

Pemanfaatan Aplikasi Drone dalam Mengevaluasi Cadangan Karbon pada Beberapa Tingkat Umur Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guinensis* Jacq)

Golindira Randa
Universitas Kristen Indonesia Toraja
golindira@ukitoraja.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) Mengestimasi sebaran cadangan karbon dan serapan CO₂ di perkebunan kelapa sawit; (2) Penggunaan drone di perkebunan kelapa sawit untuk mendapatkan informasi tentang sebaran cadangan karbon dan serapan CO₂; dan (3) Menjelaskan bagaimana keberadaan perkebunan kelapa sawit berkontribusi pada pengurangan tingkat CO₂ di lingkungan. Penelitian ini dilaksanakan pada perkebunan kelapa sawit PT. Unggul Widya Teknologi Lestari Divisi Baras II Kabupaten Pasangkayu, Sulawesi Barat. Pengumpulan data dilakukan dengan dua tahap, yaitu : (1) Pengumpulan data sebaran kelapa sawit dengan menggunakan teknologi drone. (2) Pengumpulan data lapangan pada kelapa sawit dan tumbuhan di atas permukaan tanah dan melakukan analisis laboratorium. Metode non destruktif dengan persamaan alometrik digunakan untuk menghitung biomasa kelapa sawit dan tumbuhan di atas permukaan tanah. Perhitungan kandungan karbon yang tersimpan dan potensi serapan CO₂-eq selain dilakukan berdasarkan umur tanaman kelapa sawit juga dihitung berdasarkan luas blok tahun tanam (umur tanaman kelapa sawit) untuk mengetahui sebaran cadangan karbon yang tersimpan dan serapan CO₂-eq secara keseluruhan. Kandungan karbon yang tersimpan terbesar pada umur tanaman 15 tahun (tahun tanam 2005) sebesar 60.002,5 ton dan potensi serapan CO₂-eq sebesar 220.009 ton. Kandungan karbon terkecil pada kelapa sawit yang berumur 3 tahun (tahun tanam 2017) dengan cadangan karbon yang tersimpan sebesar 8.428,8 ton dan serapan CO₂-eq sebesar 30.919,7 ton. Sebaran cadangan karbon dan potensi serapan CO₂-eq dalam menunjang produktivitas kelapa sawit dan menentukan besarnya kapasitas oksigen yang dihasilkan dipengaruhi oleh umur tanaman, pola tanam, jarak tanam serta luas areal tanam. Kondisi tersebut membuat kelapa sawit memberikan potensi yang besar bagi lingkungan dalam mengurangi emisi CO₂ yang menyebabkan Gas Rumah Kaca (GRK).

Kata Kunci: *Aplikasi Drone, Cadangan Karbon, Kelapa Sawit*

Pendahuluan

Pembangunan sub sektor perkebunan sebagai bagian dari pembangunan sektor pertanian dan pembangunan nasional merupakan upaya penting dalam peningkatan kesejahteraan rakyat, salah satunya melalui pembangunan perkebunan kelapa sawit. Kelapa sawit sebagai komoditas perkebunan dari tahun ke tahun cenderung mengalami peningkatan yang ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan jumlah produksi minyak kelapa sawit serta pertumbuhan luas areal perkebunan kelapa sawit (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2016). Luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus mengalami peningkatan secara pesat, sampai pada tahun



2020 diperkirakan telah mencapai sekitar 14.996.010 ha yang dilakukan pada berbagai lahan, baik tanah mineral maupun tanah gambut (Ditjenbun, 2019). Di tengah perannya yang besar terhadap perekonomian dan peningkatan kesejahteraan masyarakat Indonesia, industri kelapa sawit harus menghadapi berbagai tantangan yang semakin besar, khususnya mengenai isu lingkungan.

Isu lingkungan ini dikaitkan dengan peningkatan emisi karbon serta kerusakan ekosistem hutan yang menimbulkan pemanasan global (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2016). Pemanasan global sebagai penyebab utama terjadinya perubahan iklim terjadi melalui proses meningkatnya suhu global sebagai akibat dari meningkatnya emisi gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer dari berbagai sumber seperti : pemanfaatan energi fosil, aktivitas perkebunan dan pembukaan lahan untuk kegiatan pertanian secara khusus konversi hutan untuk perluasan perkebunan kelapa sawit (Balitbang Pertanian, 2019). Berdasarkan hasil pemantauan hutan hingga pada tahun 2019 menunjukkan bahwa kawasan hutan di daratan Indonesia sekitar 94,1 juta hektar atau sekitar 50,1 % dari total daratan (Data Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019).

Data keberadaan hutan ini menunjukkan bahwa luas areal hutan masih lebih besar daripada luas perkebunan kelapa sawit dan menyatakan bahwa keberadaan perkebunan kelapa sawit bukan menjadi penyebab utama berkurangnya luas kawasan hutan serta bukan juga menjadi sumber terbesar terhadap adanya pemanasan global, namun dapat dikatakan bahwa perkebunan kelapa sawit telah turut berperan dalam mendukung upaya menanggulangi masalah tersebut. Pernyataan ini dapat diwujudkan dengan cara mengukur tingkat cadangan karbon yang dihasilkan pada perkebunan kelapa sawit sebagai salah satu bentuk upaya adaptasi dan mitigasi dalam menekan tingkat emisi dan meningkatkan penyerapan CO₂ agar perkebunan kelapa sawit dapat terus berkembang meski adanya kondisi perubahan iklim yang telah terjadi (Herman *et. al.*, 2009).

Proses pengukuran tingkat karbon ini dapat dilakukan melalui mengestimasi biomasa dan karbon di atas permukaan tanah pada pohon, serasah dan tumbuhan bawah melalui pendekatan persamaan allometrik Menurut Mubekti (2013), karbon yang tersimpan dalam tanaman kelapa sawit akan mengalami perubahan seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit. Adanya metabolisme tanaman dan kemampuan dalam penyerapan unsur-unsur hara termasuk salah satunya kandungan karbon pada akar di dalam tanah akan menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman. Laju pertumbuhan tanaman akan dipengaruhi oleh kondisi kesuburan tanah tempat tanaman itu berada.

Penerapan teknologi modern melalui penginderaan jarak jauh telah mulai dikembangkan untuk mengimbangi hasil proses pengukuran cadangan karbon pada kelapa sawit dengan pendekatan persamaan allometrik. Hal ini karena pengukuran cadangan karbon dengan pendekatan allometrik memerlukan biaya dan waktu yang banyak serta hanya dapat mencakup area kecil saja. Pemanfaatan teknologi penginderaan jarak jauh ini digunakan untuk memperoleh data yang cepat serta akurat dalam mengatasi permasalahan yang dihadapi (Muslim dan Munir, 2019). Pengukuran cadangan karbon dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jarak jauh memungkinkan proses pengukuran cadangan karbon lebih efektif dalam menghemat biaya, waktu dan pengukuran dapat dilakukan dengan mudah karena dilakukan dengan memanfaatkan resolusi spasial digital dengan cakupan area yang luas (Astriani, *et. al.*, 2017).

Teknologi penginderaan jarak jauh yang telah dimanfaatkan sejauh ini adalah dengan citra satelit dan drone. Dalam proses pengambilan data pemanfaatan drone

dirasakan lebih efektif dan efisien karena telah dilengkapi dengan sistem pengendali terbang melalui gelombang elektromagnetik, navigasi presisi yaitu GPS (Ground Positioning System) dan elektronik kontrol penerbangan sehingga mampu terbang sesuai perencanaan terbang (autopilot). Dengan drone sebagai wahana pesawat tanpa pilot mengefisienkan waktu karena dapat memiliki citra suatu wilayah kapan pun kita mau tidak tergantung waktu seperti citra satelit dengan waktu perekamannya yang sudah diatur untuk perekaman daerah yang sama (Utomo, 2017). Berdasarkan uraian tersebut maka perlu dilakukan penelitian sebagai suatu solusi untuk memperoleh informasi cadangan karbon pada perkebunan kelapa sawit melalui pemanfaatan drone sebagai salah satu sarana dalam mendukung kelengkapan data yang lebih akurat mengenai tingkat cadangan karbon yang terdapat di kawasan perkebunan dan sekitarnya. Hal ini berguna untuk membantu pengelola perkebunan kelapa sawit dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit dan budidaya perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) saat ini merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang menduduki posisi penting di sektor pertanian secara umum dan khususnya pada sektor perkebunan karena telah memberikan nilai ekonomi terbesar per hektarnya di dunia. (Ismoyo, et. al., 2018). Keberadaan kelapa sawit memiliki arti penting bagi pembangunan nasional Indonesia, karena selain menciptakan kesempatan kerja yang mengarah pada kesejahteraan masyarakat juga sebagai sumber devisa negara sehingga membuat perkembangan perkebunan kelapa sawit semakin cepat meluas di Indonesia.

Kondisi tersebut membuat perkembangan perkebunan kelapa sawit semakin meluas, terbukti pada tahun 2018 luas areal perkebunan kelapa sawit tercatat mencapai 14.326.350 hektar dan pada tahun 2020 diperkirakan telah mencapai luas areal sekitar 14.996.010 hektar. Dari luasan tersebut, sebagian besar diusahakan oleh perusahaan besar swasta (PBS) yaitu sekitar 55,09%, perkebunan rakyat (PR) sekitar 40,62% dan sisanya oleh perkebunan besar negara (PBN) sekitar 4,29% (Ditjenbun, 2019).

Menurut Utami et. al. (2017) adanya manfaat ekonomi yang secara langsung maupun tidak langsung yang dirasakan oleh masyarakat Indonesia, membuat proses ekspansi atau pembukaan lahan yaitu peralihan fungsi lahan menjadi lahan perkebunan kelapa sawit yang terus meningkat. Ekspansi tersebut mengakibatkan petani mengganti sebagian atau seluruh komoditas perkebunan yang lain menjadi kelapa sawit di lahannya. Alasan petani mengganti komoditas menjadi kebun kelapa sawit karena mereka menganggap berkebun kelapa sawit relatif lebih mudah dan praktis dibandingkan mengusahakan komoditas perkebunan lain. Disamping itu karena kelapa sawit merupakan tanaman perkebunan yang toleran terhadap kondisi lingkungan yang kurang baik sekalipun.

Menurut Agus (2013), cadangan karbon merupakan jumlah karbon yang tersimpan di dalam berbagai tempat penyimpanan yang terpenting yaitu : tanah, biomassa tanaman, dan jaringan tanaman yang mati (nekromasa). Tanah dan tanaman mempunyai cadangan karbon yang bervariasi. Kondisi ini bergantung pada tingkat kesuburan tanah, iklim, elevasi, jenis dan tingkat pertumbuhan tanaman, tipe penggunaan lahan serta sistem pengelolaan lahan. Cadangan karbon di dalam tanah gambut berkisar antara 300 - 800 ton C/ha untuk setiap meter ketebalan gambut. Pada gambut dengan ketebalan 0,5 m sampai lebih dari 8 m, cadangan karbon berkisar antara 200 ton - >6.400 ton/ha. Pada tanah mineral, kandungan karbon

organik umumnya terkonsentrasi pada lapisan 0 - 100 cm. Cadangan karbon tanah mineral berkisar antara 15 – 200 ton/ha, namun adakalanya sampai 900 ton/ha.

Menurut Firyadi et. al (2018), pengukuran karbon pada tanaman kelapa sawit dan lingkungan sekitar perkebunan kelapa sawit perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam menyimpan karbon yang diserap (sequestrasi karbon) untuk menunjang kelangsungan metabolisme tanaman (produktivitas tanaman). Disamping itu juga, dapat menjadi acuan dalam mengetahui tingkat CO₂ yang terserap oleh tanaman serta di lingkungan tanaman yang ada. Berdasarkan hal tersebut, Lam, et. al., (2019) menyatakan bahwa tingkat serapan emisi karbondioksida ini dapat diketahui dari luasan proses alih fungsi lahan seperti untuk budidaya tanaman perkebunan kelapa sawit. Dari proses ini dapat diketahui kuantitas dampak pada lingkungan berupa perubahan tingkat CO₂ di atmosfer dari kegiatan penggunaan lahan.

Menurut Maulana (2010), tingkat cadangan karbon yang tersimpan juga dipengaruhi oleh diversitas vegetasi dalam suatu lahan. Diversitas vegetasi ini menentukan tinggi rendahnya keragaman kualitas masukan bahan organik dan tingkat penutupan permukaan tanah oleh lapisan serasah. Menurut Agus (2013), perbedaan tingkat cadangan karbon terlihat jelas bergantung pada tipe penutupan lahan yang ada. Pada pemanfaatan lahan yang digunakan menjadi perkebunan kelapa sawit tentunya memiliki tingkat cadangan karbon yang berbeda dengan lahan hutan yang belum dikonversi ataupun pada kondisi lahan yang mengalami perubahan secara alami. Berikut ini tingkat cadangan karbon pada beberapa tipe penutupan lahan secara khusus pada beberapa jenis hutan dan perkebunan kelapa sawit :

Tipe Penutupan Lahan	Cadangan Karbon (ton/ha)	
	Nilai tengah	Kisaran
Hutan primer	162	90 – 200
Hutan sekunder	84	33 - 155
Semak belukar	28	18 - 35
Hutan tanaman industri	44	29 – 70
Perkebunan kelapa sawit	36	22 – 60
Pertanian	11	8 – 12,5

Sumber : Balitbang Pertanian (2019)

Perbedaan yang nyata tampak jelas dari tipe penutupan lahan berupa hutan maupun penutupan lahan berupa lahan perkebunan termasuk perkebunan kelapa sawit. Menurut Maulana (2010), rendahnya potensi cadangan karbon pada tipe penutupan lahan non hutan, karena pada umumnya lahan tersebut didominasi oleh vegetasi monokultur, secara khusus pada perkebunan kelapa sawit didominasi oleh vegetasi monokotil dengan kandungan lignin yang berpengaruh pada bobot hidup tanaman ini serta dapat meningkatkan laju dekomposisi dari serasah (nekromasa tidak berkayu). Meskipun telah banyak dilakukan perubahan alih fungsi lahan seperti pengalihan fungsi lahan hutan gambut menjadi perkebunan kelapa sawit, namun dalam perkembangan budidaya kelapa sawit yang diterapkan sekarang ini, menunjukkan adanya kemampuan penyerapan emisi CO₂ yang tinggi (251,9 ton/ha/tahun) yang sangat berguna dalam mengurangi konsentrasi CO₂ di udara (Ditjenbun, 2010).

Menurut Hairiah, et. al. (2011), pengukuran kandungan atau cadangan karbon yang tersimpan pada tanaman dapat dilakukan dengan menghitung cadangan karbon yang tersimpan di atas permukaan tanah dan karbon yang tersimpan di dalam tanah. Bentuk cadangan karbon yang terdapat di atas permukaan tanah berupa biomasa pohon, biomasa tumbuhan bawah, nekromasa dan serasah. Sedangkan cadangan karbon yang tersimpan di dalam tanah, berupa : biomasa akar dan bahan organik tanah. Proses pengukuran cadangan karbon ini dapat dilakukan dengan proses destruktif atau non destruktif. Proses non destruktif dilakukan apabila jenis tanaman sudah diketahui rumus persamaan allometriknya, sedangkan cara perusakan dilakukan apabila pada tanaman yang diukur cadangan karbonnya belum diketahui rumus persamaan allometriknya. Temuan persamaan allometrik ini diketahui dengan terlebih dahulu melakukan penebangan pohon serta mengukur diameter, panjang dan berat massanya. Metode ini juga dapat dilakukan pada tumbuhan bawah, tanaman semusim dan perdu.

Setiawan, et. al., (2015) menyatakan bahwa hasil estimasi cadangan karbon pada tanaman yang diperoleh melalui analisis lapangan dapat didukung pula melalui proses pendataan menggunakan teknologi hasil pencitraan satelit berupa pemetaan sebaran cadangan karbon berdasarkan kelas penutupan lahan yang ada di sekitar lahan. Tingkat cadangan karbon yang tersimpan pada suatu lahan perkebunan kelapa sawit dipengaruhi pula oleh jenis penutupan lahan yang tersebar atau berada di sekitar kawasan perkebunan yang ada. Penetapan sebaran cadangan karbon pada lahan perkebunan kelapa sawit ini dapat diketahui melalui fasilitas citra satelit serta perangkat penginderaan jarak jauh yang akan menghasilkan data dalam bentuk peta sebaran cadangan karbon berdasarkan penutupan lahan yang ada (RSPO, 2016).

Menurut Shofiyanti (2011), pemanfaatan teknologi pendataan dalam bidang pertanian dan perkebunan sangatlah diperlukan dalam menunjang perkembangan informasi perencanaan dan pengelolaan sumberdaya pertanian dan perkebunan. Menurut Muslim dan Munir (2019), peran teknologi GIS (Geographic Information System) telah banyak dimanfaatkan, salah satunya dalam perencanaan dan pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis sangat membantu dan memiliki peran yang sangat penting, mulai dari pengelolaan kebun, mengetahui potensi lahan sampai monitoring perkembangan, perancangan kebun dan verifikasi tanaman kelapa sawit. Verifikasi tanaman kelapa sawit dilakukan untuk cross check dengan data sensus jumlah tanaman untuk mengetahui jumlah tanaman kelapa sawit dalam tiap blok yang sesuai dengan standar perusahaan yang telah ditetapkan.

Teknologi penginderaan jarak jauh atau GIS ini merupakan sebuah alat yang efektif dan sangat membantu dalam memperoleh data atau informasi dalam mendukung pengelolaan tanaman pertanian dan perkebunan, karena proses ini dapat meminimalkan biaya operasional dalam mengumpulkan data produktivitas dan kualitas tanaman, serta dalam manajemen pengelolaan lahan pertanian dan perkebunan. Teknologi penginderaan jauh dengan drone menjadi alat yang efektif dalam proses pemetaan struktur tanaman seperti : kondisi, kekuatan, kapasitas fotosintesis dan tingkat produksi dari tanaman yang dibudidayakan (Tu, et. al., 2020).

Pengelolaan informasi ini dapat menggunakan teknologi modern melalui Sistem Informasi Geografi (SIG) dan penginderaan jarak jauh untuk mendapatkan data spasial digital dengan cepat dan akurat. Perangkat teknologi GIS yang telah lama digunakan adalah GPS (Global Positioning System) kemudian mengalami

perkembangan melalui penggunaan pada perangkat satelit dan drone. GPS merupakan sistem radio navigasi dan penentuan posisi yang menghasilkan gelombang elektromagnetik dari hasil pemantauan suatu objek. Satelit sebagai perangkat GIS berfungsi untuk menerima atau menghantarkan data secara nirkabel (tanpa kabel) yang terhubung melalui frekuensi radio GPS receiver yang terdapat pada satelit. Drone sebagai perangkat GIS dilengkapi juga dengan GPS receiver dan geodetik untuk membantu sistem kerja drone dalam menentukan titik koordinat objek sehingga dapat membantu dalam pengolahan hasil foto udara yang dihasilkan (Shofiyanti, 2011).

Drone merupakan pesawat tanpa awak yang telah banyak digunakan sebagai alat penginderaan jarak jauh untuk pemetaan dengan menggunakan kendali via remote, smartphone ataupun komputer. Drone dilengkapi kamera beresolusi tinggi yang memungkinkan pengguna dapat memantau suatu lokasi tertentu dari ketinggian secara real time. Drone atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle) memiliki beberapa karakteristik: (i) tanpa awak pesawat, (ii) beroperasi pada mode mandiri baik secara penuh atau sebagian, (iii) sistem ini dirancang untuk dapat dipergunakan secara berulang. Drone sebagai alat UAV dilengkapi beberapa perangkat yang dapat memudahkan objek pengamatan berupa sistem pengendali terbang melalui gelombang radio, GPS yang menjadi navigasi penunjuk letak objek pengamatan serta kamera resolusi tinggi sehingga dapat menghasilkan data pemetaan yang lebih baik (Uktoro, 2017).

Menurut Panuque et. al. (2014) bahwa drone dapat dioperasikan relatif cepat dimana saja, dan dapat dilakukan secara berulang untuk mendeteksi perubahan suatu lingkungan sehingga dapat diperoleh citra real time dengan aplikasi yang luas dan beragam dan tanpa diperlukan pilot, sehingga relatif aman. Kelebihan lainnya yang dimiliki oleh drone adalah ketelitian yang dihasilkan dari foto drone dapat mencapai sekitar 96,2 % dengan menggunakan sensor kamera digital 12 Mega Pixel. Selain itu, apabila dibandingkan dengan citra satelit, biaya pengamatan dengan drone berdasarkan luas area dengan jangkauan sampai 100 km² dan lama pengamatan yang fleksibel menggunakan biaya yang jauh lebih murah, dibandingkan dengan citra satelit dengan luas area pengamatan yang sama dan hanya untuk batasan waktu sekitar tiga hari membutuhkan biaya yang sangat mahal (Utomo, 2017).

Metode

Penelitian ini menggunakan metode survey berdasarkan data peta lokasi perkebunan kelapa sawit selanjutnya dilakukan penentuan lokasi sampel pengamatan dengan metode purposive sampling berdasarkan tahun tanam (kelas umur) yang telah direncanakan sebagai perwakilan dari keseluruhan lahan perkebunan perusahaan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter lapangan dan parameter laboratorium. Parameter pengamatan dalam penelitian ini sebagai berikut : Tabel 1. Rincian parameter pengamatan dalam penelitian

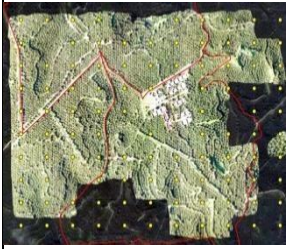
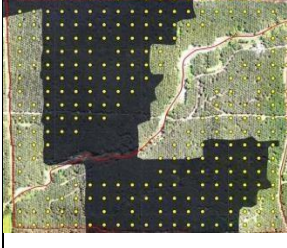
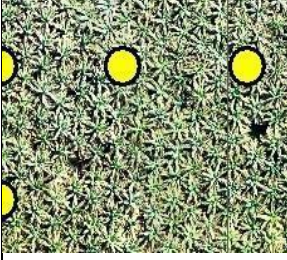
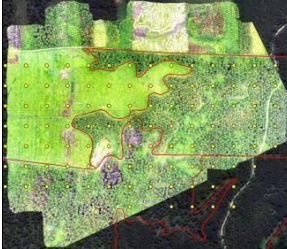
Jenis Pengamatan	Parameter yang diamati
Pengamatan lapangan	a. Persebaran cadangan karbon kelapa sawit dari setiap umur tanaman b. Tinggi dan diameter batang kelapa sawit c. Berat basah jenis tumbuhan di bawah kelapa sawit d. Berat basah serasah (pelepah yang hancur dalam bentuk kasar)
Pengamatan laboratorium	Berat kering sampel : a. Tumbuhan bawah, berupa sampel jenis gulma atau tumbuhan lain b. Nekromasa tidak berkayu (pelepah yang hancur dalam bentuk kasar dan dan bunga jantan yang mati)

Hasil

Hasil identifikasi berupa peta sebaran pohon kelapa sawit digunakan untuk menentukan jumlah pohon dan pola sebaran kelapa sawit berdasarkan hasil pengamatan drone. Titik GCP (Ground Point Control) yang dikonversi ke dalam format GIS dapat membantu dalam analisis data dalam proses evaluasi akurasi dan validasi sebaran dan jumlah kelapa sawit pada lokasi pengamatan berdasarkan tahun tanam kelapa sawit. Keberhasilan dalam mengidentifikasi keberadaan kelapa sawit pada setiap tahun tanam dipengaruhi oleh karakteristik spasial yang berbasis objek dan karakteristik spektral foto udara dari drone yang digunakan. Berikut ini hasil dari identifikasi sebaran kelapa sawit melalui penggunaan citra drone :

Tabel 6. Karakteristik sebaran kelapa sawit pada lima sampel tahun tanam

No.	Hasil identifikasi foto	Sebaran kelapa sawit	Penjelasan gambar
1.	 (Tahun tanam		Sebaran kelapa sawit tertata dengan teratur dan berjarak satu dengan yang lain dengan tajuk yang belum saling bersentuhan. Warna tajuk didominasi hijau terang dan warna putih adalah tanah kosong.

2.	 (Tahun 2011) tanam		Sebaran kelapa sawit mengikut kontur dan tertata baik. Tajuk sudah panjang saling bersentuhan. Warna hijau tajuk mulai agak gelap. Tampak sedikit tanah yang kosong
3.	 (Tahun 2005) tanam		Sebaran kelapa sawit tidak teratur dengan tajuk yang sangat rapat serta bertempaan antar kelapa sawit, terdapat juga lahan yang hanya ditumbuhi rumput. Warna tajuk hijau gelap, rumput berwarna hijau terang.
4.	 (Tahun 2003) tanam		Sebaran kelapa sawit merata dengan tajuk yang sangat rapat serta bertempaan antar kelapa sawit. Warna tajuk hijau gelap dengan luas areal kosong sangat sedikit. Gambar kelapa sawit yang blur dalam blok ini cukup luas
5.			Sebaran kelapa sawit yang jarang dengan lahan kosong yang ditumbuhi rumput yang luas, karena terdapat blok sudah mengalami proses replanting karena produksi yang kurang. Warna kelapa

	(Tahun tanam 1997)		sawit hijau keputihan. Lahan yang masih tumbuh kelapa sawit banyak yang blur
--	--------------------	--	--

Sumber : Data Primer, 2020

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang ada maka dapat disimpulkan Cadangan karbon yang tersimpan dan potensi serapan CO₂-eq pada setiap tanaman kelapa sawit akan meningkat seiring dengan pertambahan umur dari tanaman kelapa sawit dengan hasil cadangan karbon dan potensi serapan CO₂-eq terbesar pada umur 15 tahun tetapi kemudian mengalami penurunan saat kelapa sawit berumur ≥ 16 tahun sampai berumur tua yaitu 23 tahun. Peta sebaran cadangan karbon dan serapan CO₂ menunjukkan potensi cadangan karbon dan serapan CO₂ dipengaruhi oleh luas blok tahun tanam yang menjadi sampel penelitian. Dari peta sebaran yang diperoleh hasil sebaran cadangan karbon terkecil terdapat pada tahun tanam 2017 dengan luas sebesar 116,52 ha yang memiliki cadangan karbon sebesar 1.461,6 ton dan potensi serapan CO₂ sebesar 5.344,7 ton. Sebaran cadangan karbon terbesar pada tahun tanam 2005 dengan luas blok sebesar 1.213,27 ha menghasilkan cadangan karbon sebesar 60.002,5 ton dan potensi serapan CO₂ sebesar 220.009 ton. Potensi cadangan karbon dan serapan CO₂-eq pada tanaman kelapa sawit dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu umur tanaman dan luas areal tanam yang menunjang produktivitas bagi setiap tanaman kelapa sawit serta menentukan besarnya kapasitas oksigen yang dihasilkan bagi lingkungan. Penggunaan drone dapat digunakan dalam mengetahui sebaran cadangan karbon dan serapan CO₂ pada perkebunan kelapa sawit melalui sebaran kelapa sawit yang dikorelasikan berdasarkan bidang proyeksi tajuk, pola tanam dan jarak tanam kelapa sawit. Kapasitas sebaran cadangan karbon dan serapan CO₂ pada kelapa sawit menunjukkan bahwa kelapa sawit membantu dalam mengurangi tingkat emisi karbon pada lingkungan.

Daftar Pustaka

- Agus, F., 2013. Konservasi Tanah dan Karbon untuk Mitigasi Perubahan Iklim mendukung Keberlanjutan Pembangunan Pertanian. Balai Penelitian Tanah, pada 29 Januari 2013.
- Agus, E, I.E. Henson, B.H, Sahardjo, N. Harris, M. van Noordwijk, and T.J. Killeen, 2013. Review of emission factors for assessment of CO₂ emissions from land use change to oil palm in Southeast Asia. In T.J. Killeen and J. Goon (eds.) Reports from the Technical Panels of the Second RSPO GHG Working Group, Roundtable for Sustainable Palm Oil — RSPO, Kuala Lumpur
- Astriani, H., K. B. Santoso, N. Arifatha, R. Prasetyo, S. D. Utomo, V. C. Juniandari, M. Kamal, 2017. Perbandingan Citra Lansat 8 OLI dan Sentinel 2-A untuk

- Estimasi Stok Karbon Kelapa Sawit (*Elaeis guinensis* Jacq) di Wilayah PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Rejosari, Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Program Studi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Departemen Sains Informasi Geografi, UGM, Yogyakarta.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbang Pertanian), 2011. Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbang Pertanian), 2019. Politik Pertanian dalam Menghadapi Perubahan Iklim. Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Data Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019. Data Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan, Indonesia.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun), 2010. Peran Strategis Kelapa Sawit. Diakses dari <http://ditjenbun.pertanian.go.id/berita-213-peran-strategis-kelapa-sawit.html>, pada 17 November 2010.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun), 2019. Statistik Perkebunan Indonesia 2018 – 2020, Jakarta.
- Fahmuddin, A., E. Runtunuwu, T. June, E. Susanti, H. Komara, H. Syahbuddin, I. Las and M. van Noordwijk, 2009. Carbon Dioxide Emission in Land Use Transitions to Plantation. *J. Litbang Pertanian*, 28 (4) : 119-126.
- Firyadi, Widiatmaka, A. Iswati, M. Ardiansyah and B. Mulyanto, 2018. Carbon Balance, Emissions and Sequestration of CO₂ Historically due to Land Use Changes in Banyuasin Regency, South Sumatera. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8 (2) : 178 – 187.
- Gorunesco, F., 2011. Data Mining Concepts, Model and Tchnique. Intelligent Systems Reference Library, Volume 12. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hairiah, K., A. Ekadinata, R. R. Sari dan S. Rahayu, 2011. Pengukuran Cadangan Karbon. Dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. Ed. ke-2. World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office. Bogor.
- Han, J., M. Kamber and J. Pei, 2011. Data Mining Concept anda Techniques. Third Edition. Morgan Kaufman, United State America
- Harahap, I. Y., 2006. Penataan Ruang Pertanaman Kelapa sawit Berdasar pada Konsep Optimalisasi Cahaya Matahari. *Warta PPKS*, 14 (1) : 9 -15.
- Herman, A. Fahmuddin dan I. Las, 2009. Analisis Finansial dan Keuntungan yang Hilang dari Pengurangan Emisi Karbon Dioksida pada Perkebunan Kelapa Sawit. *J. Litbang Pertanian*, 28 (4) : 127- 133.
- Ismoyo J. A., Saiful, Auf, A., Supriadi, Cepi, Winianingsih, Dewi, Lestari, A., Firda, Marhama, Hasna, Pazriatu, R., and Intan, 2018. Palm Oil Cultivation and Economic Prospect in Indonesia. Munich Personal RePEC Archive (MPRA) Paper No. 90337, posted 02 December 2018.
- Institut Pertanian Stiper (Instiper), 2018. Modul Pelatihan Teknik dan Manajemen Perkebunan Kelapa Sawit, Yogyakarta.
- Koh, L. Pin and S. A. Wich, 2012. Dawn of Drone Ecology : Low-Cost Autonomous Aerial Vehicles for Conservation. *Tropical Conservation Science*, 5 (2) : 121-132.
- Lam, W. Y., M. Kulak, S. Sim., H. King., M. A. J. Huijbregt, and R. Chaplin- Kramer. 2019. Greenhouse Gas Footprints of Palm Oil Production in Indonesia Over Space and Time. *Science of the Total Environment Journal*, page : 827 – 837.

- Anggara, F., Srihidayati, G., & Mutmainnah, M. (2023). Efektivitas Kompos Kotoran Ayam Ras Dan Aplikasi Pgpr Rumput Gajah Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Wanatani*, 3(2), 93-109.
- Firdamayanti, E., & Srihidayati, G. (2021). Analisis Organoleptik Produk Kaldu Bubuk Instan Dari Ekstrak Ikan Malaja (*Siganus Canaliculatus*). *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 9(2), 132-137.
- Lapa, H. R., & Srihidayati, G. (2023). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu dan Batang Pisang Sebagai Pupuk Organik Cair. *Wanatani*, 3(1), 11-22.
- Srihidayati, G., & Firdamayanti, E. (2021). Formulasi dan uji organoleptik otak-otak ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan berbagai konsentrasi tepung penstabil. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 9(2), 123-131.
- Srihidayati, G., & Suhaeni, S. (2021). Analisis Pendapatan Dan Kelayakan Usaha Dodol Sagu Di Kota Palopo (Studi Kasus: Usaha Dodol Fitri). *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 9(3), 214-220.
- Srihidayati, G. (2023). Perancangan Logo dan Desain Kemasan Keripik Pisang Tanduk Arjuna di Kota Palopo. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(1), 74-82.
- Srihidayati, G. (2022). Analisis Pengaruh Sektor Pertanian terhadap Pertumbuhan Ekonomi. *Wanatani*, 2(1), 21-26.
- Lubis, A. R., 2011. Pendugaan Cadangan Karbon Kelapa Sawit Berdasarkan Persamaan Alometrik di Lahan Gambut Kebun Meranti Paham PT. Perkebunan Nusantara IV, Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara (Skripsi). Departemen Ilmu Tanah & SDA Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
- Maulana, S. I., 2010. Pendugaan Densitas Karbon Tegakan Hutan Alam di Kabupaten Jayapura, Papua. *Jurnal Penelitian Sosial Ekonomi Kehutanan* (7) 4 : 261 – 274.
- Mirbach, Mv, 2000. Carbon Budget Accounting at The Forest Management Unit Level: an Overview of Issues and Methods. Canada's Model Forest Program, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Ottawa.
- Mubekti, 2013. Estimasi Jejak Karbon Industri Minyak Kelapa Sawit. Pusat Teknologi Inventarisasi Sumberdaya Alam – BPPT, Jakarta.
- Muslim, B. F., dan M. Munir, 2019. Pemanfaatan GIS (Geographic Information System) Untuk Pemetaan Verifikasi dan Pokok pada Perkebunan Kelapa Sawit di Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6 (2) : 1333 – 1340.
- Paneque, J-Galvez, M. K. McCall, B. M. Napoletano, S. A. Wich, and L. P. Koh, 2014. Small Drones for Community-Based Forest Monitoring: An Assessment of Their Feasibility and Potential in Tropical Areas. *Article of Forest*. 5, 1481 – 1507; doi : 10.3390/f5061481.
- Palm Oil Agribusiness Strategic Policy Institute (PAPSI), 2016. Industri Minyak Sawit Indonesia dalam Isu Sosial, Ekonomi dan Lingkungan Global – GAPKI. Bogor.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), 2016. Isu Lingkungan dan Fakta Ilmiah Perkebunan Kelapa Sawit pada Lahan Gambut, Jakarta.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), 2018. Peran Kelapa Sawit Berkelanjutan dalam Mengurangi Dampak Perubahan Iklim di Tingkat Nasional. Diakses dari : www.agroklimatologiPPKS.com (PDF). Medan, pada 18 Oktober 2018.
- Purba, K. D, Rahmawaty, dan Riswan, 2012. Pendugaan Cadangan Karbon Above Ground Biomass (AGB) pada Tegakan Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di

- Kabupaten Langkat. Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2016. Outlook Kelapa Sawit Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan. Sekretariat Jenderal – Kementerian Pertanian.
- Pusat Informasi Kelapa Sawit, 2012. Penjelasan Tentang Kelapa Sawit. Diakses dari : www.informasi-kelapasawit.blogspot.com. Diakses dari PT. Fin Komodo Teknologi
- Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO), 2016. Prosedur Penilaian Gas Rumah Kaca (GRK) untuk Pengembangan Baru. Versi 3. RSPO Secretariat. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Ruwaimana, M., N. Atmaja, I. P. Yuda, 2017. Resolusi Spasial Optimum pada Citra Drone untuk Klasifikasi Spesies Mangrove dengan Metode Maximum Likelihood. *Biota* 2 (2) : 68 -76.
- Saputra A., 2013. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konversi Tanaman Karet Menjadi Kelapa Sawit di Kabupaten Muaro Jambi. *Sosio Ekonomika Bisnis*, 16 (2) : 18-25.
- Setyamidjaja, D., 2010. Kelapa Sawit. Teknik Budidaya, Panen dan Pengolahan. Kanisius : Yogyakarta.
- Setiawan, G., L. Syaufina and N. Puspaningsih, 2015. Estimation of Carbon Stock Loss from Land Use Changes in Bogor Regency. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5, 141–147; doi: 10.19081/jpsl.5.2.141.
- Shofiyanti, R., 2011. Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk pemetaan dan Pemantauan Lahan Pertanian. *Informatika Pertanian*, (20) 2 : 58– 64.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2010. Klasifikasi Penutup Lahan.(ID) : Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. (ID): Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Tu, Yu-Hsuan, S. Phinna, K. Johansen, A. Robson, and D. Wu, 2020. Optimising Drone Flight Planning for Measuring Horticultural Tree Crop Structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (160) : 83 – 96.
- Ukoro, A. I., 2017. Analisis Citra Drone untuk Memonitoring Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Agroteknose*, 8 (2).
- Utami, R., E. I. Kumala Putri and M. Ekayani., 2017. Economy and Environmental Impact of Oil Palm Palm Plantation Expansion (Case Study: Panyabungan Village, Merlung Sub-District, West Tanjung Jabung Barat District, Jambi). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 22 (2) : 115 – 126.
- Utomo, B., 2017. Drone untuk Percepatan Pemetaan Bidang Tanah. *Jurnal Media Komunikasi Geografi*, 18 (2) : 146 -155.
- Yuliyanto, 2015. Pendugaan Cadangan Karbon Tersimpan pada Kelapa Sawit (*Elaeis guinensis* Jacq.) dan Analisis Kesuburan Tanah di Perkebunan PT. Daria Dharma Pratama Ipuh Bengkulu, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor,