

ANALISIS PREDIKSI NILAI BIOMASSA ATAS PERMUKAAN (*ABOVEGROUND BIOMASS*) POHON KARET MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-1A TERHADAP USIA TEGAKAN

Galih Pratiwi¹, Bandi Sasmito¹, Nurhadi Bashit¹

¹Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang-75123 Telp./Faks: (024) 736834, e-mail:
galih.pratiwi117@gmail.com

(Diterima 19 Juni 2021, Disetujui 15 September 2021)

ABSTRAK

Jumlah cadangan karbon dapat diketahui berdasarkan nilai biomassa hutan yang ada didalamnya sehingga diperlukan informasi alokasi biomassa setiap bagian pohon agar membantu program pemantauan cadangan karbon hutan, diantaranya informasi biomassa atas permukaan. Biomassa atas permukaan memiliki kontribusi paling besar dari biomassa total, hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan usia suatu pohon memiliki pengaruh terhadap nilai biomassa yang dihasilkan. Perhitungan nilai biomassa yang akurat hanya dilakukan dengan metode destruktif atau non-destruktif sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menghitung nilai biomassa dalam cakupan yang luas sehingga penggunaan metode penginderaan jauh dan pemodelan merupakan langkah yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi nilai biomassa atas permukaan (*Above Ground Biomass* atau AGB) pohon karet berdasarkan usia tegakan pohon menggunakan metode *Multivariate Linear Regression* (MLR). Berdasarkan hasil pengolahan bahwa usia memiliki hubungan dengan nilai biomassa atas permukaan ditunjukkan nilai $R^2 = 0,694$. Hasil pemodelan antara backscatter VH dan VV Sentinel-1A dengan biomassa lapangan didapatkan persamaan $Y = 20,034 * VH + 15,308 * VV + 523,305$ ($R^2 = 0,592$). Hasil total prediksi nilai biomassa atas permukaan kebun karet Afdelling Setro sebesar 84.158,840 ton dengan luas 702 ha.

Kata kunci : Biomassa, Usia, MLR, Karet, Sentinel-1A

ABSTRACT

The amount of carbon stock can be known based on the value of forest biomass in it, so information on the allocation of biomass for each part of the tree is needed to assist the monitoring program for forest carbon stocks, including information on above-ground biomass. Above ground biomass has the largest contribution of total biomass, this indicates that the age growth of a tree has an influence on the value of the resulting biomass. Accurate calculation of biomass value is only by destructive or non-destructive methods so that it takes a long time to calculate biomass values in a wide range so that the use of remote sensing and modeling methods is the right step. This study aims to predict the aboveground biomass (AGB) value of rubber trees based on the age of the tree stands using the *Multivariate Linear Regression* (MLR) method. Based on the results of processing that age has a relationship with the value of biomass above the surface, it is shown that the value of $R^2 = 0,694$. The results of the modeling between the backscatter VH and VV Sentinel-1A with field biomass obtained the equation $Y = 20,034 * VH + 15,308 * VV + 523,305$ ($R^2 = 0,592$). The total predicted value of biomass on the surface of the Afdelling Setro rubber plantation is 84,158.840 tons with an area of 702 ha.

Keywords : Biomass. Age, MLR, Rubber, Sentinel-1A

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim (*climate change*) merupakan salah satu masalah terbesar yang mengancam umat manusia di seluruh dunia sehingga masalah ini sangat penting untuk diatasi. Salah satu kontributor utama terhadap fenomena ini adalah peningkatan gas karbon dioksida (CO_2) di atmosfer akibat aktivitas manusia (NASA, 2020). Hutan memiliki peranan penting dalam mengurangi kadar karbon dioksida (CO_2), namun hutan yang ada di bumi terus menerus

berkurang peranannya. Hutan diperkirakan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 17,4 % sehingga pengelolaan mitigasi disektor ini perlu diperhatikan (FAO, 2004). Praktik pengembalian fungsi hutan menjadi lahan agroforestri merupakan langkah strategis dalam mengurangi emisi karbon yang ada di atmosfer.

Kapasitas serapan karbon yang dimiliki suatu hutan dapat diketahui dari nilai biomassa yang ada di dalamnya sehingga diperlukan informasi alokasi biomassa setiap bagian pohon untuk

memper memudahkan program pemantauan cadangan karbon. Komponen biomassa terbesar terletak pada biomassa atas permukaan dengan kontribusi rata – rata 80 % dari biomassa total. Hal ini menunjukkan bahwa seiring perkembangan tegakan pohon juga mengakibatkan biomassa di dalamnya semakin meningkat juga.

Namun, perlu adanya metode perhitungan biomassa hutan yang efektif dan cakupan wilayahnya juga luas. Perhitungan biomassa hutan yang akurat hanya dapat dilakukan dengan metode *destructive* dan *non-destructive* tetapi metode tersebut memiliki kelemahan yaitu cakupan wilayahnya kecil dan membutuhkan waktu yang lama sehingga para ilmuwan menemukan pendekatan metode penginderaan jauh dan pemodelan untuk menghitung nilai biomassa hutan dengan area yang luas.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan teknik penginderaan jauh dapat digunakan untuk prediksi biomassa yaitu citra optis, citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *Light Detection and Ranging* (LiDAR) (Avtar, 2014). Pemanfaatan metode penginderaan jauh sangat disarankan oleh para ilmuwan karena cakupan area yang luas dan tak terbatas seperti data SAR yang dapat menembus awan. Struktur vegetasi dan distribusi biomassa yang ada dalam hutan memiliki efek terhadap *backscatter* radar (σ^0). Panjang gelombang SAR juga berpengaruh terhadap *backscatter* yang dihasilkan dari respon vegetasi. Semakin meningkatnya panjang gelombang maka pantulan (*scatters*) yang dihasilkan semakin dominan

Citra radar sebagian besar tidak dapat diakses dengan mudah dan berbayar terutama pada citra radar yang memiliki panjang gelombang tinggi seperti L-band pada ALOS-2, namun *European Space Agency* (ESA) menyediakan akses (*open source*) secara gratis citra radar C-band yaitu Sentinel-1A untuk para ilmuwan dunia dalam mengaplikasikan citra radar tersebut sebagai pemecahan masalah yang ada seperti halnya prediksi biomassa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan memanfaatkan kemampuan *backscatter* Sentinel-1A untuk memprediksi biomassa atas permukaan pohon karet berdasarkan usia tegakan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biomassa Atas Permukaan

Komponen biomassa hutan terdiri atas biomassa atas permukaan (*aboveground biomass* atau AGB), biomassa bawah permukaan (*belowground biomass* atau BGB), bahan organik mati, dan karbon organik tanah (EPA, 2018). Biomassa atas permukaan terdiri atas pepohonan

dan tumbuhan yang tumbuh diatas tanah (batang, cabang, kulit kayu dan daun). Tahap perkembangan pohon mempengaruhi distribusi biomassa dari bagian – bagiannya, ditunjukkan dengan perubahan biomassa pada setiap diameter pohon. Biomassa diatas permukaan memiliki kontribusi paling besar dari biomassa total dibandingkan dengan biomassa bawah permukaan dan alokasi biomassa lebih banyak terdapat diatas bagian tanah. Kontribusi biomassa setiap bagian pohon menunjukkan perbedaan satu sama lain (Yusuf, 2014). Distribusi biomassa atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass/ AGB*) sebesar 80,1% dengan kontribusi rata – rata dari batang, cabang, daun, dan tangkai masing – masing sebesar 55,5%; 17,4%; 4,9%; 2,4% sehingga seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan suatu pohon, batang selalu memiliki proporsi biomassa paling besar pada setiap diameter.

2.2 Metode Perhitungan Biomassa

Perhitungan biomassa dibedakan menjadi 4 metode yaitu dengan pemanenan (*destructive*) secara *in situ*, tanpa pemanenan (*non-destructive*) dengan data pendataan hutan secara *in situ* dan dihitung dengan persamaan alometrik, prediksi melalui penginderaan jauh (*remote sensing*), pembuatan model. Metode *destructive* dan *non-destructive* memiliki kelemahan yaitu cakupan area kecil, biaya yang dibutuhkan mahal, dan membutuhkan waktu yang lama sehingga para ilmuwan mengembangkan metode penginderaan jauh dan pemodelan. Metode ini relatif digunakan untuk area yang lebih luas (Lu,2005 dalam Syarif,2011).

2.3 Persamaan Alometrik

Studi biomassa hutan, persamaan alometrik digunakan untuk mengetahui korelasi antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan. Prediksi nilai biomassa tanaman karet menggunakan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Kongrattanachok, 2005.

$$\text{Log}[\text{biomassa batang (kg)}] = 0,866 \log D^2H - 1,255; \\ r^2 = 0,991 \quad (1)$$

$$\text{Log}[\text{biomassa cabang (kg)}] = 1,140 \log D^2H - 2,657; \\ r^2 = 0,878 \quad (2)$$

$$\text{Log}[\text{biomassa daun (kg)}] = 0,741 \log D^2H - 1,654; \\ r^2 = 0,922 \quad (3)$$

Keterangan :

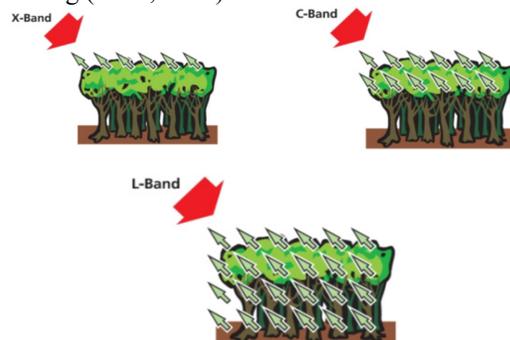
H yaitu tinggi pohon, D yaitu *diameter breast height* (DBH), dan r^2 yaitu koefisien determinan.

Total Biomassa Atas Permukaan (AGB) adalah jumlah dari biomassa batang, biomassa cabang, dan biomassa daun.

2.4 Interaksi Sinyal Radar dengan Vegetasi

Sinyal radar memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan kanopi vegetasi, sehingga sinyal dipantulkan kembali yang tidak dapat diindikasikan sebagai nilai cadangan karbon tetapi diturunkan berdasarkan parameter biofisik vegetasi. Hal ini sangat berkaitan dengan parameter biofisik vegetasi seperti daun, batang, cabang, dan lain - lain. Penggunaan panjang gelombang radar tergantung dari aplikasinya terutama karena memiliki kemampuan penetrasi yang berbeda – beda pada obyek tertentu. Satelit memancarkan panjang gelombang berukuran rata – rata terhadap komponen vegetasi sehingga menyebabkan *volume scattering* sangat kuat dan jika kanopi tumbuhan lebat dan rapat maka hamburan balik dari vegetasi akan sangat kuat.

Kemampuan gelombang SAR dalam berinteraksi dengan bagian – bagian vegetasi seperti X-band sensitif hanya sampai bagian daun dan ranting, C-band sensitif hanya bagian daun dan cabang kecil, L-band sensitif hanya sampai bagian cabang, P-band sampai ke bagian cabang dan batang (Toan, 2001).



Gambar 1. Interaksi panjang gelombang radar dengan vegetasi

2.4 Polarisasi Radar

Polarisasi merupakan arah medan listrik dalam gelombang elektromagnetik. Polarisasi digambarkan tegak lurus dalam basis horizontal (H) dan vertikal (V) oleh vektor medan elektrik. Polarisasi gelombang radar memiliki respon yang

berbeda terhadap biomassa vegetasi. Polarisasi silang (HV/VV) memiliki kemampuan yang berbeda saat mengenai obyek yakni terjadi *volume scattering* dalam struktur vegetasi dibandingkan polarisasi sejajar (HH/VV). Penelitian Toan (2002) memanfaatkan beberapa polarisasi dalam citra radar untuk mengetahui tingkat hubungan antara *backscatter* radar dari berbagai panjang gelombang dengan biomassa tegakan pohon dan ditemukan bahwasanya hubungan keduanya memiliki tingkat kejenuhan yang berbeda- beda.

2.5 Citra Sentinel-1A

Misi citra Sentinel -1A terdiri dari konstelasi dua satelit yang mengorbit di luar angkasa, dapat beroperasi di siang maupun dimalam hari. Sentinel-1A memiliki gelombang C-band citra SAR dan mampu melakukan perekaman di segala cuaca. Sentinel-1A memiliki tipe dual polarisasi VV dan VH. Sentinel-1 memiliki empat mode operasional yaitu Mode Strip Map (*Strip Map* atau SM), Mode Interferometric Wide Swath (*Interferometric Wide Swath* atau IW), Mode *Extra Wide Swath* (*Extra Wide Swath* atau EW), dan *wave mode*. Tipe produk level-1 pada Sentinel-1 yaitu *Ground Range Detected* (GRD) dan *Single Look Complex* (SLC). Penggunaan produk level 1 GRD digunakan untuk analisis tutupan lahan maupun kerapatan vegetasi.

Keunggulan citra SAR Sentinel-1A ini adalah memiliki kemampuan sinyal dalam melakukan penetrasi terhadap struktur vegetasi dan distribusi biomassa yang ada dalam hutan, meskipun memiliki panjang gelombang yang rendah tetapi gelombang C-band mampu mendeteksi biomassa rendah (Toan, 2001). Citra SAR Sentinel-1A dapat beroperasi siang dan malam serta tidak berpengaruh terhadap kondisi cuaca. Selain itu, Citra Sentinel-1A ini disediakan oleh *European Space Agency* (ESA) dapat diakses oleh siapapun dan gratis sehingga para ilmuwan seringkali memanfaatkan citra ini untuk kajian penelitian (ESA, 2021).

2.6 Multivariate Linear Regression (MLR)

Multivariate linier regression atau dikenal dengan persamaan linier berganda merupakan hubungan antara satu variabel dependen dengan dua atau lebih variabel independen. MLR menganalisis seberapa besar pengaruh suatu variabel (variabel bebas) terhadap variabel lainnya (variabel terikat) (Prima, 2015). Persamaan umum *multivariate linier regression* (MLR).

$$Y = a + a_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (4)$$

Keterangan:

Y : variabel dependen atau tak bebas

X_1, X_2, X_n : variabel independen atau variabel bebas

A : konstanta

b_1, b_2, b_n : koefisien regresi

2.7 Simple Linear Regression

Simple linier regression merupakan hubungan antara satu variabel dependen dengan satu variabel independen. Analisis regresi linier menentukan kekuatan hubungan antara variabel bebas (X) dan variabel terikat (Y). Berikut ini persamaan umum regresi linier sederhana (Subandriyo, 2020):

$$Y = a + bX \quad (5)$$

Keterangan:

Y : variabel dependen yang diprediksi

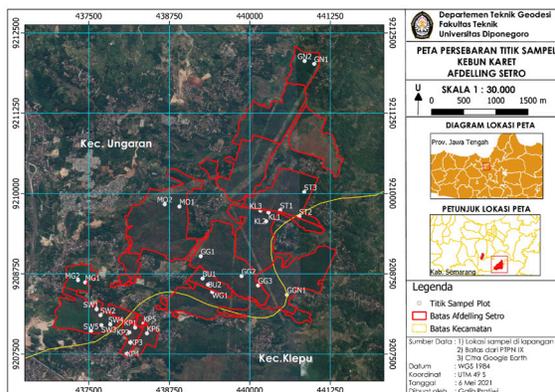
a : konstanta

b : koefisien regresi

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Area studi penelitian adalah area perkebunan yang dikelola oleh PT. Perkebunan Nusantara IX (PTPN IX) Afdelling Setro, Kebun Ngobo yaitu di Desa Wringin Putih, Kecamatan Bergas, Kab. Semarang, Jawa Tengah. Lokasi secara geografis terletak pada $7^{\circ}10'$ hingga $7^{\circ}12'$ LS dan $110^{\circ} 21'$ hingga $110^{\circ}29'$ BT.



Gambar 2. Lokasi wilayah penelitian

3.2 Tahapan Persiapan

Tahap ini dilakukan studi literatur dan survei lapangan. studi literatur yang berkaitan dengan biomassa atas permukaan, metode perhitungan, dan pemanfaatan *backscatter* radar untuk prediksi biomassa. Survei lapangan dilakukan berkaitan dengan kondisi topografi kebun, struktur vegetasi pohon karet yang ada di Lapangan.

3.3 Tahapan Pengumpulan Data Lapangan

Tahapan pengumpulan data lapangan terdiri dari pembuatan sampel plot di lapangan, pengukuran titik pusat plot dengan menggunakan GPS *handheld*, pengumpulan data *Diameter Breast Height* (DBH) dan tinggi pohon karet, jenis dan umur pohon, dan pengukuran jarak tanam antar pohon. Plot pengamatan biomassa di lapangan berjumlah 48 plot dengan 30 sebagai *training sample* dan 18 sebagai sampel validasi.

3.4 Tahapan Pengolahan Citra

Pengolahan data citra Sentinel-1A dengan tipe produk GRD harus melalui beberapa langkah *pre-processing* untuk mendapatkan nilai *backscatter* SAR. Standar umum *pre-processing* data Sentinel-1 Level-1 GRD menggunakan perangkat lunak *Sentinel Application Platform* (SNAP). Metode *speckle filtering* yang digunakan adalah metode Forst dengan ukuran window 5 x 5.

3.5 Tahapan Perhitungan Biomassa Atas Permukaan Lapangan

Data biofisik tanaman karet yang didapatkan dari pengukuran lapangan, digunakan sebagai prediksi biomassa bagian atas permukaan dengan menggunakan persamaan alometrik.

3.6 Tahapan Pemodelan Biomassa

Pembuatan model prediksi biomassa bagian atas permukaan dengan metode MLR. Hubungan biomassa bagian atas permukaan di lapangan dengan nilai *backscatter* citra SAR ditentukan berdasarkan hasil analisis korelasi antara keduanya pada plot yang sama. Titik – titik sampel yang dipilih pada penelitian ini untuk pembuatan model dilakukan ekstraksi nilai *backscatter* citra SAR dengan ukuran window size 5 x 5, pengaturan window size ini berfungsi untuk meminimalisir kesalahan GPS yang ada di Lapangan.

3.7 Uji Validasi

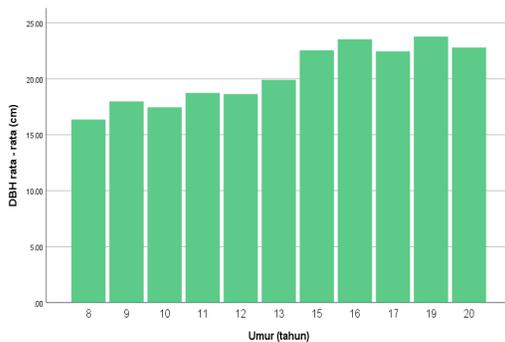
Tahapan validasi dilakukan untuk mengecek akurasi yaitu membandingkan antara model pedugaan biomassa bagian atas permukaan Sentinel-1 dengan perhitungan biomassa di lapangan. Uji validasi menggunakan metode regresi linier untuk mengetahui hubungan antara biomassa prediksi dengan biomassa di lapangan, sehingga apabila nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan semakin mendekati 1, maka keduanya memiliki korelasi kuat dan hasil biomassa dugaan mendekati nilai sebenarnya di lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengumpulan Data Lapangan

Data parameter biofisik tegakan yang didapatkan di lapangan menunjukkan bahwa kelas umur I (5 – 10 tahun) memiliki rata – rata diameter sebesar 16,620 m dan tinggi tegakan sebesar 12,307 m. Kelas umur II (11 – 15 tahun) memiliki rata – rata diameter sebesar 19,477 m dan tinggi tegakan sebesar 14,283 m sedangkan kelas umur III (16 – 20 tahun) memiliki rata – rata diameter sebesar 23,019 m dan tinggi tegakan sebesar 15,048 m.

Setiap satu plot sampel memiliki diameter yang bervariasi dan tinggi tegakan yang homogen. Oleh karena itu, berdasarkan data hitungan tersebut dapat menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kelas umur, rata – rata ukuran diameter setinggi dada dan tinggi tegakan juga meningkat.



Gambar 2. Hubungan umur pohon dengan diameter rata - rata

4.2 Hasil Biomassa Atas Permukaan di Lapangan

Biomassa atas permukaan terdiri dari biomassa batang, biomassa cabang, dan biomassa daun dihitung menggunakan persamaan alometrik. Setiap tegakan pohon memiliki satuan biomassa kilogram atau kg. Setiap sampel plot di blok umur memiliki variasi jumlah tegakan pohon yang berbeda – beda sehingga biomassa bagian atas permukaan setiap plotnya juga memiliki jumlah yang berbeda. Biomassa atas permukaan dilakukan konversi ke satuan hektar atau ha.

Tabel 1. Biomassa Atas Permukaan Setiap Plot di Lapangan

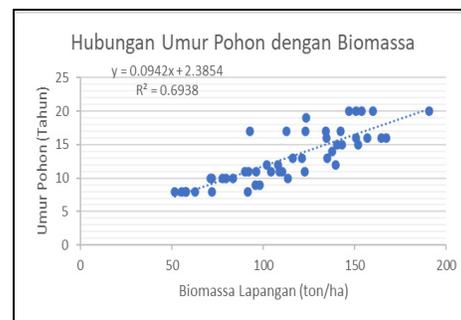
No	Kode Plot	Biomassa batang (kg)	Biomassa cabang (kg)	Biomassa daun (kg)
1	801	93,817	39,029	12,807
2	102	126,269	57,706	16,514
3	1001	85,712	34,652	11,854
4	ST3	158,846	78,061	20,097
....
48.	KL1	140,255	66,264	18,067

Nilai biomassa atas permukaan tertinggi dalam Tabel IV-5 adalah 257,004 kg/pohon (Plot ST3) terdiri atas biomassa batang sebesar 158,846 kg, biomassa cabang sebesar 78,061 kg, biomassa daun sebesar 20,097 kg. Plot ST3 terletak pada sub-wilayah kebun Ngobo dalam blok umur 16 tahun, hal ini menunjukkan semakin tinggi umur tegakan pohon semakin meningkat pula nilai biomassa.

Nilai biomassa bagian atas permukaan terendah adalah 75,239 kg/pohon (Plot 1301) terdiri atas biomassa batang sebesar 50,456 kg, biomassa cabang sebesar 17,250 kg, dan biomassa daun sebesar 7,533 kg. Plot 1301 terletak pada sub-wilayah kebun Sidorejo dalam blok umur 8 tahun, hal ini menunjukkan semakin muda usia tegakan pohon semakin menurun nilai biomassa.

4.3 Hasil Hubungan antara Umur dan Biomassa Atas Permukaan Pohon Karet

Biomassa tegakan pohon di lapangan memiliki tingkat korelasi/hubungan yang kuat dengan usia tegakan dengan nilai R^2 sebesar 0,6938 setara dengan pengaruh variabel usiar sebesar 69% dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain. Hal ini menunjukkan seiring bertambahnya usia tegakan maka nilai biomassa yang dihasilkan semakin meningkat.



Gambar 3. Hubungan umur pohon dengan Biomassa

4.4 Hasil Pemodelan Biomassa

Pemodelan menggunakan persamaan MLR menggunakan dua variabel polarisasi citra SAR Sentinel-1A VV dan VH dengan biomassa atas permukaan di Lapangan menunjukkan tingkat hubungan korelasinya kuat. Koefisien determinasi (R^2) menggunakan dua polarisasi (VH dan VV) sebesar 0,592 yang berarti bahwa pengaruh variabel bebas (VH dan VV) dengan variabel terikat (biomassa) sebesar 59 % sedangkan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain dengan nilai RSE biomassa prediksi sebesar 20,678 ton/ha.

Tabel 2. Pemodelan model MLR Karet

Variabel bebas (X)	R	R ²	P value	Sigma F
VH	0,770	0,592	0,000	0,000
VV			0,003	

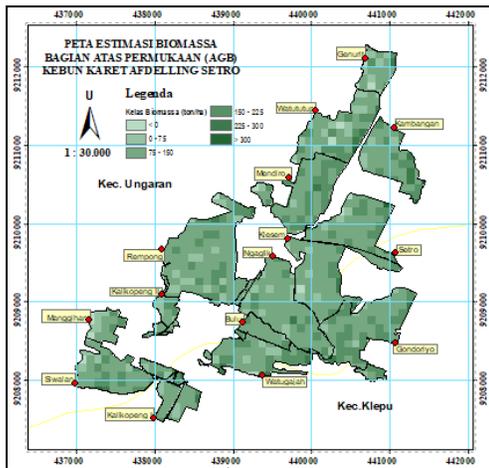
Persamaan yang terbentuk dari pemodelan MLR
 $Y = 20,034 * VH + 15,308 * VV + 523,305$ (6)

Keterangan:

Y : Biomassa Atas Permukaan

4.5 Hasil Prediksi Biomassa Atas Permukaan

Hasil prediksi biomassa dengan pemodelan menggunakan dual polarisasi Sentinel-1A di Kebun Karet Afdelling Setro, Kebun Ngobo dalam penelitian ini didapatkan biomassa atas permukaan sebesar 84.158,840 ton. Klasifikasi biomassa bagian atas permukaan dalam penelitian ini terbagi atas 6 kelas, yaitu kelas (1) Kurang dari 0 ton/ha (2) 0 – 75 ton/ha, (3) 75 – 150 ton/ha, (4) 150 – 225 ton/ha, (5) 225 – 300 ton/ha, (6) Lebih dari 300 ton/ha.



Gambar 4. Peta prediksi biomassa atas permukaan kebun karet Afdelling Setro

Presentase biomassa terbesar berdasarkan luas wilayahnya yaitu terletak pada kelas biomassa 75 – 150 ton/ha dengan luas wilayah sebesar 60,7 % dari total luas kebun karet Afdelling Setro.

Tabel 3. Luas wilayah dan presentase berdasarkan kelas biomassa

Kelas Biomassa (ton/ha)	Luas (ha)	Persentase (%)
<0	12	1,73 %
0 - 75	91	13,09 %

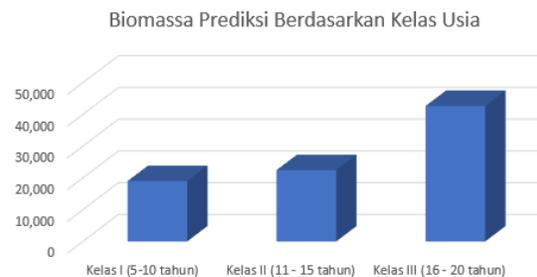
Kelas Biomassa (ton/ha)	Luas (ha)	Persentase (%)
75 - 150	422	60,72 %
150 - 225	152	21,87 %
225 - 300	16	2,30 %
>300	2	0,29 %

4.6 Hasil Prediksi Biomassa Atas Permukaan Berdasarkan Kelas Usia Tegakan

Nilai prediksi biomassa atas permukaan kebun karet Afdelling setro berdasarkan kelas usia tegakan terbesar terletak pada kelas usia III dengan rentang usia 16 – 20 tahun yaitu 42.663,84 ton dari biomassa prediksi total. Presentase nilai biomassa atas permukaan prediksi masing – masing kelas usia tegakan I, II, III adalah 22.6 %, 26.7 %, dan 50,7%. Hal ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya usia tegakan, nilai biomassa atas permukaan semakin meningkat. Meskipun, setiap blok usia memiliki nilai biomassa yang beragam.

Tabel 4. Nilai biomassa prediksi berdasarkan usia tegakan

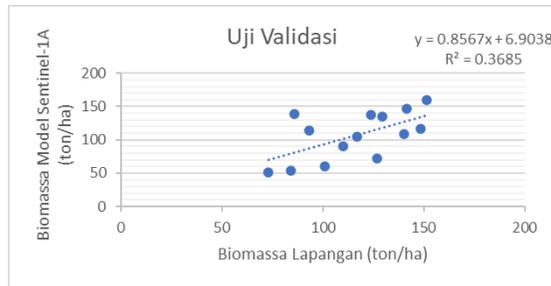
No	Kelas Usia (tahun)	Nilai Biomassa (ton)
1	Kelas I (5-10 tahun)	19.011,83
2	Kelas II (11 – 15 tahun)	22.471,80
3	Kelas III (16 – 20 tahun)	42.663,84



Gambar 5. Biomassa prediksi berdasarkan usia tegakan

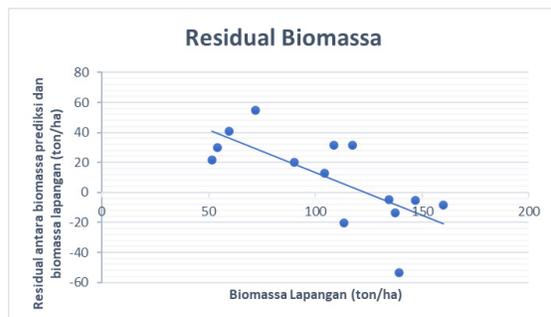
4.7 Uji Validasi

Hasil validasi dari model prediksi atas permukaan menggunakan Sentinel-1A dengan biomassa atas permukaan lapangan menunjukkan nilai $R^2 = 0,369$ setara dengan 37% dan *Root Mean Square Error* (RMSE) secara keseluruhan dari hasil validasi sebesar 29.810 ton/ha.



Gambar 6. Uji Validasi

Tingkat sensitivitas Sentinel-1A untuk prediksi biomassa atas permukaan menurun seiring meningkatnya biomassa karena tingkat kejenuhan (saturasi) sinyal SAR Sentinel-1A pada penelitian ini. Variasi kesalahan yang tinggi ditunjukkan pada daerah yang memiliki nilai biomassa atas permukaan sekitar lebih dari 100 ton/ha.



Gambar 7. Grafik plot dari residual prediksi biomassa dengan biomassa lapangan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Biomassa tegakan pohon di lapangan memiliki tingkat korelasi/hubungan yang kuat dengan usia tegakan sehingga seiring perkembangan usia pohon, nilai biomassa atas permukaan juga meningkat.
2. Pemodelan biomassa atas permukaan pohon karet dengan menggunakan nilai *backscatter* VH dan VV Sentinel-1A didapatkan ($R^2 = 0,592$) dan hasil persamaan model prediksi karet yaitu $Y = 20,034 \cdot VH + 15,308 \cdot VV + 523,305$.
3. Hasil total prediksi nilai biomassa atas permukaan kebun karet Afdelling Setro sebesar 84.158,840 ton dengan luas 702 ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT Perkebunan Nusantara IX terutama perkebunan karet Kebun Ngobo di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah yang telah mendukung kebutuhan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Avtar, R. 2014. Natural Forest Biomass Estimation Based on Plantation Information Using Palsar Data, Vol. 9, January 2014, Issue 1. PLOS ONE. www.plosone.org
- EPA. 2018. *United States Environmental Protection Agency*. <https://www.epa.gov/roe/>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2021
- ESA. 2021. *Sentinel-1*. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>. Diakses pada tanggal 21 Februari 2021
- FAO. 2004. *Strategic Framework For Forests and Climate Change*, The collaborative partnership on forests. FAO Forestry Paper
- Lu D. 2005. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. [Jurnal] *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 27 No.7 Hal. 1297-1328. dalam Syarif, R. D. 2011. Penyusunan Model Pendugaan dan Pemetaan Biomassa Permukaan pada Tegakan Jati (*Tectona grandis* Linu.F) Menggunakan Citra Alos Palsar Resolusi 50 m dan 12,5 m
- NASA. 2021. *Climate Change : How Do We Know ? Global Climate Change (Vital Signs of the Planet)*. <https://climate.nasa.gov/evidence/>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2021
- Subandriyo, B. 2020. *Analisis Korelasi dan Regresi*. Diklat Statistisi Tingkat Ahli BPS Angkatan XXI
- Sutaryo, D. 2009. *Perhitungan Biomassa : Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme
- Toan, T, L., Picard, G., Martinez, J, M., Melon, P., & Davidson, M. 2001. On The Relationships Between Radar Measurements And Forest Structure And Biomass. *3rd International Symposium "Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Application*, Sheffield, UK
- Yusuf, M. 2014. Distribusi Biomassa di Atas dan Bawah Permukaan dari Surian (Toona Sinensis Roem). Institut Teknologi Bandung : *Jurnal Matematika dan Sains*.