

ESTIMASI EMISI KARBON DI AREA PERKEBUNAN KELAPA SAWIT MENGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT (Studi Kasus: Perkebunan Kelapa Sawit di Panglejar, Subang)

ADIETYA NICKO HARMIYADI¹, SONI DARMAWAN²

1. Institut Teknologi Nasional Bandung¹
 2. Institut Teknologi Nasional Bandung²
- Email: adietyanicko36@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan industri membawa dampak negatif, khususnya kerusakan lingkungan. Peningkatan emisi karbon menyebabkan ketidakstabilan iklim. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi emisi karbon yang diserap oleh vegetasi kelapa sawit di perkebunan Panglejar, Kecamatan Sariater, Kabupaten Subang, dengan memanfaatkan metode *remote sensing* dan menggunakan data citra satelit Landsat. Estimasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan model *Light Use Efficiency* (LUE) melalui pemrosesan data dari NDVI, LAI, fAPAR, PAR, GPP, NPP di platform Google Earth Engine (GEE). Data yang digunakan berupa citra Landsat 5 tahun 1990 dan Landsat 8 tahun 2024. Proses pengolahan data mencakup koreksi radiometrik, kalibrasi, perhitungan indeks vegetasi, serta estimasi emisi karbon berdasarkan parameter biofisik vegetasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perubahan yang signifikan dalam pelepasan emisi karbon oleh tanaman kelapa sawit selama periode pengamatan. Pada tahun 1990, estimasi emisi karbon di lokasi penelitian mencapai 70.853 ton CO₂, sedangkan pada tahun 2024 mengalami peningkatan sebesar 72.578 ton CO₂. Dengan demikian perkebunan kelapa sawit dianggap mampu menjaga keseimbangan lingkungan sama seperti fungsi hutan utuh.

Kata kunci: Emisi Karbon, Kelapa Sawit, Landsat, Remote Sensing, Google Earth Engine, Light Use Efficiency, NDVI, fAPAR, GPP, NPP

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman masyarakat dunia mengalami berbagai perubahan dalam segala bidang salah satunya dalam bidang industri. Perkembangan industri tentunya membawa dampak positif maupun negatif bagi masyarakat dunia. Salah satu efek dari perkembangan industri yang tidak dapat dihindari adalah kerusakan lingkungan. Perusahaan pelaku industri mengeluarkan limbah-limbah berupa cairan, padatan, dan juga gas. Gas yang dihasilkan merupakan penyumbang polusi udara skala besar yang terus menjadi pemicu pergantian iklim ekstrim dunia. Hal tersebut sesuai dengan pendapat (Giannarkis, 2017) yang mengatakan bahwa salah satu dampak dari peningkatan emisi karbon adalah perubahan iklim yang tidak stabil. Emisi karbon merupakan salah satu ancaman utama yang mempengaruhi globalisasi manusia. Peningkatan emisi karbon yang dihasilkan memberikan kerugian bagi ekosistem alam dan manusia (Kacaribu, 2019). Penelitian ini dilaksanakan dengan kebaruan menghitung seberapa banyak emisi karbon

yang diserap per hektar dalam kurun waktu tertentu menggunakan website Google Earth Engine. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data menggunakan citra Landsat daerah perkebunan kelapa sawit Sariater, Kabupaten Subang. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi yang akurat bagi masyarakat bahwa kelapa sawit mampu menyerap emisi karbon dan berdampak baik untuk mengurangi pemanasan global dan mencegah perubahan iklim yang dapat merusak sumber daya alam. Dengan penggunaan citra satelit Landsat diharapkan hasil yang didapatkan akurat dan memiliki presisi tinggi.

2. DATA DAN METODOLOGI

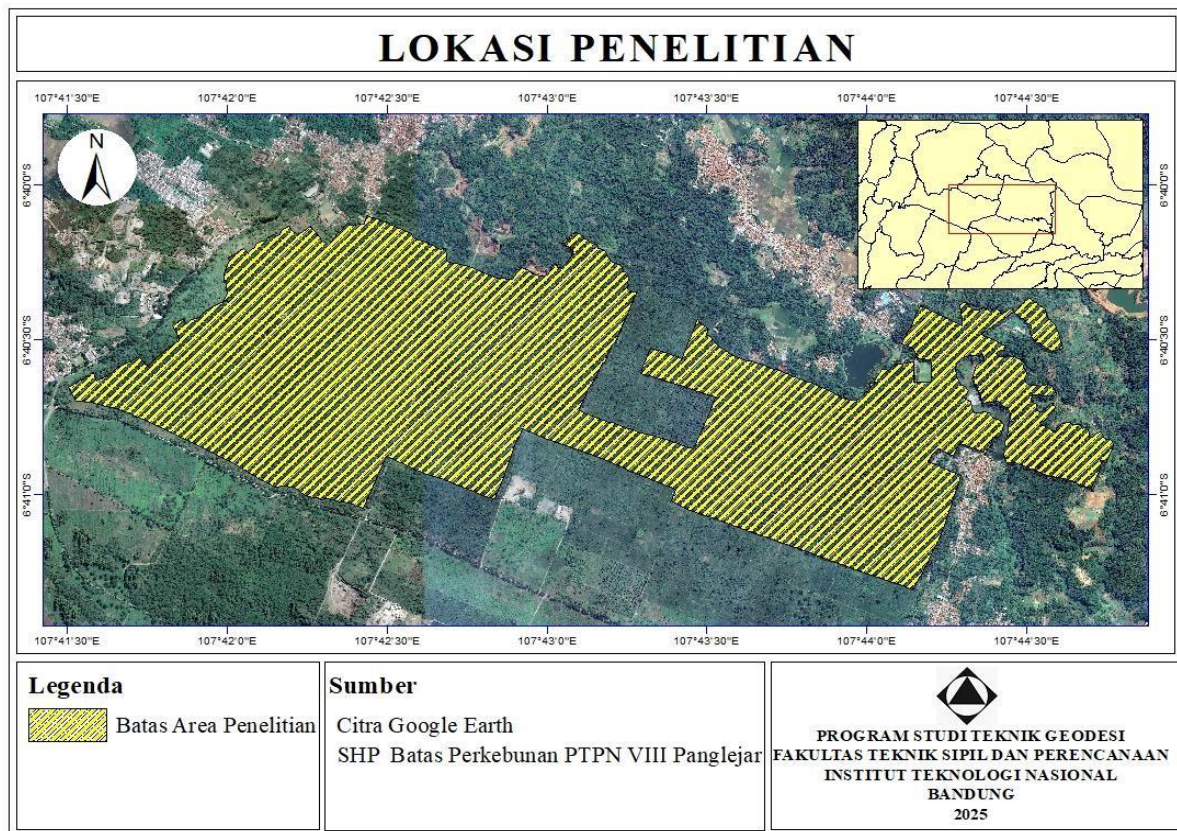
2.1 Data Penelitian

Berikut merupakan data dan peralatan yang digunakan selama melaksanakan penelitian dan penyusunan laporan ini sebagai berikut:

1. Data yang akan digunakan diantaranya:
 - a. Citra Satelit Landsat 5 TM dan Landsat 8 OLI
 - b. Batas area studi (.shp)
2. Peralatan yang akan digunakan diantaranya;
 - a. Laptop
 - b. Microsoft Word
 - c. Microsoft Excel
 - d. Google Earth Engine

2.2 Lokasi Penelitian

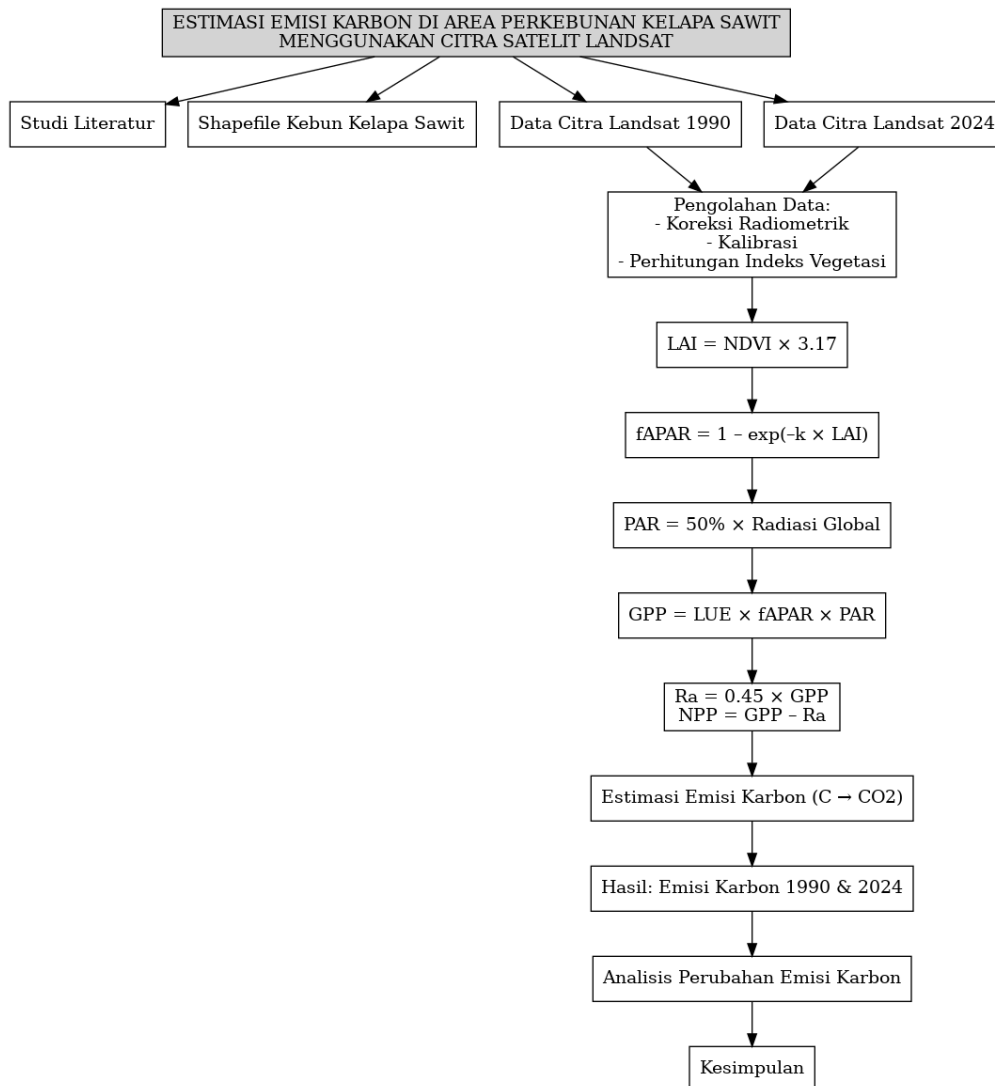
Tempat Penelitian berada di area perkebunan kelapa sawit Panglejar, Kabupaten Subang dengan luas perkebunan kelapa sawit 576,86 Ha. Lokasi perkebunan terdapat di Kecamatan Sariater, Kabupaten Subang, Jawa Barat. Berikut ini adalah gambar luasan perkebunan sawit sebagai lokasi penelitian.



Gambar 2.1 Area Penelitian

2.3 Metode

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan utama yang dilakukan untuk memperoleh dan menganalisis data, sebagaimana dijelaskan dalam diagram alir metodologi pada Gambar 3.2. Metodologi penelitian ini dirancang untuk menghasilkan pemodelan produktivitas primer vegetasi secara spasial menggunakan data penginderaan jauh untuk mengestimasi emisi karbon melalui parameter NDVI, LAI, fAPAR, PAR, GPP, dan NPP. Analisis dilakukan melalui platform Google Earth Engine (GEE). Setelah informasi dari literatur dikumpulkan, tahap selanjutnya adalah pengumpulan data. Data utama yang digunakan berasal dari citra satelit Landsat 5 T1 L2, Landsat 8 Collection 2 Tier 1 Level-2 yang diperoleh melalui Google Earth Engine.



Gambar 2.2 Diagram alir penelitian

Setelah model divalidasi, dilakukan analisis spasial dan temporal terhadap hasil pemetaan biofisik vegetasi. Hasil ini digunakan untuk memahami distribusi spasial produktivitas vegetasi, efisiensi fotosintesis, dan dampaknya terhadap estimasi biomassa dan karbon. Akhirnya, seluruh hasil dianalisis dan disajikan dalam bentuk peta untuk mempermudah interpretasi dan penarikan kesimpulan.

Menghimpun Data

Tahap awal penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperlukan sebagai dasar analisis perubahan tutupan lahan dan perhitungan emisi karbon. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Citra satelit Landsat 5 (untuk tahun 1990) dan Landsat 8 (untuk tahun 2024), yang diperoleh melalui website Google Earth Engine. Citra ini dimanfaatkan untuk menganalisis dinamika tutupan lahan pada area perkebunan kelapa sawit di Panglejar, Kecamatan Cisalak, Kabupaten Subang. Rumus untuk menghitung estimasi emisi karbon pada kelapa sawit menggunakan jurnal yang berjudul "Estimasi Total Fluks Karbon Kelapa Sawit Menggunakan Penginderaan Jauh" sebagai acuan untuk menghitung nilai estimasi emisi karbon.

Data shapefile (SHP) batas perkebunan yang diperoleh dari PTPN VIII, dimanfaatkan untuk membatasi area penelitian agar analisis spasial hanya mencakup wilayah perkebunan kelapa sawit yang menjadi objek studi.

Filter Data

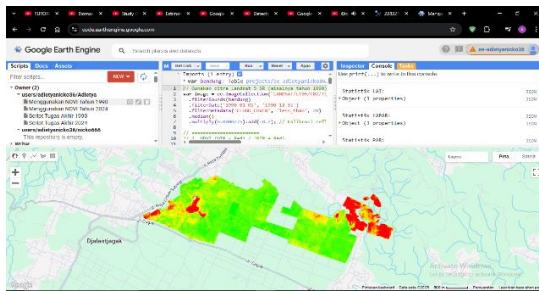
Tahapan filter data ini menghasilkan dataset yang akhirnya akan digunakan sebagai dasar dalam proses menghitung estimasi emisi karbon pada area studi perkebunan kelapa sawit.

3. HASIL DAN ANALISIS

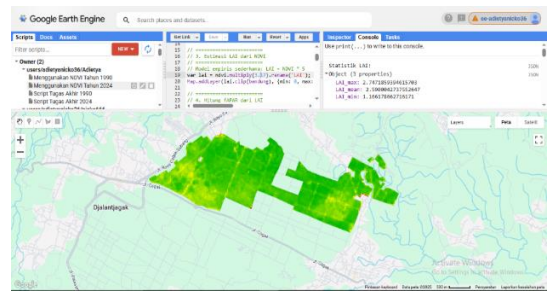
3.1 Hasil Leaf Area Index (LAI) dan fraction Absorbed Photosynthetically

Active Radiation (fAPAR)

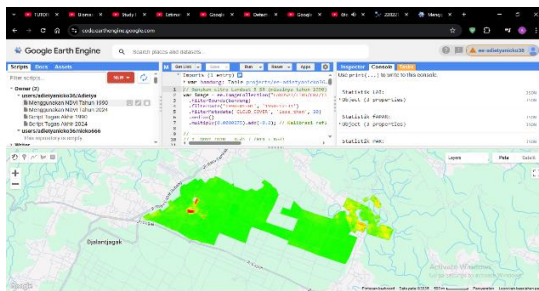
Berdasarkan penelitian Tan et al. (2014), nilai Leaf Area Index (LAI) pada kelapa sawit berada dalam rentang 0,57 hingga 5,17, sedangkan nilai fAPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) berkisaran antara 0,04 hingga 0,94. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kerapatan tajuk tanaman kelapa sawit, maka semakin besar pula nilai LAI dan fAPAR nya, karena tajuk yang lebat mampu menyerap lebih banyak radiasi matahari. Kii et al. (2020) juga memperkuat hal ini dengan menyatakan bahwa kemampuan tanaman kelapa sawit dalam menyerap PAR meningkat seiring bertambahnya umur hingga mencapai masa produktif, lalu menurun perlahan seiring penuaan tanaman. Jika dibandingkan dengan penelitian saya, terlihat pada tahun 1990 menunjukkan nilai LAI berkisaran antara 0,95 hingga 2,75 dengan nilai rata-rata sebesar 2,44. Nilai fAPAR untuk tahun yang sama berada pada rentang 0,47 hingga 0,84 dengan rata-rata sebesar 0,80. Sedangkan pada tahun 2024, nilai LAI sedikit meningkat dengan rentang 1,16 hingga 2,74 dengan rata-rata 2,59, nilai fAPAR pada tahun 2024 juga mengalami peningkatan tipis dengan nilai minimum 0,54, maksimum 0,84 dan juga rata-rata sebesar 0,82. Jika dibandingkan dengan nilai dari jurnal sebelumnya, hasil pengolahan hampir mendekati nilai pada penelitian sebelumnya, terutama nilai rata-rata LAI dan fAPAR. Dengan adanya peningkatan nilai LAI dan fAPAR pada tahun 1990 hingga 2024 menjadi cerminan dengan adanya perubahan tutupan vegetasi yang lebih rapat dan juga produktif, yang dimana disebabkan oleh pertumbuhan dan pemeliharaan tanaman kelapa sawit pada periode tersebut.



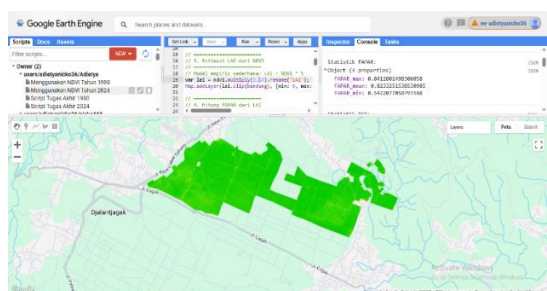
Gambar 3.1 Hasil Nilai LAI Tahun 1990



Gambar 3.2 Hasil Nilai LAI Tahun 2024



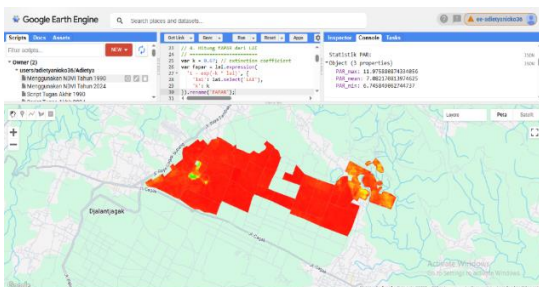
Gambar 3.3 Hasil fAPAR Tahun 1990



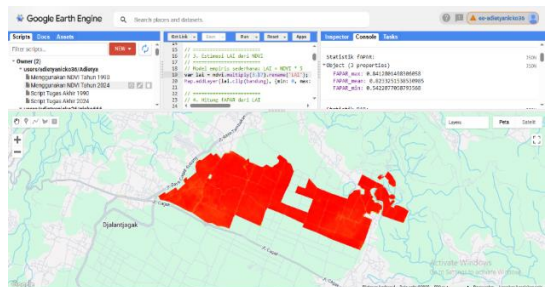
Gambar 3.3 Hasil fAPAR Tahun 2024

3.2 Hasil Photosynthetically Active Radiation (PAR)

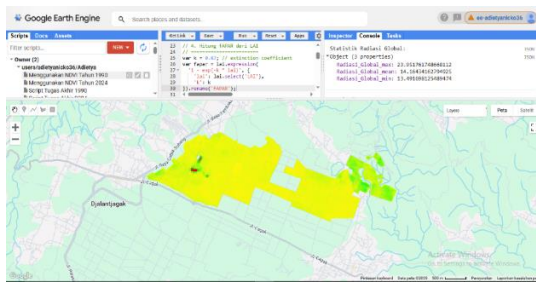
Berdasarkan hasil pengolahan pada citra satelit, nilai radiasi global dan nilai PAR pada tahun 1990 menunjukkan kisaran antara 6,91 hingga 12,27 MJ/m²/hari, dengan nilai rata-rata sebesar 7,25 MJ/m²/hari. Dari nilai tersebut diperoleh estimasi nilai radiasi global menunjukkan kisaran antara 13,82 hingga 24,54 MJ/m²/hari dengan nilai rata-rata sebesar 14,51 MJ/m²/hari. Sementara itu, pada tahun 2024, radiasi global cenderung menurun dengan kisaran nilai 13,83 hingga 21,46 MJ/m²/hari dengan rata-rata sebesar 14,13 MJ/m²/hari. Sementara itu nilai PAR yang dihasilkan pun berada pada kisaran 6,91 hingga 10,73 MJ/m²/hari, dengan nilai rata-rata sebesar 7,06 MJ/m²/hari. Dengan adanya nilai-nilai tersebut menggambarkan ketersediaan energi cahaya yang dapat digunakan tanaman selama dua periode dalam waktu yang berbeda. Dengan adanya penurunan nilai maksimum PAR di tahun 2024 disebabkan dengan adanya perubahan atmosfer atau tutupan lahan, yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan.



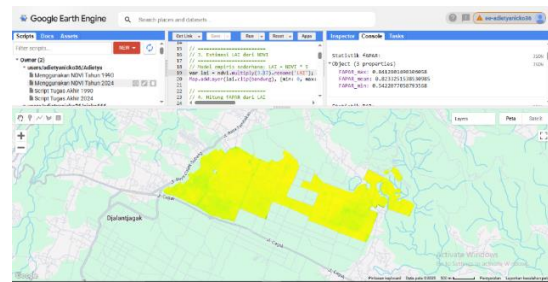
Gambar 3.4 Hasil PAR Tahun 1990



Gambar 3.5 Hasil PAR Tahun 2024



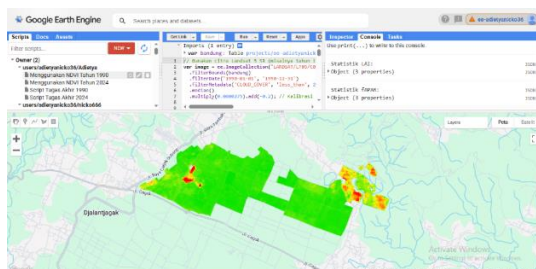
Gambar 3.6 Hasil Radiasi Global Tahun 1990



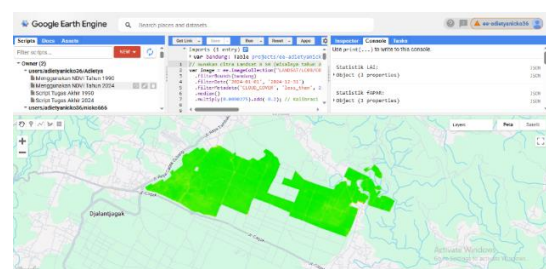
Gambar 3.7 Hasil Radiasi Global Tahun 2024

3.3 Produksi Primer Bruto (GPP) Pengamatan

Distribusi nilai *Gross Primary Production* (GPP) pada tanaman kelapa sawit cenderung beragam tergantung pada umur tanaman kelapa sawit. Berdasarkan hasil pengolahan pada citra satelit pada penelitian ini, nilai GPP pada tahun 1990 berkisaran antara 9,82 hingga 17,43 gC/m²/hari, dengan nilai rata-rata mencapai hingga 16,64 gC/m²/hari. Sementara itu, pada tahun 2024, nilai GPP berkisaran antara 11,23 hingga 17,42 gC/m²/hari, dengan rata-rata 17,05 gC/m²/hari. Nilai tersebut lebih tinggi dari pada penelitian yang dilakukan oleh Tan et al., (2014) di Malaysia dengan nilai GPP pada tanaman kelapa sawit berkisaran antara 7,93 hingga 8,07 gC/m²/hari, sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Kii et al. (2020) di wilayah (PTPN VI Batang Hari, Jambi) menghasilkan nilai sebesar 11,74 gC/m²/hari. Hal ini dikarenakan nilai LUE dan PAR yang digunakan sebagai input perhitungan dalam penelitian ini diasumsikan sama untuk semua umur pada tanaman kelapa sawit yang berada dipengaruhi oleh perbedaan nilai LAI secara langsung mempengaruhi nilai fAPAR pada umur tanaman yang sama. (Kii et al., 2020).



Gambar 3.8 Hasil GPP Tahun 1990

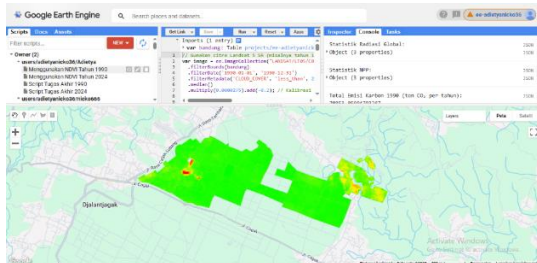


Gambar 3.9 Hasil GPP Tahun 2024

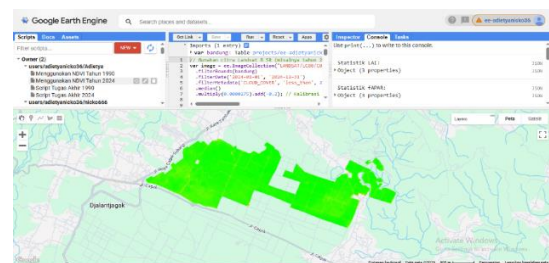
3.4 Hasil Menghitung Net Primary Production (NPP)

Nilai NPP pada tahun 1990 dalam penelitian ini berkisaran 5,40 hingga 9,59 gC/m²/hari, dengan rata-rata sebesar 9,15 gC/m²/hari. Sedangkan pada tahun 2024, nilai NPP menunjukkan kisaran antara 6,17 hingga 9,58 gC/m²/hari, dengan nilai rata-rata mencapai 9,38 gC/m²/hari. Rata-rata NPP tertinggi ditemukan pada umur tanaman 20 tahun, sementara itu nilai terendah terdapat pada tanaman muda berumur satu tahun. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini menunjukkan angka yang lebih tinggi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kii et al. (2020) tercatat nilai NPP sebesar 6,47 gC/m²/hari sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Kanniah et al. (2014) tercatat angka yang lebih rendah, yaitu 2,65 gC/m²/hari. Perbedaan ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh, ketersediaan air, dan cahaya, serta faktor iklim setempat. Estimasi nilai NPP pada kelapa sawit dengan skala regional penting dilakukan untuk mengetahui peran budidaya kelapa sawit dalam siklus karbon global dan

perubahan iklim. Tingginya nilai NPP pada budidaya kelapa sawit menunjukkan bahwa tanaman kelapa sawit memiliki potensi yang cukup baik dan optimal dalam penyerapan karbon. Semakin tinggi nilai GPP dan NPP budidaya kelapa sawit, maka akan semakin besar pula potensi tanaman kelapa sawit dalam penyerapan dan penyimpanan karbon.



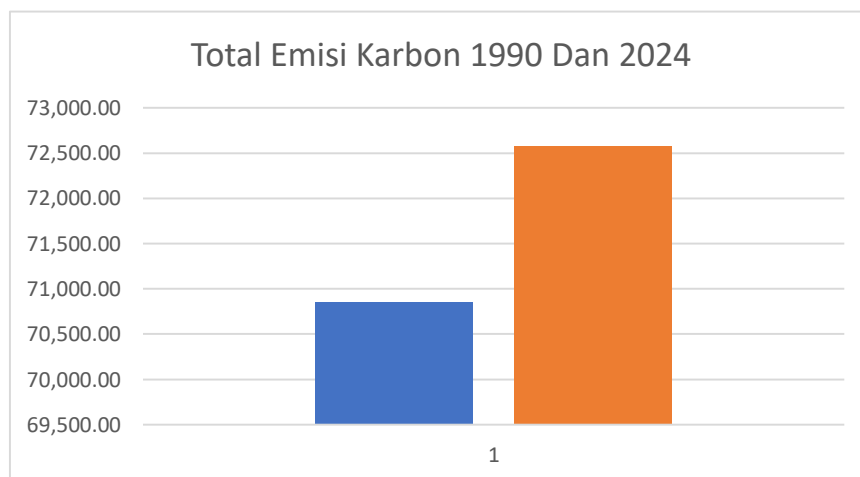
Gambar 3.10 Hasil NPP Tahun 1990



Gambar 3.11 Hasil NPP Tahun 2024

3.5 Hasil Emisi Karbon Tahun 1990 dan 2024

Berdasarkan hasil analisis spasial yang dilakukan menggunakan citra satelit, emisi karbon pada kawasan perkebunan kelapa sawit pada tahun 1990 tercatat sebesar 70.853 ton CO₂, sedangkan pada tahun 2024 mengalami sedikit peningkatan menjadi sekitar 72.578 ton CO₂. Kenaikan ini mencerminkan adanya perubahan aktivitas lahan yang kemungkinan besar disebabkan oleh bertambahnya luas area tutupan vegetasi, pembukaan lahan menjadi perkebunan kelapa sawit, atau peningkatan produktivitas biomassa. Meskipun selisihnya tidak terlalu besar, perubahan ini penting untuk diperhatikan karena menggambarkan perubahan emisi karbon dalam waktu yang panjang kedepannya. Perubahan ini juga memberitahukan bahwa perkebunan kelapa sawit masih bisa menyimpan atau pun menyerap dan sekaligus melepaskan karbon, tergantung kita mengelola perkebunan kelapa sawit dengan bijak dan tidak merusak alam yang tersedia agar tidak terjadi pelepasan emisi yang begitu tinggi kedepannya.



Gambar 3.12 Hasil Emisi Karbon Tahun 1990 dan 2024

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data, estimasi emisi karbon pada wilayah perkebunan kelapa sawit Panglejar, Subang, Jawa Barat berhasil dianalisis dengan memanfaatkan data citra satelit landsat dan pendekatan berbasis pemodelan biofisik vegetasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa emisi karbon mengalami peningkatan, dari 70.853 ton CO₂ pada tahun 1990 menjadi 72.578 ton CO₂ di tahun 2024. Peningkatan ini terjadi karena adanya perubahan pada tutupan lahan, yang dipicu oleh pembukaan lahan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit. Dengan demikian perkebunan kelapa sawit dianggap mampu menjaga keseimbangan lingkungan sama seperti fungsi hutan utuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan penelitian ini. Terima kasih sebesar-besarnya saya sampaikan kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahnya, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengumpulan dan pengolahan data. Tidak lupa, saya juga berterima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas doa dan semangat yang tak henti-hentinya. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan menjadi kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR RUJUKAN

- Arrafi, M., Widayani, P., & Arjasakusuma, S. (2024). Perhitungan Net Primary Productivity (NPP) Harian Menggunakan Model CASA Berbasis Citra Penginderaan Jauh di Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 5(2), 91-100.
- Baldo, M., Buldrini, F., Chiarucci, A., Rocchini, D., Zannini, P., Ayushi, K., & Ayyappan, N. (2023). Remote sensing analysis on primary productivity and forest cover dynamics: A Western Ghats India case study. *Ecological Informatics*, 73, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101922>.
- Bo, T., Kerang, L., Xuemei, S., & Mingkui, C. (2003). The temporal and spatial patterns of terrestrial net primary productivity in China. *Journal of Geographical Sciences*, 13(2), 163–171. <https://doi.org/10.1007/bf02837454>
- Clark DA, Brown S, Thomlinson JR, Kicklighter DW, Jian N, Chambers JQ, Holland EA. 2001. Net Primary Production In Tropical Forests: An Evaluation And Synthesis Of Existing Field Data. *Ecological Applications* 11: 371.
- Curran, P.J., J. Dungan, and H.L. Gholz. 1992. Seasonal LAI measurements in slash pine using Landsat TM. *RemoteSensing of Environment* 39: 3-13.
- Chen, J. M., and S.G. LeBlanc, J.R. Miller, J. Freemantle, S.E. Loebel, C.L. Walthall, K.A. Innanen, H.P. White. 1999. Compact airborne spectrographic imager (CASI) used for mapping biophysical parameters of boreal forests. *Jour. Of Geophysical Research*. 104 D22:27945-27958.
- Department Of The Interior U.S. Geological Survey. 2016. Department of the Interior U.S. Geological Survey Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Versions 2. Vol. 8. South Dakota: K.Zanter LSDB CCB Chair USGS.
- Fahey JT, Knapp AK. 2007. Primary Production: Guiding Principles and Standards for Measurement. New York : oxford university press.

- Fahey JT, Knapp AK. 2007. *Primary Production: Guiding Principles and Standards for Measurement*. New York : oxford university press.
- Giannarakis, G., Zafeiriou, E., & Sariannidis, N. (2017). The impact of carbon performance on climate change disclosure. *Business Strategy and the Environment*, 26(8), 1078-1094.
- Gonsamo, A. dan Chen, J.M. (2018) "Vegetation Primary Productivity," *Comprehensive Remote Sensing*, 1–9, hal. 163–189. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10535-4.
- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Bogor: World Agroforestry Centre.
- Hall, R.O., Beaulieu, J.J., 2013. Estimating autotrophic respiration in streams using daily metabolism data. *Freshw. Sci.* 32, 507–516. <https://doi.org/10.1899/12-147.1>.
- Hariswan, A. M., DP, E. N., & Mela, N. F. (2022). Pengungkapan Emisi Karbon Perusahaan Pertambangan di Indonesia. *Jurnal Al-Iqtishad*, 18(1), 19-41.
- Herman, F. A., & Las, I. (2009). Analisis finansial dan keuntungan yang hilang dari pengurangan emisi karbon dioksida pada perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Litbang Pertanian*, 28(4), 127-133.
- Handoko, I. 1994. Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian. Jurusan Geofisika dan Meteorologi.
- Jaelani, L. M, 2013. Landsat 8 Berhasil Diluncurkan. Diakses melalui URL: http://www.geomatika.its.ac.id/lan_g/en/archives/3246. Dikunjungi pada tanggal 12 Juni 2014. Jam 9.45 WIB.
- Julianto, F. D., Putri, D. P. D., & Safi'i, H. H. (2020). Analisis Perubahan Vegetasi dengan Data Sentinel-2 menggunakan Google Earth Engine (Studi Kasus Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta). *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 2(2), 13-18.
- June T, Ibrom A, Gravenhorst G. 2006. *Integration Of NPP Semi Mechanistic – Modelling, Remote Sensing And GIS In Estimation CO₂ Absorption Of Forest Vegetation In Lore Lindu National Park*. BIOTROPIA 13: 22 – 36.