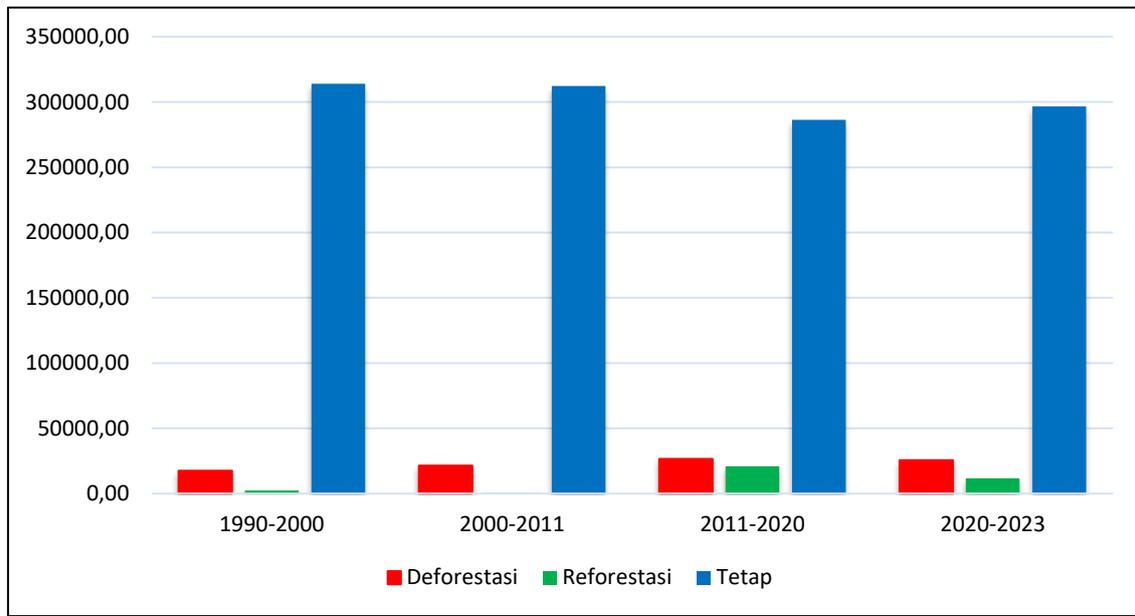
Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kondisi ekosistem hutan dan keseimbangan emisi karbon. Dua konsep penting dalam hal ini adalah deforestasi dan reforestasi. Deforestasi adalah proses pengurangan atau hilangnya tutupan hutan akibat aktivitas manusia, seperti pembukaan lahan untuk pertanian, pembangunan infrastruktur, atau akibat kebakaran.

Deforestasi menyebabkan pelepasan karbon yang sebelumnya tersimpan dalam biomassa hutan dan tanah ke atmosfer, sehingga meningkatkan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>eq). Dampak ini menjadi semakin besar ketika deforestasi terjadi dalam skala luas, karena karbon yang tersimpan dalam hutan merupakan salah satu komponen kunci dalam upaya pengendalian perubahan iklim.

Sebaliknya, reforestasi merupakan proses penanaman kembali pohon atau vegetasi di area yang sebelumnya mengalami degradasi atau kehilangan tutupan hutan. Reforestasi bertujuan untuk mengembalikan fungsi ekosistem hutan, termasuk penyerapan karbon dari atmosfer, yang dapat mengurangi jumlah emisi CO<sub>2</sub>e. Selain berfungsi sebagai penyerap karbon, hutan yang direstorasi juga berperan dalam meningkatkan keanekaragaman hayati dan menjaga

keseimbangan ekologis. Dalam penelitian ini, perubahan luas deforestasi, reforestasi, dan area yang tetap menjadi hutan (tidak mengalami perubahan tutupan) di kawasan Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya dianalisis dalam beberapa periode waktu.

Data ini digunakan untuk memahami sejauh mana aktivitas deforestasi dan reforestasi memengaruhi total emisi CO<sub>2</sub>e dalam kawasan tersebut. Berikut adalah data mengenai luas deforestasi, reforestasi, dan area tetap di KPHL Pasaman Raya dari tahun 1990 hingga 2023:



**Gambar 3. Grafik Deforestasi, Reforestasi, dan Tetap di KPHL Pasaman Raya** (*Graph of Deforestation, Reforestation and Remaining at KPHL Pasaman Raya*)

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perubahan tutupan lahan di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya, terlihat bahwa pola deforestasi, reforestasi, dan luas tetap mengalami perubahan signifikan dari tahun 1990 hingga 2023. Pada periode 1990-2000, luas deforestasi mencapai 17.425,66 hektar, yang mengindikasikan adanya tekanan terhadap hutan pada awal periode penelitian. Jumlah ini meningkat pada periode berikutnya (2000-2011) menjadi 21.298,65 hektar, menunjukkan peningkatan aktivitas yang merusak tutupan hutan. Selanjutnya, pada periode 2011-2020, luas deforestasi kembali meningkat signifikan hingga mencapai 26.642,07 hektar, mengindikasikan adanya deforestasi yang semakin masif. Pada periode terakhir, yaitu 2020-2023, luas deforestasi sedikit menurun menjadi 25.667,46 hektar, yang mungkin disebabkan oleh adanya upaya perlindungan atau regulasi yang lebih ketat dalam mengendalikan hilangnya tutupan hutan.

## II. Estimasi Emisi CO<sub>2</sub>-eq Akibat Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan memiliki implikasi signifikan terhadap emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq), yang berkontribusi langsung pada perubahan iklim. Deforestasi, sebagai pengurangan tutupan hutan, menyebabkan pelepasan karbon yang tersimpan dalam biomassa dan tanah, sedangkan reforestasi berfungsi sebaliknya, yaitu menyerap karbon dari atmosfer melalui penyerapan karbon oleh vegetasi baru. Dalam sub

bab ini, estimasi emisi CO<sub>2</sub>-eq akibat perubahan tutupan lahan di kawasan Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya akan dianalisis berdasarkan data deforestasi, reforestasi, dan area tetap dari beberapa periode waktu.

Analisis ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana perubahan tutupan lahan berkontribusi pada emisi karbon dan bagaimana pola perubahan tersebut memengaruhi keseimbangan emisi di kawasan penelitian. Hasil estimasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang dampak perubahan lahan terhadap lingkungan dan menjadi dasar dalam merumuskan kebijakan pengelolaan hutan yang berkelanjutan. Hasil perhitungan emisi karbon dari perubahan tutupan lahan pada wilayah kelola KPHL Pasaman Raya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2. Emisi dan Sekuestrasi CO<sub>2</sub>-eq Tahun 1990-2023** (*CO<sub>2</sub>-eq Emissions and Sequestration 1990-2023*)

| Perhitungan Emisi   | Tahun        |              |               |              |
|---|--------------|--------------|---------------|--------------|
|   | 1990 – 2000  | 2000 – 2011  | 2011 – 2020   | 2020 – 2023  |
| Total Emisi (Ton CO <sub>2</sub> -eq)                       | 1.437.135,30 | 9.581.973,64 | 10.287.354,98 | 4.910.658,18 |
| Total Sekuestrasi (Ton CO <sub>2</sub> -eq)                 | 1.109.617,16 | 61.237,62    | 3.880.702,04  | 5.578.128,42 |
| Emisi Bersih (Ton CO <sub>2</sub> -eq)                      | 327.518,14   | 9.520.736,02 | 6.406.652,94  | -667.470,24  |
| Laju Emisi (Ton CO <sub>2</sub> -eq/tahun)                  | 32.751,814   | 865.521,456  | 711.850,327   | -222.490,08  |
| Laju emisi per-unit area (Ton CO <sub>2</sub> -eq/ha.tahun) | 0,025        | 0,656        | 0,541         | -0,169       |

Pada periode 1990-2000, total emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq) yang dihasilkan akibat perubahan tutupan lahan tercatat sebesar 1.437.135,30 ton. Sementara itu, proses sekuestrasi atau penyerapan karbon oleh hutan mencapai 1.109.617,16 ton CO<sub>2</sub>-eq, sehingga emisi bersih menjadi 327.518,14 ton CO<sub>2</sub>-eq. Laju emisi tahunan dalam periode ini tercatat sebesar 32.751,814 ton CO<sub>2</sub>-eq per tahun, dan laju emisi per-unit area adalah 0,025 ton CO<sub>2</sub>-eq per hektar per tahun. Nilai ini menunjukkan bahwa pada periode awal, emisi karbon akibat deforestasi relatif lebih rendah, mungkin disebabkan oleh aktivitas deforestasi yang belum begitu intensif atau karena adanya tutupan hutan yang masih cukup luas sehingga proses penyerapan karbon masih berjalan optimal.

Perubahan signifikan terjadi pada periode 2000-2011, di mana total emisi meningkat tajam menjadi 9.581.973,64 ton CO<sub>2</sub>-eq, tetapi sekuestrasi karbon turun drastis menjadi hanya 61.237,62 ton CO<sub>2</sub>-eq. Akibatnya, emisi bersih melonjak drastis menjadi 9.520.736,02 ton CO<sub>2</sub>-eq, dengan laju emisi tahunan mencapai 865.521,456 ton CO<sub>2</sub>-eq per tahun. Laju emisi per-unit area juga meningkat menjadi 0,656 ton CO<sub>2</sub>-eq per hektar per tahun. Lonjakan ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas deforestasi yang signifikan, sehingga tutupan hutan berkurang drastis dan kapasitas penyerapan karbon pun ikut menurun. Ini menjadi indikasi bahwa periode ini menghadapi tekanan yang besar terhadap keberlanjutan tutupan hutan, yang menghasilkan emisi karbon tinggi akibat hilangnya vegetasi penyimpan karbon.

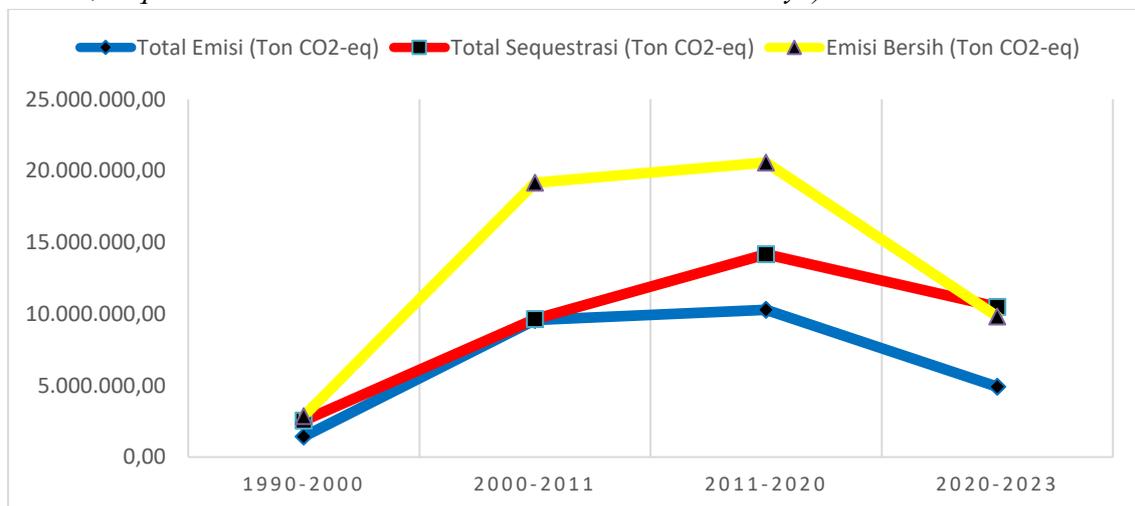
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di KPHL Pasaman Raya, terutama melalui aktivitas deforestasi, memiliki dampak besar terhadap peningkatan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Maryani, 2020), yang menunjukkan bahwa deforestasi yang intensif berdampak

signifikan pada peningkatan emisi karbon. (Maryani, 2020) menemukan bahwa emisi karbon dari deforestasi di kawasan tersebut mencapai 15,2 juta ton CO<sub>2</sub>-eq dalam periode lima tahun, dengan laju emisi yang jauh lebih tinggi dibandingkan laju sequestrasi karbon akibat minimnya kegiatan reforestasi.

Selain itu (Eddy et al., 2021) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa sumber emisi terbesar berasal dari alih fungsi hutan primer, perkebunan kelapa dan hutan sekunder menjadi lahan terbuka; sedangkan sumber sequestrasi berasal dari pembentukan hutan primer dan sekunder.

Perubahan tutupan lahan di wilayah hutan lindung memiliki dampak signifikan terhadap emisi gas rumah kaca, khususnya karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Hutan lindung KPHL Pasaman Raya, sebagai salah satu kawasan konservasi, memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mengurangi dampak perubahan iklim melalui kemampuan menyerap emisi karbon. Studi ini bertujuan untuk mengestimasi emisi karbondioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq) yang dihasilkan dari perubahan tutupan lahan di wilayah ini, serta menganalisis tren sequestrasi atau penyerapan karbon di hutan tersebut. Dengan melihat dinamika antara emisi yang dihasilkan, penyerapan karbon, dan emisi bersih yang terjadi dalam beberapa periode waktu, penelitian ini dapat memberikan gambaran bagaimana perubahan penggunaan lahan dan kebijakan pengelolaan hutan berdampak pada upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal. Tren estimasi emisi karbon dari perubahan tutupan lahan di wilayah KPHL Pasaman Raya dari tahun 1990-2023 dapat dilihat pada gambar berikut:

**Gambar 4. Tren Emisi, Sequestrasi, dan Emisi Bersih di KPHL Pasaman Raya** (*Emission Trends, Sequestration and Net Emissions at KPHL Pasaman Raya*)



Grafik di atas menunjukkan tren emisi, sequestrasi, dan emisi bersih karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq) di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya dalam empat periode waktu: 1990-2000, 2000-2011, 2011-2020, dan 2020-2023. Pada grafik ini, terlihat bahwa total emisi (dalam ton CO<sub>2</sub>-eq) mengalami perubahan signifikan antar periode. Pada periode 1990-2000, total emisi cukup tinggi namun cenderung menurun pada periode 2000-2011 dan 2011-2020, sebelum akhirnya mengalami penurunan yang sangat tajam pada periode 2020-2023. Hal ini mengindikasikan adanya upaya atau perubahan signifikan dalam mengendalikan emisi yang dihasilkan, kemungkinan terkait dengan kebijakan pengelolaan lahan atau peningkatan konservasi di wilayah tersebut.

Penelitian oleh Muhammad (2024) dalam penelitiannya di KPHL Agam Raya, Sumatera Barat, menemukan bahwa konversi lahan hutan menjadi lahan terbuka dan perkebunan meningkatkan emisi karbon secara signifikan. Namun, upaya reboisasi yang dilakukan secara bertahap mampu meningkatkan kemampuan hutan dalam menyerap emisi. Sementara itu (Firmanda, 2019) yang mengkaji dampak deforestasi dan reforestasi terhadap emisi karbon di Hutan Lindung Kota Padang, juga menunjukkan bahwa deforestasi menyebabkan peningkatan emisi, sedangkan kegiatan reforestasi mampu meningkatkan sequestrasi karbon, sehingga mengurangi emisi bersih. Tren emisi bersih, yang merupakan selisih antara total emisi dan sequestrasi, menunjukkan penurunan yang signifikan dari periode 1990-2000 hingga 2020-2023, mencapai nilai negatif pada periode terakhir. Emisi bersih yang semakin negatif mengindikasikan bahwa sequestrasi melebihi emisi, sehingga hutan lindung KPHL Pasaman Raya berperan sebagai penyerap karbon pada periode terakhir.

Kedua penelitian ini memperlihatkan bahwa pengelolaan tutupan lahan di kawasan hutan lindung secara langsung memengaruhi keseimbangan emisi karbon. Selain itu menurut Milantara dan Gustin (2023) keberadaan pepohonan pada jalur hijau Jl. Khatib Sulaiman mampu menyerap 0,06% emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari kendaraan bermotor pada rush hour. Serapan total sebesar 199 ton/tahun, sementara emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari kendaraan adalah sebesar 315.400 ton/tahun.

### **KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di Hutan Lindung KPHL Pasaman Raya berdampak signifikan terhadap emisi dan penyerapan karbondioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>-eq). Pada periode 1990-2000, emisi mencapai 1.437.135,30 ton CO<sub>2</sub>-eq dengan sequestrasi 1.109.617,16 ton CO<sub>2</sub>-eq, menghasilkan emisi bersih 327.518,14 ton CO<sub>2</sub>-eq. Namun, emisi meningkat tajam pada periode 2000-2011 menjadi 9.581.973,64 ton CO<sub>2</sub>-eq dan sequestrasi turun menjadi 61.237,62 ton CO<sub>2</sub>-eq, menghasilkan emisi bersih sebesar 9.520.736,02 ton CO<sub>2</sub>-eq. Peningkatan sequestrasi terjadi pada periode 2011-2020 hingga 3.880.702,04 ton CO<sub>2</sub>-eq, dan pada 2020-2023 mencapai 5.578.128,42 ton CO<sub>2</sub>-eq, menghasilkan emisi bersih negatif sebesar -667.470,24 ton CO<sub>2</sub>-eq. Hasil ini menunjukkan keberhasilan KPHL Pasaman Raya sebagai penyerap karbon netto pada periode terakhir, menggarisbawahi pentingnya reforestasi dan

konservasi lahan dalam menjaga fungsi hutan lindung sebagai penyerap karbon untuk mitigasi perubahan iklim.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, ucapan terimakasih kepada teman-teman dan pihak yang telah memberikan motivasi serta bantuan dalam berjalannya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman, B. (2011). Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedeputian Bidang Klimatologi
- Eddy, S., Milantara, N., & Basyuni, M. (2021). Carbon emissions as impact of mangrove degradation: A case study on the Air Telang Protected Forest, South Sumatra, Indonesia (2000-2020). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(4).
- Firmanda, R. (2019). Analisis Deforestasi Hutan Lindung Kota Padang Tahun 2007-2016 dan Dampaknya terhadap Emisi Karbon Hutan
- Margono, B. A., Turubanova, S., Zhuravleva, I., Potapov, P., Tyukavina, A., Baccini, A., Goetz, S., & Hansen, M. C. (2012). Mapping and monitoring deforestation and forest degradation in Sumatra (Indonesia) using Landsat time series data sets from 1990 to 2010. *Environmental Research Letters*, 7(3).
- Maryani, S. (2020). Pengaruh Deforestasi dan Tingkat Kebakaran Hutan Terhadap Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca. *Publikasi Penelitian Terapan dan Kebijakan*, 3(2), 46–50. <https://doi.org/10.46774/pptk.v3i2.106>
- Milantara, N., & Gustin, M. E. (2023). Pendugaan Sekuestrasi Pohon dan Emisi CO<sub>2</sub> Kendaraan Pada Jalan Khatib Sulaiman. *Jurnal Hutan Tropis*, 11(2), 141-150.
- Muhammad, I. (2024). Estimasi Emisi Karbondioksida Equivalen Dari Perubahan Tutupan Lahan di Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung Agam Raya.
- Pahlevi, W., Taris, H., Permadi, A. S., Fauzan, N., Pertiwi, S. A. H., & Savitri, F. (2021). Peran Reforma Agraria Dalam Menyimpan Cadangan Karbon Untuk Mengurangi Dampak Perubahan Iklim di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Pertanahan*, 10(2).
- Sinery, A. S. (2019). Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan. *Google Scholar. Deepublish*.
- Sultan, A. R. (2024). Perubahan Tutupan Lahan Hutan Terhadap Debit Puncak di DAS Air Dingin.