

Estimasi Stok Karbon Di Atas Permukaan Menggunakan Citra Sentinel-1A di Hutan Mangrove Karang Sewu, Bali

Nikmah Fitria Nuraini^a, I Wayan Gede Astawa Karang^{a*}, I Nyoman Giri Putra^a

^aProgram Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email:gedekarang@unud.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: June 16th 2021

Received in revised form: July 4th 2021

Accepted: January 17th 2022

Available online: February 28th 2022

Keywords:

Mangrove

Carbon

SAR

Sentinel-1A

Karang Sewu Bali

ABSTRACT

Karang Sewu mangrove is one of the forests in the tropics that can store a higher amount of carbon compared to other forest. The research of carbon storage in the Karang Sewu mangrove forest is required to support government policies in mitigating blue carbon. Research about above ground and below ground carbons in the Karang Sewu mangroves has not provided spatial information, and one of the techniques that can be used is remote sensing with Synthetic Aperture Radar (SAR). This research used SAR Sentinel-1A C-Band sensor imagery to estimate above-ground carbon in mangroves because it can penetrate the canopy to branch vegetation so that the backscatter value is not disturbed by water on the surface. The purpose of this study was to determine the above-ground carbon value in the mangrove forest Karang Sewu, Bali, using Sentinel-1A imagery. Estimation of above-ground carbon in SAR images using the sigma nought Vertical Horizontal polarization method based on carbon estimation models from field data and image data. The best carbon estimator model is a polynomial model with the equation $y = 0.1055x^2 + 4.1507x + 43,691$, $R^2 = 0.3347$. The Root Mean Square Error (RMSE) error rate is 0,7. Based on the RMSE value, it can be concluded that the difference between the field carbon and the image carbon results is relatively small. The estimation result of the total above-ground carbon value using Sentinel-1A imagery is 59.85 tons/ha.

2022 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Pemanasan global merupakan salah satu isu pokok yang menyebabkan perubahan iklim. Pemanasan global didefinisikan sebagai meningkatnya suhu di atmosfer yang terjadi akibat efek gas rumah kaca (GRK) (Rizki *et al.*, 2016). Efek GRK disebabkan akibat kegiatan industri, sarana transportasi, dan pembakaran bahan bakar fosil yang lebih banyak melepaskan karbon dioksida. Mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pemanasan global dari efek GRK adalah melalui metode *carbon sequestration* yaitu menangkap karbon di atmosfer dan disimpan dalam vegetasi pada biomassa. Pengukuran biomassa dalam suatu vegetasi berupa karbon dioksida yang diserap disebut karbon stok (Husna *et al.*, 2019).

Hutan mangrove di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam *carbon sequestration* karena mampu menyerap emisi karbon 3 - 5 kali lebih tinggi daripada hutan tropis daratan (Murdiyarso *et al.*, 2015). Sebagai penyerap karbon terbesar di kawasan pesisir, hutan mangrove memiliki peran penting terhadap mitigasi perubahan iklim (Liu *et al.*, 2017). Informasi karbon dapat dilihat dari biomassa yang merupakan tempat penyimpanan utama karbon (Widyasari, 2010). Secara umum kajian biomassa

terbagi menjadi dua, yaitu di atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass/AGB*) dan di bawah permukaan tanah (*Below Ground Biomass/BGB*). Setiap sampel biomassa dari vegetasi hutan 50% tersusun atas karbon (Purwanto *et al.*, 2012). Melihat potensi vegetasi untuk penyerapan karbon maka diperlukan upaya mitigasi untuk mengurangi emisi karbon dan mempertahankan hutan mangrove sebagai penyerap karbon.

Hutan Mangrove di Karang Sewu merupakan bagian dari Taman Nasional Bali Barat (TNBB) yang merupakan kawasan pelestarian alam yang mempunyai fungsi sebagai habitat flora dan fauna, perlindungan bencana tsunami serta tempat serapan karbon dalam mencegah pemanasan global (Rani *et al.*, 2019). Perhitungan mengenai informasi karbon menjadi hal yang sangat dibutuhkan jika dilihat fungsi dari kawasan mangrove tersebut. Berbagai penelitian mengenai informasi stok karbon sudah banyak dilakukan dengan penginderaan jauh sistem aktif maupun sistem pasif, tetapi penelitian stok karbon pada mangrove di Karang Sewu belum tersedia infomasinya. Penelitian menggunakan sistem pasif dilakukan oleh Hastuti *et al* (2017) yaitu mengestimasi biomassa dan potensi stok karbon vegetasi mangrove di Perancak, Jembrana, Bali menggunakan Landsat 8 dengan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dimana hasil estimasi total karbon adalah

$22.18 \pm 11.76 \text{ tonC ha}^{-1}$. Kekurangan metode NDVI yaitu metode ini bukanlah yang terbaik untuk estimasi stok karbon, namun metode ini memiliki akurasi yang relatif konsisten pada berbagai tingkat koreksi radiometrik. Candra *et al* (2016) juga melakukan penelitian mengenai estimasi stok karbon di atas permukaan di hutan mangrove Teluk Benoa, Bali menggunakan citra Worldview-2 dan mendapatkan estimasi karbon sebesar 35.349,87 ton. Citra Worldview-2 memiliki kelebihan pada resolusi spasial 1,8 meter yang dapat menghasilkan akurasi yang lebih tinggi daripada resolusi spasial yang lebih rendah. Kelemahan sensor pasif seperti citra optik Worldview-2 dan Landsat yaitu mendeteksi menggunakan pendekatan indeks vegetasi hanya pada permukaan daun (kanopi) dan citra masih terhalang oleh awan.

Penelitian estimasi karbon menggunakan sensor aktif sebelumnya dilakukan oleh Hudaya (2013) menggunakan citra aktif ALOS PALSAR untuk mengetahui sensitivitas L-Band polarisasi HH dan HV terhadap parameter biomassa di atas permukaan pada hutan mangrove Kubu Raya, Kalimantan Barat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensitivitas polarisasi HV dengan koefisien determinasi 98,6%. Mahasani *et al* (2020) di Teluk Benoa, Bali menggunakan ALOS-2 PALSAR-2 menggunakan polarisasi HV mendapatkan hasil estimasi karbon di atas permukaan 171,193.67 Mg C. Dari beberapa penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan Citra SAR Sentinel-1A C-Band polarisasi VH karena menurut Huang *et al* (2018) polarisasi VH menunjukkan bahwa C-band mencapai saturasi jauh lebih cepat daripada L-band karena penetrasi kanopi hutannya yang terbatas dan polarisasi VH terbukti lebih berguna daripada VV dan HH karena pengaruh yang lebih sedikit oleh kelembaban tanah.

Penginderaan jauh menjadi teknologi alternatif yang efektif dan efisien karena dapat digunakan dengan memanfaatkan citra satelit untuk mengestimasi stok karbon dalam wilayah yang luas (Hudaya, 2013). *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan sensor aktif yang dapat mendeteksi struktur geometrik vegetasi dari kanopi, percabangan hingga ke tanah jika dibandingkan sensor pasif yaitu hanya dengan pendekatan indeks vegetasi yang mencerminkan kelimpahan vegetasi. Perekaman SAR menggunakan gelombang mikro yang salah satunya dapat digunakan pada vegetasi seperti *X-Band* (2,4-3,75 cm) dapat menembus sampai permukaan kanopi vegetasi, *C-Band* (3,75-7,5 cm) dapat menembus kanopi hingga percabangan, dan *L-Band* (7,5-15 cm) dapat menembus pada vegetasi hingga tanah (ESA, 2013).

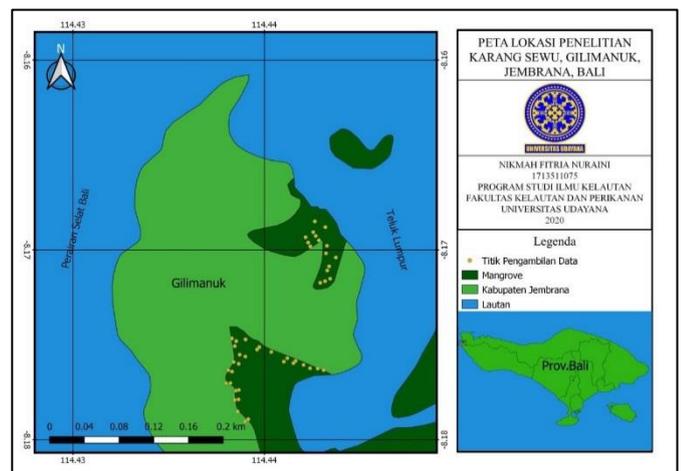
Salah satu citra radar yang tersedia sejak tahun 2014 adalah citra satelit Sentinel-1A dengan resolusi temporal 12 hari dan memiliki tipe resolusi spasial yaitu *Stripmap Mode* (SM), *Interferometric Wide Swath Mode* (IW), *Extra-Wide Swath Mode* (EW), dan *Wave Mode* (WV). Penelitian ini menggunakan citra radar SAR Sentinel-1A karena dapat menghitung kepadatan volume terhadap batang dan struktur tegakan sehingga memiliki keakuratan yang cukup baik dalam mengestimasi biomassa (Harry *et al*, 2013) dan menggunakan sensor *C-Band* karena dapat menembus kanopi hingga percabangan pada vegetasi sehingga nilai hamburan balik (*backscatter*) tidak terganggu oleh genangan air di permukaan serta memiliki keunggulan dalam perekaman pada semua kondisi cahaya dan cuaca sehingga hasil perekamannya bebas dari gangguan cuaca (Bayanuddin dan Anna, 2016). Hubungan *backscatter* dengan karbon yaitu sinyal radar SAR yang dipantulkan kembali berdasarkan parameter biofisik vegetasi mengindikasikan nilai karbon, dimana sinyal tersebut dipengaruhi oleh panjang gelombang dan struktur kanopi (ukuran dan kepadatan) (Mitchel *et al.*, 2012) sehingga pemilihan citra SAR dipilih dalam penelitian ini dalam menduga karbon.

Berdasarkan latar belakang berikut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai estimasi karbon di atas permukaan pada hutan mangrove dalam upaya mitigasi pemanasan global dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh citra SAR Sentinel-1A. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai karbon di atas permukaan pada hutan mangrove Karang Sewu, Bali melalui analisis citra Sentinel-1A. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi kepada masyarakat dan lembaga terkait mengenai jumlah karbon di hutan mangrove untuk upaya pengelolaan yang berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilaksanakan pada 4 – 5 Januari 2021 di hutan mangrove Karang Sewu, Kelurahan Gilimanuk, Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Bali. Luas kawasan hutan mangrove di Karang Sewu berdasarkan data TNBB adalah sekitar 12,5 Ha. Marbawa *et al* (2014) menemukan delapan jenis mangrove di Teluk Gilimanuk, TNBB yaitu *Sonneratia alba*, *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora apiculata*, *Avicennia marina*, *Ceriops tagal*, *Osbornia octodonta*, *Lumnitzera racemosa* dan *Excoecaria agallocha*. Pengolahan dan analisis data dilaksanakan pada bulan Januari – Mei 2021 di Laboratorium GIS dan Remote Sensing, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



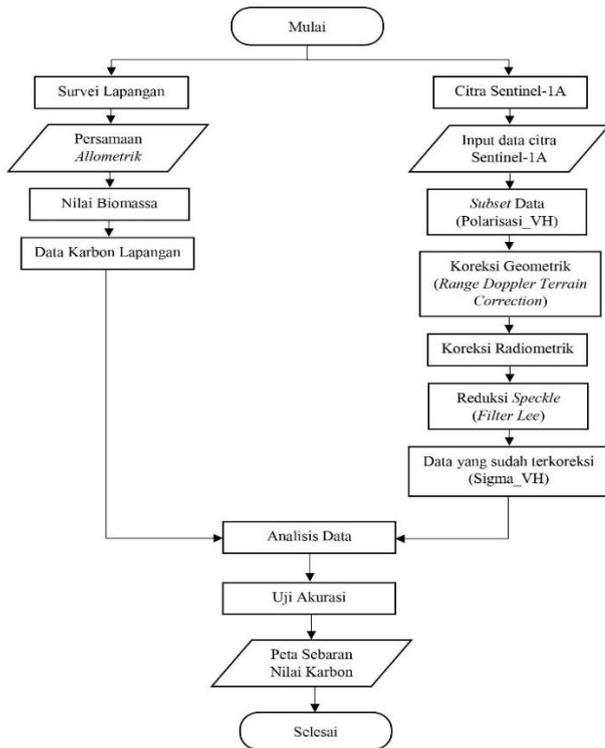
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop beserta *software* SNAP (*Sentinel Application Platform*) untuk pengolahan data citra Sentinel-1A, *Software* SPSS (*Statistical Package for The Social Science*) Versi 11.5 untuk menganalisis data, GPS, Pita ukur, roll meter, tali, kamera, alat tulis dan buku identifikasi mangrove (Noor *et al.*, 2006) untuk pengambilan data lapangan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Sentinel-1A; *Interferometric Wide-Swath Mode* (IW), Level 1 GRDH (*Ground Range Detected High Resolution*), Polarisasi VH. Tanggal Perekaman: 5 Januari 2021 dan data lapangan.

2.3. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.4 Pengolahan Data Citra

Citra Sentinel-1A polarisasi VH digunakan karena *volume scattering* akan terpecah akibat bentuk objek yang tidak beraturan seperti pada vegetasi sehingga *backscatter*nya akan tinggi dan metode *sigma nought* ini dapat merepresentasikan ukuran piksel yang mengacu ke permukaan tanah (Simarmata dan Hartono, 2014). Pengolahan data dilakukan untuk menganalisis nilai piksel terhadap citra dan menghilangkan distorsi pada citra sehingga citra dapat digunakan.

a. Subset Data

Data Sentinel-1A yang digunakan meliputi daerah penelitian dengan band sintetik dari polarisasi VH. *Subset* atau pemotongan citra dilakukan untuk membuat band sintetik sesuai dengan daerah penelitian sehingga ukuran lebih sempit dan meringankan komputer pada saat melakukan proses *subset* data.

b. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik digunakan untuk menghilangkan distorsi pada citra saat mengindera ke samping (*side looking*), ketinggian objek di permukaan bumi dan kondisi topografi wilayah. Tahap koreksi geometrik menggunakan metode *Range Doppler Terrain Correction* dengan menggunakan data DEM untuk memproyeksikan pada citra karena data DEM telah terinstall otomatis pada *software* SNAP.

c. Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik digunakan agar citra merepresentasikan dari nilai piksel berupa *backscatter* dari pantulan objek di permukaan dengan satuan *decibel* (dB) dan dianalisis secara kuantitatif sehingga menghasilkan nilai *sigma nought*. Secara sistematis persamaan dinyatakan sebagai berikut (ESA, 2013):

$$Value(i) = \frac{[DNi]^2}{Ai^2} \quad (1)$$

Keterangan:

Value(i) = Nilai *backscatter*(i)

DNi = Nilai digital pixel(i)

Ai = Nilai dari Sigma Nought(i)

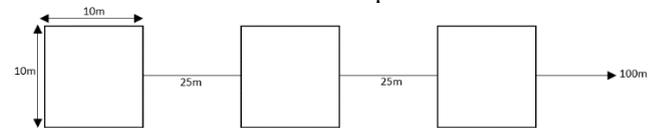
d. Reduksi Speckle

Reduksi *speckle* digunakan untuk mengurangi noise atau gangguan pada citra Sentinel-1A akibat pantulan objek di bumi yang saling mengganggu nilai hamburan balik sinyal radar. Filter *speckle* yang digunakan untuk mengurangi efek ini adalah Filter *Lee* (Arief *et al*, 2017), karena filter ini menggunakan standar deviasi untuk menghitung nilai baru sebuah piksel yang berada di sekitar kotak lokal (kesatuan piksel yang digunakan untuk memfilter citra digital) (Marghany dan Genderen, 2014).

2.5 Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan menggunakan metode *purposive sampling*. *Purposive sampling* ditentukan berdasarkan aksesibilitas dan ketersediaan mangrove di lokasi. Penentuan titik di lapangan menggunakan GPS dengan tingkat ketelitian 3–10m dan resolusi citra 10x10m. Data lapangan digunakan untuk pembangunan model 30% dan uji akurasi 70%. Metode *non destructive* digunakan untuk pengukuran DBH (*Diameter Breast Height*) 1,3 m dan diameter pohon >5cm. Parameter yang diukur adalah keliling pohon dan nama spesies pohon.

Plot yang digunakan adalah metode transek plot garis dimana transek sepanjang 100m. Plot digunakan untuk mengukur diameter pohon >5cm. Ukuran plot yang digunakan dalam survei lapangan disesuaikan dengan ukuran piksel pada citra yaitu 10mx10m. Bentuk plot yang digunakan adalah plot bujur sangkar dan dapat dilihat pada Gambar 3. Jumlah total sampel yang diambil sebanyak 46 plot mewakili luas daerah mangrove. Jumlah plot menurut SNI pengukuran stok karbon (2011) tidak menyebutkan cara perhitungan jumlah plot dan ketentuan jumlah plot. Namun, disyaratkan jumlah plot dapat mewakili dalam seluruh area lokasi penelitian.



Gambar 3. Bentuk dan Ukuran Plot

2.6 Pengolahan Nilai Karbon dan Nilai Backscatter

a. Pengolahan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan menggunakan metode *purposive sampling*. Pengolahan data lapangan digunakan untuk mencari nilai stok karbon di atas permukaan pada setiap masing – masing plot sampel. Perhitungan biomassa total dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Alometrik

Jenis Spesies	Model Alometrik	ρ	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,251 * \rho * D^{2,46}$	1,05	Komiyama <i>et al.</i> , 2005
<i>Ceriops tagal</i>	$B = 0,251 * \rho * D^{2,46}$	0,97	Komiyama <i>et al.</i> , 2005
<i>Lumnitzera racemosa</i>	$B = 0,251 * \rho * D^{2,46}$	0,88	Komiyama <i>et al.</i> , 2005

Keterangan: B = Biomassa (kg); D = *Diameter at breast height* (cm); ρ = *wood density* (gr/cm²)

Berdasarkan nilai total biomassa yang sudah dihitung menggunakan persamaan allometrik, selanjutnya menghitung stok karbon dalam bahan organik biasanya sekitar 47 %. Adapun persamaan untuk menghitung konsentrasi karbon adalah sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2011):

$$C = B \times \% C \text{ organik} \quad (2)$$

Keterangan:

C = kandungan karbon dari biomassa

B = biomassa total

%C organik = nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47

b. Ekstraksi Nilai Hamburan Balik (*Backscatter*)

Ekstraksi nilai *backscatter* citra menggunakan metode *sigma nought* dalam satuan desibel (dB). Adapun persamaan untuk metode *sigma nought* adalah sebagai berikut (Miranda dan Meadows, 2015):

$$\sigma^{\circ} [dB] = 10 * \log_{10} \left(\frac{DN^2}{A_{in}^2} \sin(\alpha) \right) \quad (3)$$

Keterangan:

σ° = nilai *backscatter Sigma Nought*

α = *Incidence Angle*

A = amplitudo

DN = *Digital Number*

c. Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya hubungan antara dua variabel yang dinyatakan dalam koefisien korelasi (r) yaitu antara nilai *backscatter* polarisasi VH dengan nilai karbon di lapangan. Analisis korelasi yang digunakan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 11.5 dimana pengambilan keputusan dalam analisis korelasi yaitu jika nilai signifikansi <0,05 maka terdapat korelasi, sebaliknya jika nilai signifikansi >0,05 maka tidak terdapat korelasi. Berdasarkan analisis korelasi ini dibangun model persamaan penduga karbon dimana X sebagai variabel bebas yaitu nilai *backscatter* dan Y sebagai variabel terikat yaitu nilai karbon lapangan.

2.7 Pengolahan Karbon Di Atas Perukaan Tanah

Pengolahan karbon diatas permukaan dilakukan menggunakan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh dari variabel terikat terhadap variabel bebas. Analisis ini digunakan untuk mengetahui nilai cadangan karbon pada citra berdasarkan data hasil pengukuran lapangan dan nilai *backscatter* untuk menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2). Nilai koefisien determinasi terendah digunakan untuk membangun model terbaik dalam pendugaan nilai karbon. Adapun persamaan untuk analisis regresi adalah sebagai berikut:

$$y = f(x) \quad ,(4)$$

Keterangan:

y = variabel terikat yang diprediksi (cadangan karbon)

x = variabel bebas (nilai *backscatter*)

2.8 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui keakuratan model hasil estimasi nilai cadangan karbon diatas permukaan dengan nilai cadangan karbon di lapangan. Uji akurasi yang digunakan adalah uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Uji RMSE menggambarkan selisih dari nilai-nilai hasil pengamatan terhadap hasil sebenarnya. Nilai RMSE yang semakin kecil dapat diketahui bahwa model tersebut memiliki kesalahan kecil, sedangkan jika nilai RMSE besar maka model tersebut memiliki kesalahan yang besar. Adapun persamaan untuk menghitung nilai RMSE adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (5)$$

Keterangan:

Xobs = nilai cadangan karbon di lapangan pada data ke-i

Xmodel = nilai cadangan karbon hasil estimasi pada data ke-i

n = jumlah data

2.9 Uji T Berpasangan

Uji T berpasangan (*paired sample T-test*) dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS untuk mengetahui perbedaan data tidak bebas dari rata – rata dua sampel yang berhubungan atau berpasangan yaitu nilai karbon berdasarkan data lapangan dan nilai karbon hasil dari perhitungan model. Hipotesis uji T berpasangan yaitu jika nilai sig. (*1-tailed*) <0,05 maka terdapat perbedaan signifikan antara dua variabel yang digunakan (tolak H0), apabila nilai sig (*1-tailed*) >0,05 maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara dua variabel yang digunakan (terima H0).

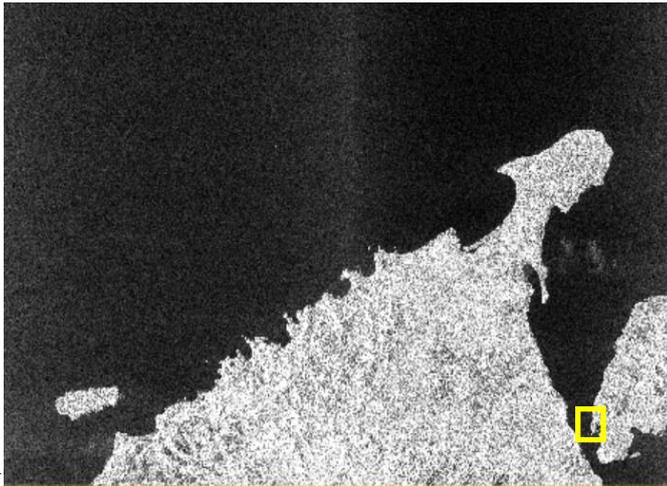
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kondisi Umum Hutan Mangrove Karang Sewu

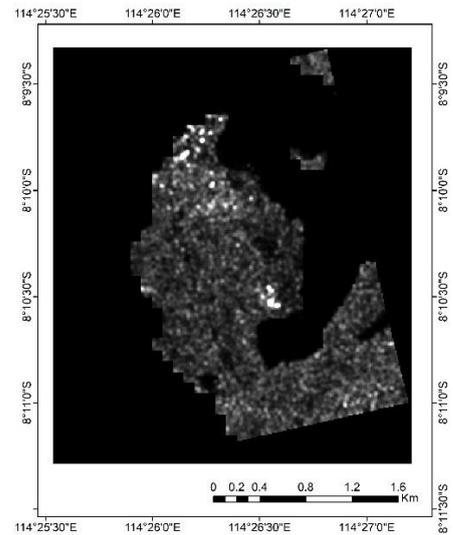
Hasil dari pengambilan data lapangan di kawasan TNBB di hutan mangrove Karang Sewu yang telah diidentifikasi ditemukan tiga jenis mangrove dari 46 plot yaitu *Ceriops tagal*, *Rhizophora apiculata* dan *Lumnitzera racemosa* dengan jumlah minimum 20 pohon dan jumlah maksimum 82 pohon dalam satu plot. Identifikasi dilakukan dengan melihat akar, daun, bunga dan buah pada pohon mangrove.

3.2. Pengolahan Citra

Hasil citra Sentinel-1A sebelum dan sesudah pengolahan citra ditampilkan pada Gambar 4.



(a)



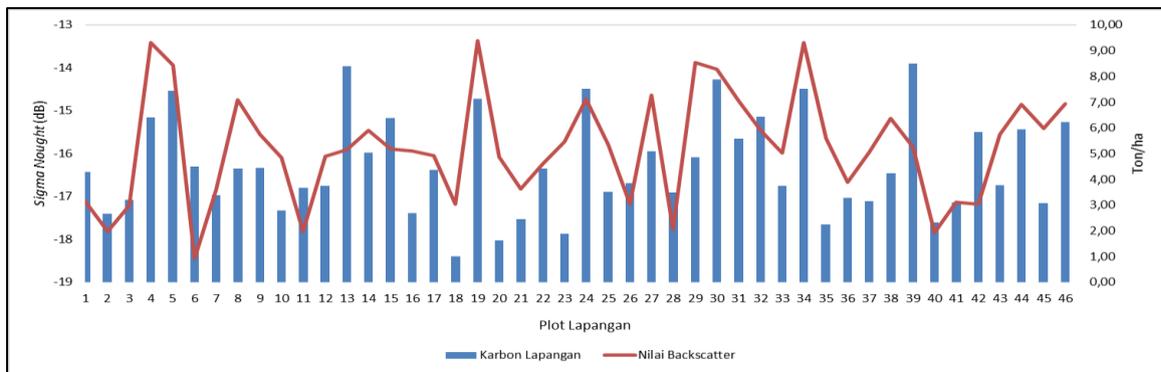
(b)

Gambar 4. Hasil citra Sentinel-1A sebelum (a) dan sesudah (b) pengolahan citra

3.3. Nilai Karbon Lapangan dan estimasi dari Nilai Backscatter SAR

Nilai *backscatter* dari citra Sentinel-1A diolah menggunakan metode sigma nought dalam satuan desibel (dB) dengan polarisasi VH. Nilai *backscatter* polarisasi VH tertinggi adalah -13,36 pada plot 19 dan nilai *backscatter* terendah yaitu -18,45 pada plot 6. Nilai *backscatter* yang bervariasi dikarenakan

adanya faktor internal dan eksternal objek yang dapat memengaruhi nilai. Faktor internal seperti air dan faktor eksternal misalkan ukuran, geometri, dan orientasi daun, batang, cabang, serta akar tunjang dapat memengaruhi mekanisme signal tersebut dihamburkan (Kuenzer dkk., 2011). Hasil nilai karbon lapangan dan nilai *backscatter* (dB) dapat dilihat pada Gambar 5.

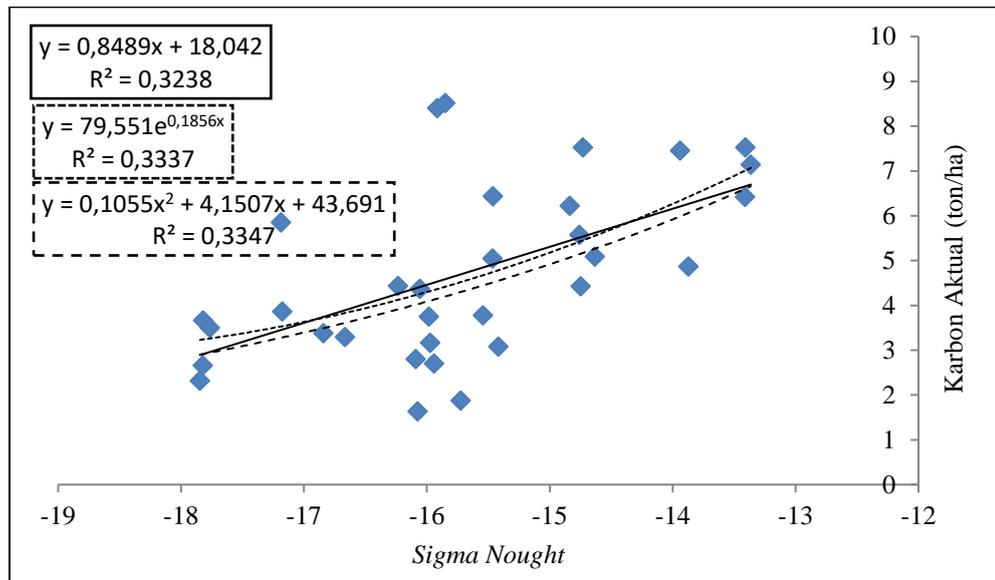


Gambar 5. Nilai Karbon Lapangan dan Nilai *Backscatter* (dB)

Hasil model penduga karbon pada Gambar 6. menunjukkan kisaran nilai koefisien determinasi (R^2) antara 0,3238 – 0,3347. Penentuan model terbaik dilakukan dengan menggunakan pertimbangan nilai determinasi (R^2) yaitu $0 \leq R^2 \leq 1$. Model pendugaan karbon dari analisis regresi menggunakan model linear, eksponensial dan polynomial. Model linear adalah memiliki fungsi $y = 0,8489x + 18,042$ dengan nilai R^2 sebesar 0,3238, model eksponensial memiliki fungsi $y = 79,551e0,1856x$ dengan nilai R^2 sebesar 0,3079, dan model polynomial memiliki fungsi $y = 0,1055x^2 + 4,1507x + 43,691$ dengan nilai R^2 sebesar 0,3347. Model terbaik yang dipilih untuk pendugaan karbon adalah model polynomial karena nilai koefisien determinasi (R^2) lebih tinggi dibandingkan model lainnya. Nilai R^2 tertinggi digunakan dalam penyusunan model penduga karbon karena semakin tinggi nilai R^2 dapat menunjukkan adanya kemampuan nilai variabel terikat terhadap variabel bebas untuk memprediksi nilai karbon dari nilai *backscatter*. Model polynomial memiliki

fungsi $y = 0,1055x^2 + 4,1507x + 43,691$ dengan nilai R^2 sebesar 0,3347, nilai R^2 tersebut menunjukkan bahwa sebesar 33,47% nilai *backscatter* polarisasi VH mampu memprediksi nilai karbon. Nilai R^2 yang didapatkan tidak terlalu tinggi diduga karena adanya kesalahan yang diperoleh dari akurasi GPS.

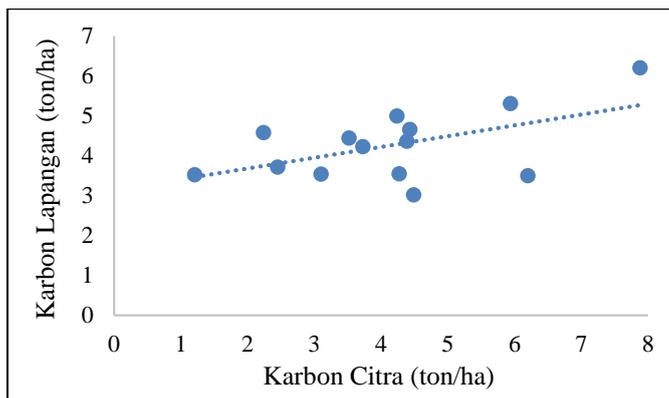
Hubungan antara nilai karbon lapangan dan nilai *backscatter* dilakukan analisis statistik menggunakan uji korelasi, dimana tinggi rendahnya nilai karbon lapangan dipengaruhi oleh nilai *backscatter*. Uji korelasi menggunakan variabel bebas (nilai *backscatter*) dan variabel terikat (nilai karbon lapangan) mendapatkan nilai koefisien korelasi (r) 0,56 dimana dapat diketahui bahwa terdapat hubungan yang nyata karena nilai signifikansi $<0,05$. Uji korelasi merupakan hal penting untuk analisis statistik karena berpengaruh pada nilai akurasi.



Gambar 6. Model Pendugaan Karbon

3.4. Uji Akurasi

Uji akurasi pendugaan karbon menggunakan 30% dari jumlah keseluruhan plot di lapangan. Jumlah keseluruhan plot dilapangan yaitu 46 plot, maka 14 plot digunakan untuk uji akurasi dalam mengestimasi karbon citra. Uji akurasi estimasi karbon citra Sentinel-1A menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) dengan melihat nilai tingkat error hasil estimasi karbon pada citra. Uji akurasi pada karbon diatas permukaan tanah citra Sentinel-1A polarisasi VH metode sigma nought menggunakan model polynomial, karena nilai R^2 terbesar yang dipilih untuk digunakan dalam pendugaan karbon citra. Hasil validasi model nilai estimasi karbon lapangan dan karbon citra dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai tingkat error estimasi karbon citra pada penelitian ini yaitu 0,7 dan nilai koefisien korelasi (r) 0,56.



Gambar 7. Hasil Validasi Model

3.5. Uji T Berpasangan

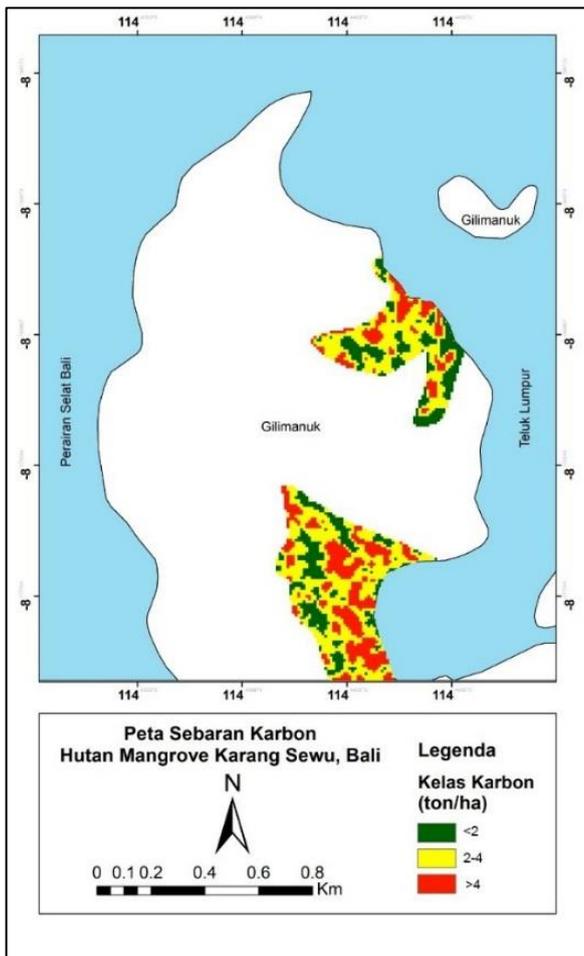
Hasil uji T berpasangan mendapatkan nilai sig. (*1-tailed*) yaitu 0,776, dimana nilai sig. (*1-tailed*) > 0,05 yaitu tidak terdapat perbedaan signifikan antara nilai karbon lapangan dengan nilai karbon hasil model.

3.6. Peta Karbon

Penelitian oleh Munthe (2020) yang dilakukan di Hutan Mangrove Suaka Margasatwakerang Gading dan Langkat Timur Laut menggunakan Citra Sentinel-1 mendapatkan hasil nilai

karbon berkisar antara 45,02 ton/ha sampai 222,16 ton/ha dan penelitian oleh Mahasani *et al.* (2021) menggunakan Citra ALOS-2 PALSAR-2 mendapatkan hasil karbon di Hutan Mangrove Teluk Benoa sebesar 171,193.67 Mg. Nilai karbon di Hutan Mangrove Karang Sewu, Bali sebesar 59,85 ton/ha. Nilai kandungan karbon tertinggi pada plot 30 dengan jenis *Rhizophora apiculata* sebanyak 66 pohon dengan rata-rata diameter batang 29,24cm yaitu 6,21 ton/ha dan terendah pada plot 6 dengan jenis *Lumnitzera racemosa* sebanyak 76 pohon dengan rata-rata diameter batang 22,02cm yaitu 3,02 ton/ha, dimana tinggi atau rendah nilai karbon dapat dipengaruhi oleh besar diameter pohon, karena semakin besar diameter pohon maka semakin besar biomassa pohon tersebut dan besar biomassa memengaruhi besarnya cadangan karbon (Hanafi dan Bernardianto, 2012).

Peta sebaran karbon menggunakan model polynomial dengan nilai R^2 sebesar 0,3347. Hasil peta sebaran karbon di Hutan Mangrove Karang Sewu, Bali dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas rendah <2 ton/ha, sedang 2–4 ton/ha, dan tinggi >4 ton/ha yang dapat dilihat pada Gambar 7. Penelitian oleh Hermayani (2018) yang dilakukan di Hutan Mangrove Pulau Kemujan, Taman Nasional Karimunjawa mendapatkan nilai karbon kelas rendah berkisar antara 0,05–2,08 ton/ha, kelas sedang berkisar 2,09–4,12 ton/ha, dan kelas tinggi berkisar 4,13–6,16 ton/ha. Perbedaan nilai kelas karbon dapat dipengaruhi oleh kondisi dan jenis mangrove pada lokasi penelitian.



Gambar 7. Peta Sebaran Karbon Hutan Mangrove Karang Sewu, Bali

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil uji akurasi estimasi stok karbon didapatkan dengan pemilihan model terbaik untuk membangun model penduga cadangan karbon melalui analisis regresi, dimana model terpilih adalah model polinomial kuadratik yaitu $y = 0,1055x^2 + 4,1507x + 43,691$ dengan nilai R^2 sebesar 0,3347. Model polinomial dilakukan uji akurasi *Root Mean Square Error* (RMSE) dan hasil tingkat error adalah 0,7 ton/ha. Berdasarkan nilai RMSE tersebut dapat disimpulkan bahwa selisih hasil karbon lapangan dengan hasil karbon citra relatif kecil dan secara statistik tidak ada perbedaan yang nyata antara pengukuran di lapangan dengan hasil estimasi dengan citra Sentinel-1A.
2. Hasil total estimasi stok karbon diatas permukaan menggunakan citra Sentinel-1A polarisasi VH dengan metode sigma nought adalah 59,85 ton/ha. Nilai kandungan karbon yang tinggi atau rendah dapat dipengaruhi oleh besarnya diameter pohon mangrove.

Daftar Pustaka

Arief M, Anggraini N, Adawiah SW, Hartuti M, Suwargana N. 2017. Aplikasi Data Satelit Radar Sentinel-1A Guna Deteksi Hutan Mangrove (Studi Kasus: Segara Anakan, Kabupaten Cilacap). Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4. 278-281.

Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 7724 - Pengukuran dan Penghitungan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran

Cadangan Karbon Hutan (*Ground Based Fores Carbon Accounting*).

- Bayanuddin AA, Anna AN. 2016. Pendugaan Cadangan Karbon di atas Permukaan pada Hutan Rakyat dengan Memanfaatkan Data Synthetic Aperture Radar Sentinel-1 (Studi Kasus di Kabupaten Sukoharjo) [Skripsi]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta: 19.
- Candra ED, Hartono, Wicaksono P. 2016. Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove menggunakan Citra WorldView-2 di Teluk Benoa Bali. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- [ESA] 2013. *Sentinel-1 User Handbook*. Paris (FR): ESA Standart Document. 80 hal. ESA Special Publication.
- Hanafi N, Bernardianto RB. 2012. Pendugaan Cadangan Karbon Pada Sistem Penggunaan Lahan di Areal PT. Sikatan Wana Raya. Media Sains. Volume 4 No 2.
- Harry T. Antono, M. Lutfi dan Retno Damayanti. 2013. Estimasi Biomassa Vegetasi Hutan Sekunder Dan Areal Reklamasi Menggunakan Teknologi Inderaja Dan Sistem Informasi Geografi (SIG). Bandung: Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Hastuti AM, Suniada KI, Islamy F. 2017. Carbon Stock Estimation Of Mangrove Vegetation Using Remote Sensing In Perancak Estuary, Jembrana District, Bali. Bali: Institute for Marine Research and Observation.
- Huang X, Ziniti B, Torbick N, Ducey MJ. 2018. Assessment of Forest Above Ground Biomass Estimation Using Multi-Temporal C-band Sentinel-1 and Polarimetric L-band PALSAR-2 Data. *Remote Sens*, 10 (1424): 1-15.
- Hermayani, Rima. 2018. Analisis Citra Sentinel-1A Untuk Estimasi Stok Karbon Diatas Permukaan (*Above Ground Carbon*) Hutan Mangrove Pulau Kemujaan, Taman Nasional Karimunjawa. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hudaya Y. 2013. Pemanfaatan Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar untuk Estimasi Potensi Cadangan Karbon Hutan di Atas Permukaan pada Ekosistem Mangrove: Kasus di Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat dalam konteks perubahan iklim. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Husna VN, Siregar VP, Agus SB, Arifin T. 2019. Estimasi Cadangan Karbon Biomassa di atas Permukaan pada Tegakan Mangrove Menggunakan Penginderaan Jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan. *JPSL* Vol. 9 (2): 456 - 466.
- Komiyama A, Pounpam S, Kato S. 2005. Common Allometric Equations for Estimating The Tree Weight of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, Vol. 21 (4): 471 - 477.
- Kuenzer C., Bluemel A., Gebhardt S., Quoc V., T., dan Dech S. 2011. Remote Sensing of Mangrove Ecosystems: A Review. *Remote Sens*, 3(5), 878-928, doi:10.3390/rs3050878.
- Liu K, Wang JD, Zeng WS, Song JL. 2017. *Comparison and Evaluation of Three Methods for Estimating Forest Above Ground Biomass using TM and GLAS Data*. China: Beijing Normal University.
- Mahasani I, IGA., Osawa T., I Wayan Sandi Adnyana. 2020. Estimation And Mapping Of Above Ground Biomass Of Mangrove Forest Using Alos-2 Palsar-2 Im Benoa Bay, Bali, Indonesia. Bali: Udayana University.
- Mitchell, A.L., Tapley, I., Milne, A.K.M Williams, M., Lowell, K. 2012. Radar Processing Methodologies for the Generation of Wall-to-wall Mosaics. CRC for Spatial Information.
- Miranda N, Meadows PJ. 2015. *Radiometric Calibration of S-1 Level-1 Products Generated by the S-1 IPF*. France: European Space Agency.
- Munthe CR. 2020. Aplikasi Citria Satelit Radar Sentinel-1 Untuk Estimasi Stok Karbon Di Atas Permukaan Tanah (Studi Kasus Di Suaka Margasatwa Karang Gading Dan Langkat Timur Laut). Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Murdiyarto D, Purbopuspito J, Kauffman JB, Warren M, Sasmito S, Donato D, Kurnianto S. 2015. The Potential of Indonesian Mangrove Forests for Global Climate Change Mitigation. Bogor: IPB.
- Noor YR., Khazali M, dan Suryadiputra INN. 2006. Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia. PHKA/WI-IP, Bogor.
- Purwanto RS, Rohman, Ahmad M, Teguh Y, Dwiko BP, Makmun S. 2012. Potensi Biomassa Dan Simpanan Karbon Jenis-Jenis Tanaman Berkayu Di Hutan Rakyat Desa Ngalanggeran, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan.
- Rani S, Murtafiah, Zakiyah N, Bernadi AI. 2019. Motif Awan (*Tourism Participative Model*) As an Evergreen Forest Conservation Solution in Bali Barat National Park. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Rizki GM, Bintoro A, Hilmanto R. 2016. Perbandingan Emisi Karbon Dengan Karbon Tersimpan Di Hutan Rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari* Vol. 4 No. 1: (89—96).

- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon. Bogor.
- Simarmata N, Hartono SHM. 2014. Karakteristik Backscatter Citra Alos Palsar Polarisasi HH dan HV Terhadap Parameter Biofisik Hutan di Sebagian Taman Nasional Kerinci Seblat. *Journal of Science and Applicative Technology*. 115-119.
- Widyasari NAE, Saharjo BH, Solichin, Istomo. 2010. Pendugaan Biomassa dan Potensi Karbon Terikat di atas Permukaan Tanah pada Hutan Rawa Gambut Bekas Terbakar di Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* Vol. 15 (1): 41-49.