

**Estimasi Above Ground Biomass *Syzygium aromaticum* dengan structure from motion (SfM) menggunakan Pesawat Tanpa Awak di Kawasan Agroforestri Paninggahan, Sumatera Barat****Above Ground Biomass Estimation of *Syzygium aromaticum* using structure from motion (SfM) derived from Unmanned Aerial Vehicle in Paninggahan Agroforest Area, West Sumatra**

Try Surya Harapan ¹⁾, Ahsanul Husna ¹⁾, Thoriq Alfath Febriamansyah ¹⁾, Mahdi Mutashim ¹⁾, Andri Saputra ²⁾, Ahmad Taufiq ¹⁾, Erizal Mukhtar ^{1)*}

1. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

2. Rimbo Pangan Lestari (RPL), Paninggahan, Solok, Sumatera Barat.

SUBMISSION TRACK

Submitted : 2021-03-04

Revised : 2021-06-28

Accepted : 2021-07-01

Published : 2021-07-03

KEYWORDS

estimated AGB,

lahan tidur,

UAV

***)CORRESPONDENCE**

email:

erizalmukhtar@sci.unand.ac.id

ABSTRACT

Above ground biomass (AGB) is all living organic matters above the soil including stem, seed and leaves. This study aimed to estimate the individual clove (*Syzygium aromaticum*) and its above ground biomass using Unmanned Aerial Vehicle in the Agroforestry area in Paninggahan, West Sumatra. This study used a photogrammetry method to calculate trees and estimated the AGB. We detected 257 numbers of trees based on aerial image analysis and observed 270 after we validated on ground check in the field. The result was slightly different between estimated AGB from UAV and observed AGB from our ground validation. The estimated AGB was 5.9 ton/ Ha where the surveyed AGB was 5.6 ton/Ha. The difference between estimated AGB and observed AGB was 0.3 ton/Ha.

PENDAHULUAN

Permasalahan mengenai perubahan iklim telah menarik perhatian masyarakat global untuk melindungi hutan dari deforestasi dan degradasi hutan. Perubahan iklim disebabkan karena banyaknya gas CO₂ dilepaskan ke udara sehingga dibutuhkan strategi untuk mereduksi karbon yang terakumulasi di atmosfer (Purnobasuki, 2012). Ketersediaan biomassa merupakan salah satu faktor yang dapat mengurangi emisi karbon yang berdampak pada kerusakan lingkungan (Gibbs et al. 2007). Biomassa di atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass*) adalah semua bahan organik dari tanaman yang hidup di atas tanah termasuk batang, kulit kayu, biji dan dedaunan (IPCC 2006). Dalam skala manajemen hutan, agroforestri dan kegiatan proyek karbon memerlukan perhitungan biomassa. Metode ini memiliki potensi untuk diadopsi dalam proyek *Carbon Trade*.

Kegiatan perdagangan karbon merupakan skema perdagangan antar negara yang dirancang untuk mengurangi emisi karbon dioksida. Perdagangan karbon mengatur

kebijakan perusahaan dan pemerintah untuk memenuhi target pengurangan emisi karbon yang dihitung dalam satuan ton per karbon dioksida (Gilbertson & Reyes, 2009). Estimasi yang tepat pada perhitungan biomassa yang terdapat pada hutan tropis sangatlah penting dalam berbagai hal, antara lain seperti upaya eksplorasi kayu hingga siklus karbon global. Khususnya pada siklus karbon global total nilai Above Ground Biomass (AGB) sangat penting untuk mengetahui jumlah fluktuasi cadangan karbon yang tersimpan pada suatu wilayah dalam kurun waktu atau periode tertentu yang relatif singkat (2–10 tahun) (UNFCCC, 2008).

Indonesia memiliki luas lahan pertanian sebesar 70,2 juta ha, yang terdiri atas sawah, tegakan, pekarangan, perkebunan, dan padang penggembalaan. Tetapi lahan pertanian yang efektif hanya seluas 58,9 juta ha. Area dengan luas sekitar 11,3 juta ha merupakan lahan yang tidak dimanfaatkan oleh masyarakat. Lahan ini disebut dengan “lahan tidur” yang tidak dilakukan penanaman selama lebih dari dua tahun (BBSDL, 2008). Lahan tidur memiliki potensi untuk dilakukan penanaman termasuk tanaman

perkebunan yang menjadi salah satu sumber biomassa. Tanaman perkebunan memiliki potensi besar sebagai penghasil biomassa salah satunya adalah tanaman cengkeh (Wulandari, Sumanto, & Saefudin, 2019). Pemanfaatan lahan perkebunan cengkeh dapat mampu meningkatkan ketersediaan biomassa yang cukup melimpah pada lahan yang sebelumnya terdegradasi. Pola tanam agroforestri dapat menyimpan karbon jauh lebih besar daripada tanaman semusim (Kurniyawan et al., 2010).

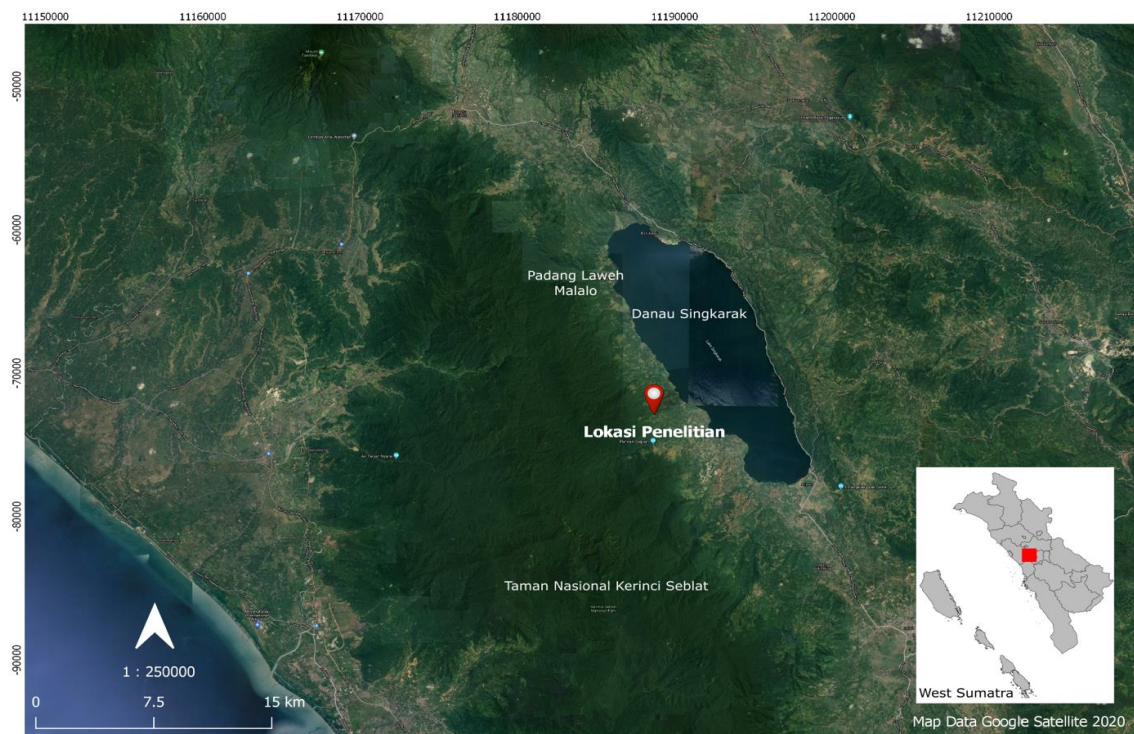
Teknologi pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) dan sistem informasi geografis telah mempercepat perkembangan metode dengan biaya dan waktu yang lebih efisien untuk melakukan pengukuran AGB (Wikantika, 2009; Ota et al. 2015). Beberapa penelitian menggunakan metode ini menunjukkan hasil yang cukup baik pada pengukuran AGB di beberapa

tipe vegetasi (Fernandes et al. 2020; Hashem, 2019; Zhang, 2019; Li et al. 2019; Warfield dan Leon, 2019). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan individu cengkeh dengan cepat dan akurat serta mengetahui biomassa diatas permukaan tanah (AGB) cengkeh dengan menggunakan pesawat tanpa awak (UAV) di Kawasan Agroforestri Panningahan, Solok, Sumatera Barat.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan yaitu Drone DJI Mavic, Meteran (Tinggi), DBH meter, tali rafia (plot), software QGIS, Rstudio (Allaire, 2012), Pix4D versi 4 trial (Pix4D, 2017), GPS garmin 64S, dan alat tulis.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Penelitian ini terletak ± 1 km di sebelah timur danau Singkarak (Gambar 1). Area didominasi oleh tumbuhan *Adinandra dumosa*, *Syzygium cumini*, *Alleurites mollucanus* dan *Areca catechu*. Sebelum dijadikan perkebunan kawasan ini merupakan lahan tidur yang hanya

ditumbuhi rumput-rumputan dari jenis *Imperata cylindrica* dan *Setaria palmifolia*. Penanaman cengkeh dimulai pada tahun 2005 yang diinisiasi oleh lembaga swadaya masyarakat untuk memaksimalkan potensi lahan di Panningahan.

Cara Kerja

Akuisis Data UAV

Data diambil pada 19 September 2020 dengan *quadcopter* DJI Mavic Pro dengan RGB kamera. Drone dioperasikan secara otomatis dengan pola penerbangan grid menggunakan *software* Pix4D capture (android) dengan mode *auto-pilot*. Ketinggian penerbangan adalah 120 m dengan *overlap* 80%. Setelah akuisisi data selesai, semua gambar telah tersimpan di SD card kemudian diperiksa kualitasnya dan gambar yang tidak fokus dihapus kemudian dipindahkan ke folder sesuai dengan lokasi, jam dan tanggal pengambilan data. Pada penelitian ini tidak menggunakan *Ground Control Point* (GCP).

Pemrosesan Data UAV

Perangkat lunak Pix4D Trial versi 4.5 (Pix4D, 2017) digunakan untuk pembuatan ortofoto, *digital surface model* (DSM) dan *digital terrain model* (DTM) melalui pendekatan fotogrametri (*structure from motion*). Foto UAV diproses dengan tiga langkah: initial processing, point cloud dan DSM. Kemudian, ortofoto RGB, DSM dan DTM diekspor dengan format geo-TIFF (*Tagged Image File Format*). Data *Canopy Height Model* (CHM) didapatkan dari hasil pengurangan DSM dan DTM menggunakan raster calculator di QGIS.

Perhitungan pohon & karakterisasi kanopi pohon cengkeh (*Syzygium aromaticum*)

Data primer yang digunakan untuk menghitung jumlah pohon cengkeh adalah CHM. Untuk

perhitungan individu cengkeh, diletakkan secara *purposive* sebanyak 5 plot dengan ukuran 100 x 100 m. Plot ditentukan dengan melihat secara visual area dengan kerapatan cengkeh yang tinggi pada file ortofoto. Kemudian, CHM di *crop* dengan extant plot 100x100 m. Manipulasi raster menggunakan menggunakan paket raster di RStudio (Allaire, 2012; Hijman et al. 2013) selanjutnya perhitungan pohon menggunakan paket ForestTools (Plowright, 2017) dan TreeTop (Silva et al. 2021). Vegetasi kemudian dideteksi secara otomatis dengan menggunakan algoritma *variable window filter* (Popescu dan Wynne, 2004). Algoritma diperintahkan untuk mengukur vegetasi dengan tinggi minimal 2 m. Hasil dari perhitungan tinggi pohon berupa *vector* kemudian di ekspor menggunakan menjadi *shapefile* (shp).

Pada beberapa kasus terdapat poin-poin ketinggian yang tidak cocok, contohnya mendeteksi objek asing (vegetasi non cengkeh, kayu mati dan bangunan). Dilakukan *cleaning point* menggunakan perangkat lunak QGIS, point yang tidak cocok kemudian dihapus. Proses *cleaning* dilakukan dengan pengamatan visual berdasarkan karakter kanopi dari cengkeh. Identifikasi secara visual merujuk pada penelitian Valérie dan Marie-Pierre (2006), González-Orozco et al. (2010) dan Harapan (2019). Cengkeh memiliki tipe kanopi *not clumping*, arsitektur kanopi *deep*, ukuran kanopi kecil dibawah 10 m dan tekstur daun mengelompok berwarna kuning pada pucuk (Gambar 2). Setelah karakter kanopi dikonfirmasi dilakukan penghapusan *point* vegetasi selain cengkeh.



Gambar 2. Pola kanopi dari cengkeh

Perhitungan AGB

Pada penelitian ini dipilih 1 plot berukuran 100x100m untuk dilakukan perhitungan AGB. Kalkulasi AGB didapatkan dari prediksi tinggi dan diameter kanopi yang diekstraksi dari data CHM (Plowright, 2017; Silva et al. 2021). Pada penelitian ini digunakan script AGB dari Jucker et al. (2017) sedangkan untuk perhitungan AGB manual digunakan allometrik dari Ketterings et al. (2001).

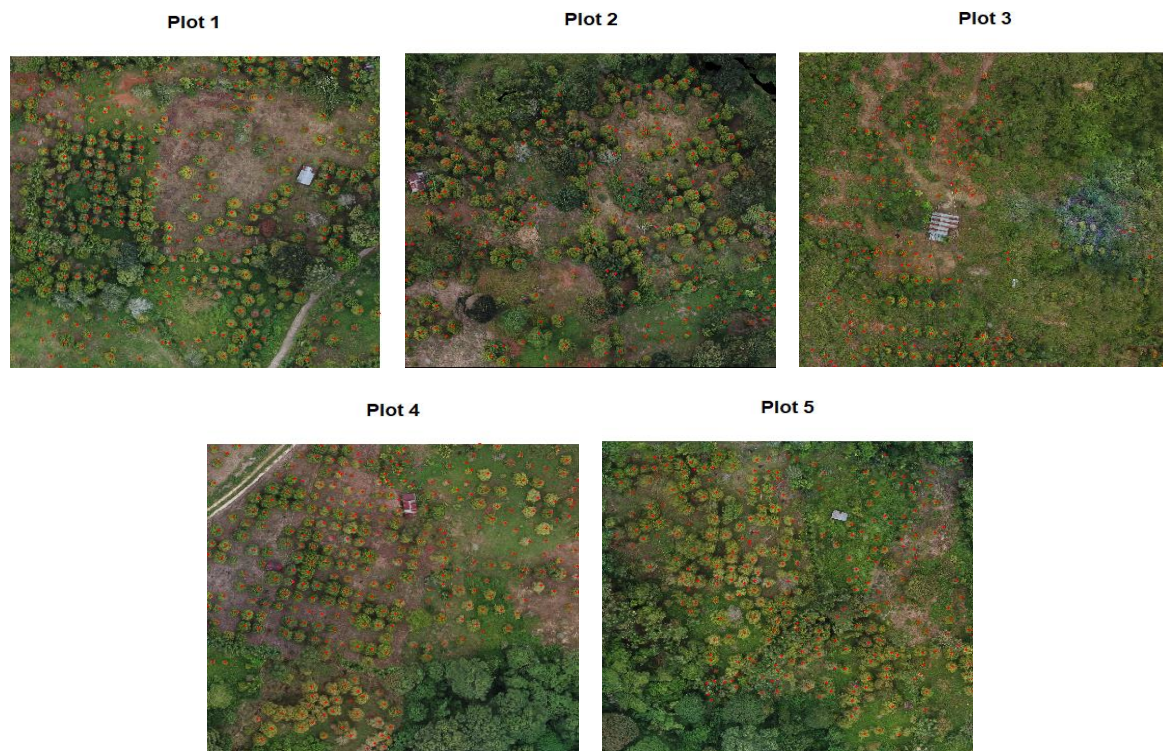
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pohon Cengkeh

Pada luas area 1 Ha semua vegetasi berkayu dapat tumbuh maksimal dengan jumlah sampai dengan 500 individu. Validasi lapangan dilakukan di Bukit Panjang terdapat pohon cengkeh sebanyak 270 individu (Plot 1). Berdasarkan data estimasi dengan menggunakan UAV jumlah pohon yang terdeteksi sebanyak 257 individu. Dari data tersebut menunjukkan bahwa perhitungan individu pohon menggunakan metode estimasi menggunakan UAV memperoleh hasil yang

relatif sama dengan menggunakan metode observasi langsung. Hasil ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Puliti et al. (2015) mengenai inventarisasi kawasan hutan kecil menggunakan sistem UAV, diketahui bahwa nilai rata-rata prediksi individu pohon tidak berbeda jauh dengan nilai data lapangan.

Menurut Hashem (2019) menyatakan bahwa dalam mendeteksi individu pohon, kualitas spasial gambar serta ketinggian penerbangan UAV dapat mempengaruhi hasil keakuratan perhitungan jumlah pohon. Penggunaan sistem UAV memberikan informasi inventarisasi seperti perhitungan individu pohon pada hutan yang relative akurat dan hemat waktu. Sedangkan menurut Jones et al. (2020) bahwa orthomosaic yang diambil oleh UAV juga dapat dengan akurat untuk mengukur jumlah individu pada kawasan ekosistem mangrove. Gambar yang telah diproses mendapatkan perhitungan individu yang akurat sehingga pengukuran biomassa pada vegetasi mangrove dapat memperoleh nilai standar error yang rendah.

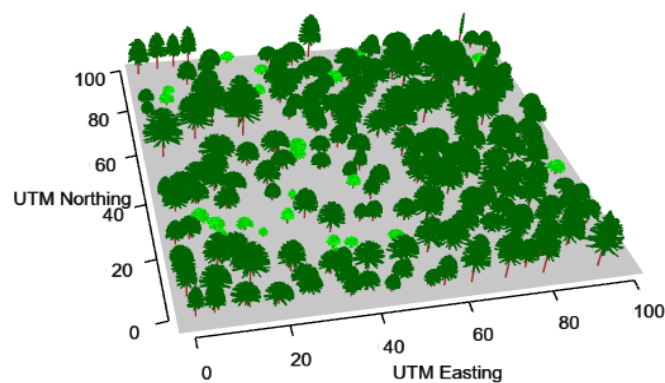


Gambar 3. Jumlah individu cengkeh Plot 1 = 270, Plot 2 = 236, Plot 3 = 166, Plot 4 = 313, Plot 5 = 260. Titik merah individu cengkeh yang ditandai algoritma. Plot 1,2 (Jalan menuju bukit panjang) Plot 3 (Puncak Bukit Panjang), Plot 4,5 (Batu Agung). *Plot 1 dilakukan validasi lapangan.

Perhitungan AGB

Dengan menggunakan CHM plot 1 dengan luasan plot 100 m x 100 m didapatkan data ketinggian dan diameter individu pohon cengkeh secara estimasi (Gambar 4). Data tersebut kemudian dibandingkan dengan data ketinggian individu pohon secara survei. Total pohon 257 individu cengkeh untuk analisis (tabel 1) yang digunakan pada perbandingan survei dengan estimasi tinggi dan diameter kanopi. Gambar 5b menunjukkan regresi antara tinggi pohon estimasi (HeightP) dan tinggi pohon survei (HeightS) dengan nilai

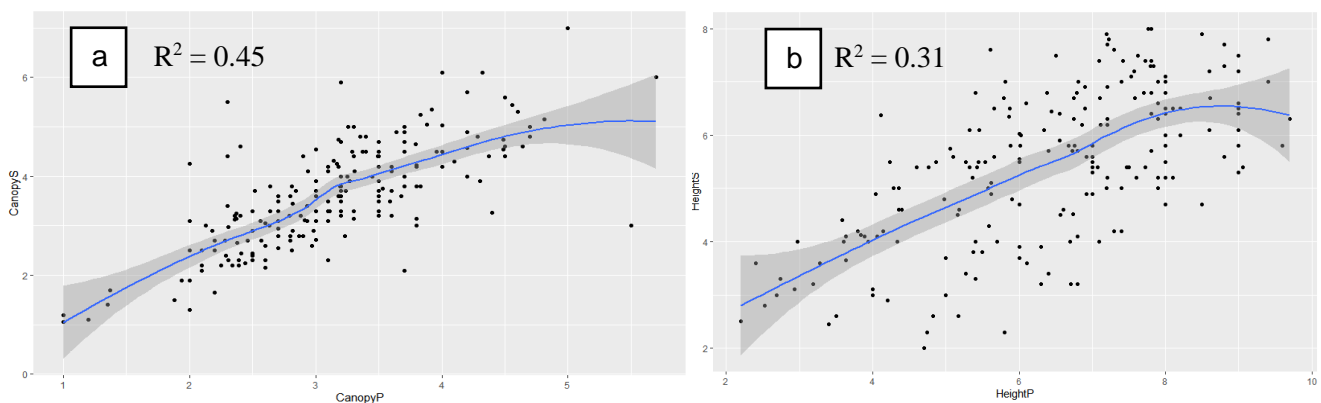
$R^2 = 0.31$ dengan korelasi 0.61 yang menunjukkan korelasi antara parameter tinggi pohon tidak cukup akurat karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan alat ukur yaitu pita ukur dan keadaan topografi plot. Sesuai dengan Iizuka et al. (2018), menunjukkan bahwa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan antara parameter tinggi pohon yaitu keadaan topografi kawasan hutan yang menyebabkan tinggi pohon tidak lebih akurat diperoleh pada data lapangan dibandingkan data *drone*. Karena *drone* memiliki keterbatasan melakukan deteksi pohon yang lebih rendah atau pohon non-kanopi.



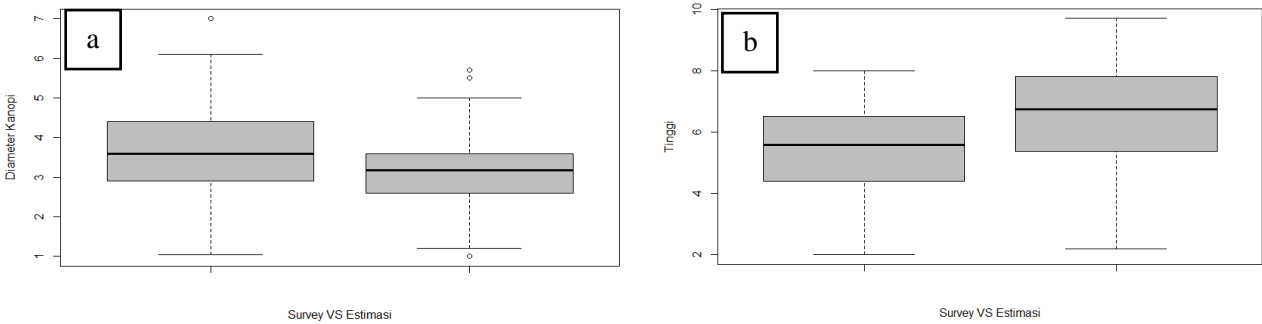
Gambar 4. Canopy Height Model (CHM) pada plot 1 yang digunakan untuk estimasi tinggi dan diameter pohon cengkeh

Sedangkan gambar 5a menunjukkan korelasi antara parameter luas kanopi pohon secara estimasi (CanopyP) dan luas kanopi pohon secara survei (CanopyS) dengan didapatkan nilai $R^2 = 0.45$ dengan nilai korelasi 0.73 yang menunjukkan bahwa korelasi parameter antara luas kanopi pohon cukup akurat karena segmentasi antar pohon jelas sehingga kalkulasi data lapangan (survei) sesuai dengan perkiraan

kalkulasi menggunakan *drone*. Studi terkait yang dilakukan oleh So-Ra et al. (2010), menyatakan segmentasi antar pohon mempengaruhi nilai estimasi luas kanopi pada pohon *Pinus densiflora*. Hal ini dikarenakan adanya tumpang tindih antar kanopi pohon satu yang disebabkan oleh jarak antar pohon yang rapat sehingga proses deliniasi luas kanopi memperoleh nilai estimasi yang rendah.



Gambar 5. Regresi variabel (a) kanopi dan (b) tinggi (Keterangan : S = Survei, P = Prediksi)



Gambar 6. Box plot variabel (a) kanopi dan (b) tinggi

Tabel 1. Deskriptif statistik variabel kanopi dan tinggi

	Min.	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu	Max
CanopyS	1.050	2.9	3.6	3.603	4.4	7
CanopyP	1	2.6	3.175	3.145	3.6	5.7
HeightS	2	4.425	5.575	5.456	6.5	8
HeightP	2.2	5.378	6.75	6.459	7.808	9.7

Tabel 2. Perbandingan nilai AGB (d) dengan AGB (s)

AGB	Hasil	Sumber
AGB (survei)	5.6 Ton/Ha	Ketterings et al. (2001)
AGB (prediksi)	5.9 Ton/Ha	Jucker et al. (2017)

Berdasarkan pada tabel.1 didapatkan hasil perbandingan nilai AGB (s) mendekati nilai AGB (p) dengan selisih 0,3 ton/ ha. Data tersebut menunjukkan bahwa AGB (p) memiliki nilai akurasi yang tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (So-Ra et. al. 2010 ; Ota et al. 2015) juga memberikan hasil yang serupa. Hal ini mengindikasikan bahwa metoda pengukuran dengan menggunakan UAV memberikan hasil estimasi yang cukup akurat dalam perhitungan AGB (Hashem, 2019; Wikantika, 2009; Jones et al. 2020; Basuki et al. 2009).

Untuk memperoleh potensial penyerapan karbon yang maksimum perlu difokuskan pada kegiatan peningkatan biomassa di atas permukaan tanah dibanding karbon dalam tanah disebabkan jumlah bahan organik tanah yang relatif lebih kecil dan masa keberadaannya singkat (Canadell, 2002). Pada penelitian ini cadangan karbon yang dihasilkan cengkeh tergolong rendah dan tergolong pada karbon yang

dihasilkan lahan rehabilitasi (Astuti et al. 2020). Peningkatan penyerapan cadangan karbon dapat dilakukan dengan meningkatkan pertumbuhan biomassa hutan secara alami, penanaman pohon baru serta mengurangi pemanenan kayu dan mengembangkan hutan dengan jenis pohon yang beragam dan cepat tumbuh (Sedjo dan Salomon, 1988). Pada penelitian ini dalam area 1 Ha cengkeh dapat tumbuh secara maksimal pada 313 individu pohon (Gambar 3) yang tumbuh diselingi oleh tumbuhan agroforest lain.

KESIMPULAN

Drone dapat memberikan hasil yang akurat pada perhitungan individu dan estimasi AGB dari tumbuhan cengkeh. Walaupun memiliki nilai R² yang rendah pada variabel tinggi *drone* dengan tinggi survei, AGB *drone* dapat memberikan nilai dengan selisih 0,3 ton/Ha dari pengukuran manual dengan metode survei.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Paul Burger dari Rimbo Pangan Lestari (RPL) yang telah memberikan izin dan dukungan atas kelancaran penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Wilson Novarino yang memberikan arahan, bantuan, dan juga selaku pembina Biology Mapping Community (BMC), dan juga kepada Herbarium Universitas Andalas atas fasilitas yang telah digunakan dan warga lokal Paninggahan yang telah mendukung kegiatan selama lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaire, J. 2012. RStudio: integrated development environment for R. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.651.1157&rep=rep1&type=pdf> 18 Mei 2020.
- Astuti, R., Wasis, B. and Hilwan, I. 2020. Potensi Cadangan Karbon Pada Lahan Rehabilitasi Di Kabupaten Gunung Mas, Kalimantan Tengah: Carbon Stock Potential in Rehabilitation Land at Gunung Mas District, Central Kalimantan. *Media Konservasi*. 25, 2 (Jun. 2020), 140-148.
- Basuki, T. M., Van Laake, P. E., Skidmore, A. K., & Hussin, Y. A. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest ecology and management* 257(8):1684-1694.
- Canadell, J. G. 2002. Land use effects on terrestrial carbon sources and sinks. *Life Sciences*. China.
- Fernandes, M. R., Aguiar, F. C., Martins, M. J., Rico, N., Ferreira, M. T., & Correia, A. C. (2020). Carbon Stock Estimations in a Mediterranean Riparian Forest: A Case Study Combining Field Data and UAV Imagery. *Forests* 11(4): 376.
- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2(4).
- González-Orozco, C. E., Mulligan, M., Trichon, V., & Jarvis, A. 2010. Taxonomic identification of Amazonian tree crowns from aerial photography. *Applied vegetation science* 13(4): 510-519.
- Harapan, T.S. (2019). Karakterisasi kanopi *castanopsis argentea* (Blume) A. DC. dengan kerabat dekatnya (Fagaceae) menggunakan foto udara dengan pesawat tanpa awak. Padang. Universitas Andalas.
- Hashem, M. 2019. Estimation of aboveground biomass/carbon stock and carbon sequestration using UAV imagery at Kebun Raya Unmul Samarinda Education Forest, East Kalimantan, Indonesia. Netherlands. University of Twente.
- Hijmans, R. 2013. Raster package in R. <https://cran.rproject.org/web/packages/raster/raster.pdf> 18 Mei 2020.
- Iizuka, K., Yonehara, T., Itoh, M., & Kosugi, Y. 2018. Estimating tree height and diameter at breast height (DBH) from digital surface models and orthophotos obtained with an unmanned aerial system for a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forest. *Remote Sensing* 10(1): 13.
- Jones, A. R., Raja Segaran, R., Clarke, K. D., Waycott, M., Goh, W. S., and Gillanders, B. M. 2020. Estimating mangrove tree biomass and carbon content: a comparison of forest inventory techniques and drone imagery. *Frontiers in Marine Science* 6 784.
- Jucker, T., Caspersen, J., Chave, J., Antin, C., Barbier, N., Bongers, F., Dalponte, M., van Ewijk, K.Y., Forrester, D.I., Haeni, M., Higgins, S.I., Holdaway, R.J., Iida, Y., Lorimer, C., Marshall, P.L., Momo, S., Moncrieff, G.R., Ploton, P., Poorter, L., Rahman, K.A., Schlund, M., Sonké, B., Sterck, F.J., Trugman, A.T., Usoltsev, V.A., Vanderwel, M.C., Waldner, P., Wedeux, B.M.M., Wirth, C., Wöll, H., Woods, M., Xiang, W., Zimmermann, N.E., Coomes, D.A., 2016. Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes. *Global Change Biol* 23: 177–190.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., & Palm, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management* 146(1-3): 199-209.

- Kurniyawan, A., S. Yuni Indriyanti, Robianto Felani, dan Ahmad Rojikin. 2010. Pendugaan Potensi Karbon Tersimpan pada Tegakan Meranti Penghasil Tengkwang dalam Rangka Eksplorasi Manfaat Bagi Masyarakat Lokal atas Jasa Lingkungan. Kementerian Kehutanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Balai Besar Penelitian Dipterokarpa. Samarinda.
- Li, Z., Zan, Q., Yang, Q., Zhu, D., Chen, Y., & Yu, S. 2019. Remote estimation of mangrove aboveground carbon stock at the species level using a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Remote Sensing* 11(9): 1018.
- Ota, T., Ogawa, M., Shimizu, K., Kajisa, T., Mizoue, N., Yoshida, S. & Sokh, H. 2015. Aboveground biomass estimation using structure from motion approach with aerial photographs in a seasonal tropical forest. *Forests* 6(11): 3882-3898.
- Pix4D, S. A. 2017. Pix4Dmapper 4.1 user manual. Pix4D SA: Lausanne. Switzerland.
- Plowright, A. 2017. Package "ForestTools". R package.
- Popescu, S. C., & Wynne, R. H. 2004. Seeing the trees in the forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70(5): 589-604.
- Puliti, S., Ørka, H. O., Gobakken, T., and Næsset, E. 2015. Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system. *Remote Sensing* 7(8): 9632-9654.
- Purnobasuki, H. 2012. Pemanfaatan hutan mangrove sebagai penyimpan karbon. *Buletin PSL Universitas Surabaya* 28(3-5): 1-6.
- Sedjo, R. A., and Solomon, A. M. 1989. Climate and forests. *Greenhouse warming: abatement and adaptation* 3(7): 105-120.
- Silva, C.A., Hudak, A.T., Vierling, L.A., Valbuena, R., Cardil, A., Mohan, M., Almeida, D. A., Broadbent, E.N., Zambrano, A. M. A., Wilkinson, B., Sharma, A., Drake, J. B., Medley, P. B., Vogel, J. G., Prata, G. A., Atkins, J., Hamamura, C., Klauber, C. 2021. Treetop: A Shiny-based Application for Extracting Forest Information from LiDAR data. <https://CRAN.R-project.org/package=treetop> 13 Maret 2021.
- UNFCCC. 2008. Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session. Bali, 3-15 Desember 2007. Addendum, Part 2. UNFCCC, Bonn, Germany.
- Valérie, T., and Marie-Pierre, J. 2006. Tree species identification on large-scale aerial photographs in a tropical rain forest, French Guiana-application for management and conservation. *Forest ecology and management* 225(1-3): 51-61.
- Warfield, A. D., & Leon, J. X. 2019. Estimating Mangrove Forest Volume Using Terrestrial Laser Scanning and UAV-Derived Structure-from-Motion. *Drones* 3(2): 32.
- Wulandari, S., Sumanto, and Saefudin. 2019. Pengelolaan Biomassa Tanaman Dalam Bioindustri Perkebunan Mendukung Pengembangan Bioenergi Plant Biomass Management In Plantations Bioindustry Supporting Bioenergy Development. *Perspektif* 143-157
- Zhang, X. 2019. Quick Aboveground Carbon Stock Estimation of Densely Planted Shrubs by Using Point Cloud Derived from Unmanned Aerial Vehicle. *Remote Sensing* 11(24):2914.