

**PEMODELAN DAN PEMETAAN BIOMASSA ATAS PERMUKAAN
(ABOVEGROUND BIOMASS) TANAMAN KARET (*HEVEA BRASILIENSIS*)
DENGAN L-BAND BERDASARKAN PENGAMATAN ALOS PALSAR-2
(STUDI KASUS: AFDELING SETRO, KAB. SEMARANG)**

Ahmad Iqbal Maulana Lubis^{*)}, Yudo Prasetyo, Bandi Sasmito
Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : iqbal1397@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) secara global menimbulkan risiko terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim yang ganas (Marland dan Andres, 2017). Program penurunan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, plus konservasi, pengelolaan hutan lestari, dan peningkatan stok karbon hutan merupakan salah satu program yang memungkinkan negara-negara berkembang untuk melindungi hutan dan mendapatkan insentif dari penyerapan karbon atau mengurangi emisi dari kebakaran hutan dan kerusakan lain sehingga perlu adanya perhitungan biomassa yang efisien dan efektif. Pada tingkat masyarakat lokal, masyarakat mendapatkan informasi mengenai potensi sumber energi biomassa dan kapasitas serapan karbon yang ada di daerah mereka. Penelitian ini difokuskan untuk mengestimasi biomassa atas permukaan tersebut. Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan termasuk bagian batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengambilan sampel tanpa pemanenan dan estimasi dengan hamburan balik radar dengan data utama mosaik Palsar-2. Kemudian mencari korelasi antara hamburan balik radar dengan nilai biomassa atas permukaan atau *aboveground biomass* (AGB) yang diperoleh dari metode pengambilan sampel tanpa pemanenan, setelahnya dilakukan ekstrapolasi berdasarkan model prediksi yang terbentuk dari korelasi hamburan balik radar dan nilai AGB pada setiap plot sampel.

AGB dalam wilayah penelitian berada di antara 0,980 ton/ha hingga 6.421,832 ton/ha, dengan nilai rerata 210,976 ton/ha. Kapasitas AGB di wilayah Afdeling Setro per tahun 2019 yaitu sebesar 216,436 ton/ha. AGB terbesar berada sub-wilayah Rempong dengan jumlah AGB 22.709 ton dan terkecil berada pada sub-wilayah Tempel dengan jumlah AGB 1.679 ton. RMSE yang diperoleh dari perbandingan hasil prediksi dengan *test dataset* adalah sekitar 32,812 ton/ha dengan korelasi 82%. Berdasarkan hasil uji statistik didapat bahwa Palsar-2 HH memiliki kemampuan lebih baik dalam mendefinisikan AGB tanaman karet dengan koefisien determinasi (R^2) untuk tahun 2017 dan 2018 berturut adalah 0,032 dan 0,111. Namun dengan menggunakan variabel turunan hamburan balik radar yaitu rasio HH dan HV, rerata HH dan HV, dan rasio dua tahun HH dan HV, dan regresi linier berganda, perbaikan diperoleh pada koefisien determinasi (R^2) meningkat hingga 0,673.

Kata Kunci : Biomassa atas permukaan, Palsar-2, Hamburan balik radar, Regresi linier berganda

ABSTRACT

The increasement of greenhouse gases emission globally affects the global warming and climate change risk The increasement of greenhouse gases emission globally affects the global warming and climate change risk (Marland dan Andres, 2017). Huge carbon content in plantation forest potentially increase the climate change and severe global warming, so that important to know carbon capacity from the area. It needs biomass calculation which efficient and effective. At local community level, they'll get information about their biomass energy potential and carbon absorption capacity in their area. This research focuses on modeling and mapping the aboveground biomass. Aboveground biomass is all the living material above the ground, including trunk, branches, tree bark, seed, and leaves from the vegetation.

Method used in this research is non-destructive sampling and estimation by radar backscatter with Palsar-2 mosaic as primary data. And then correlate the radar backscatter and aboveground biomass (AGB) value through non-destructive sampling, after that extrapolation applied based on prediction model formed by the correlation between radar backscatter and AGB value in each plots.

Aboveground biomass in the research area was estimated to range from 0,980 to 6.421,832 ton/ha, with an average of 210,976 ton/ha. AGB capacity at the unit of Setro as of 2019 is 216,436 ton/ha. The highest AGB value concerned at sub-region of Kalikopeng with total AGB 16.812,363 ton and the lowest AGB value concerned at sub-region of Tempel with total AGB 1.679 ton. RMSE resulted from comparing the prediction results and the test dataset is about 32,812 ton/ha with 82% correlation. Based on statistical test, it is found HH polarisation is better in defining AGB of rubber trees with determination coefficient (R^2) for 2017 and 2018 respectively are 0,032 dan 0,111. But with using derived radar backscatter consisted of ratio of HH and HV, mean of HH and HV, and the dual-date ratio of HH and HV, and Multivariate Linear Regression is applied, improvement obtained as the determination coefficient (R^2) increases up to 0,673.

Keyword : Aboveground biomass, Palsar-2, Radar backscatter, Multivariate linear regression

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Meningkatnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) secara global menimbulkan risiko terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim yang ganas. GRK adalah istilah yang ditujukan untuk kelompok gas yang menyebabkan terjadinya pemanasan global. Mengurangi pemakaian bahan bakar untuk kendaraan bermotor dan menghemat listrik juga mengurangi emisi GRK. Penurunan GRK di atmosfer, terutama CO₂, tidak hanya dengan menurunkan emisi, tetapi perlu diiringi dengan meningkatkan penyerapan GRK tersebut. Melalui fotosintesis, CO₂ diserap dan diubah oleh tumbuhan menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa. Kandungan karbon absolut dalam biomassa pada waktu tertentu dikenal dengan istilah stok karbon (*carbon stock*).

Program Penurunan Emisi dari Deforestasi dan Degradasi hutan, plus konservasi, pengelolaan hutan lestari, dan peningkatan stok karbon hutan (*Reduce Emissions from Deforestation and forest Degradation, and foster conservation, sustainable management of forests, and enhancement of forest carbon stocks* atau REDD+) merupakan salah satu program yang memungkinkan negara-negara berkembang untuk melindungi hutan mereka untuk mendapatkan insentif dari penyerapan karbon atau mengurangi emisi dari kebakaran hutan dan kerusakan lainnya. Perlu adanya perhitungan biomassa yang efisien dan akurat sehingga dapat mengetahui stok karbon dalam suatu area yang luas. Pada tingkat masyarakat lokal, masyarakat mendapatkan informasi mengenai potensi sumber energi biomassa dan kapasitas serapan karbon yang ada di daerah mereka. Estimasi biomassa pada penelitian ini dilakukan di Afdeling Setro yang berada di bawah pengelolaan PTPN IX.

Cara yang paling akurat dalam menghitung biomassa adalah menggunakan pengambilan sampel dengan pemanenan dan pendataan inventarisasi hutan dengan menggunakan persamaan alometrik. Meskipun cara tradisional ini akan memakan waktu yang lama, membutuhkan banyak tenaga dan sulit diimplementasikan, khususnya di area terpencil dan tidak dapat menghasilkan distribusi spasial dari biomassa pada area yang luas. Untuk mengatasi masalah ini para ilmuwan merekomendasikan teknologi penginderaan jauh sebagai salah satu opsi dengan dibantu oleh data inventori, metode ini memiliki kelebihan lebih cepat dalam proses dan biayanya lebih murah, ditambah lebih ramah lingkungan karena hanya memerlukan sedikit pengambilan sampel dengan pemanenan atau bahkan tidak memerlukan pemanenan sama sekali.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa nilai kapasitas serapan biomassa atas permukaan di Afdeling Setro per tahun 2019 berdasarkan pengamatan ALOS PALSAR-2 ?
2. Bagaimana hubungan biomassa atas permukaan terhadap polarisasi HH dan HV (serta turunannya) dari ALOS PALSAR-2 ?

I.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini difokuskan pada beberapa hal, yaitu :

1. Penghitungan AGB secara manual dilakukan dengan membuat plot berukuran 25 x 25 m di lapangan, kemudian mengambil data profil dari pohon yang ada di dalam plot sebelum kemudian memperoleh AGB plot menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Schroth dkk. (2002) dalam IPCC (2003).
2. Metode yang digunakan pada pemodelan prediksi AGB adalah metode statistik berdasarkan hamburan balik radar dari citra Palsar-2 tahun 2018 dan nilai indeks vegetasi dari sampel AGB dari plot-plot yang berukuran 25 x 25 m yang telah dihitung.
3. Metode yang digunakan untuk menghasilkan peta AGB secara keseluruhan adalah ekstrapolasi.
4. Keluaran dari penelitian ini adalah peta estimasi AGB tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) yang terletak pada Afdeling Setro, Kebun Ngobo.

I.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengestimasi kapasitas biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*) tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) di Afdeling Setro melalui pemanfaatan citra Palsar-2.
2. Menguji kemampuan Palsar-2 HH dan Palsar-2 HV sebagai estimator dalam estimasi nilai biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*).

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Aspek Keilmuan
Memberikan kontribusi dalam keberagaman riset mengenai penginderaan jauh di Indonesia dan aplikasinya di bidang agrikultur, khususnya penghitungan biomassa.
2. Aspek Kerekayasaan
Harapannya hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam pekerjaan konservasi dan inventarisasi kehutanan.

I.5 Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian terbatas pada Afdeling Setro, Kebun Ngobo, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah yang secara geografis terletak pada 100° 21' BT - 110° 29' BT dan 7° 10' LS - 7° 12' LS yang ditunjukkan oleh peta pada Gambar 1 dan Gambar 2. Afdeling ini berada di bawah pengolahan PTPN IX.



Gambar 1. Peta Administrasi Kebun Ngobo



Gambar 2. Peta administrasi Afdeling Setro wilayah penelitian dipersempit pada sub-wilayah yang ditanami tanaman karet.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Biomassa atas Permukaan

Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (a glossary by the IPCC,1995). Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997).

Tumbuhan akan menyerap karbon di atmosfer (CO₂) melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Semua komponen penyusun vegetasi baik pohon, semak, liana dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Di bawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga merupakan penyimpan karbon selain tanah itu sendiri. Pada tanah gambut, jumlah simpanan karbon mungkin lebih besar dikanalangkan dengan simpanan karbon yang ada di atas permukaan. Karbon juga masih tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa seperti produk kayu baik ketika masih dipergunakan maupun sudah berada ditempat penimbunan. Karbon dapat tersimpan dalam kantong karbon dalam periode yang lama atau hanya sebentar. Peningkatan jumlah karbon yang tersimpan dalam karbon pool ini mewakili jumlah karbon yang terserap dari atmosfer.

Untuk inventarisasi karbon hutan, kantong karbon yang diperhitungkan setidaknya ada 4 kantong karbon. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati dan karbon organik tanah. Yang mana pada penelitian ini difokuskan untuk mengestimasi dan memetakan biomassa atas permukaan (*aboveground biomass*). *Aboveground biomass* yang selanjutnya akan disebut AGB adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan.

II.2 Metode Pengukuran Biomassa

Teknik inventarisasi hutan memiliki keterbatasan dalam mengukur biomassa, penginderaan jauh telah digunakan

secara luas untuk mengestimasi biomassa dalam satu dekade terakhir. Pada kawasan dengan struktur yang kompleks, spesies yang bervariasi dan jenis vegetasi yang beragam, menggunakan citra *microwave* dapat menjadi solusi sebab keterbatasan citra optis (Ghasemi dkk., 2011). Terdapat 4 cara utama untuk menghitung biomassa yaitu (i) sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) secara *in situ*; (ii) sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara *in situ*; (iii) Pendugaan melalui penginderaan jauh; dan (iv) pembuatan model. Untuk masing masing metode di atas, persamaan alometrik digunakan untuk mengekstrapolasi cuplikan data ke area yang lebih luas (Sutaryo, 2009).

II.3 Persamaan Alometrik

Melalui penelitiannya yang berjudul *Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years*, Schroth dan kawan-kawan melakukan penelitian bertujuan untuk mengestimasi biomassa atas permukaan (AGB) dari beberapa tanaman di Amazon Tengah, Brazil, diantaranya adalah tanaman karet. Dari penelitian tersebut didapat persamaan AGB untuk tanaman-tanaman tersebut setelah ditanam selama 7 tahun.

Schroth dkk. (2002) dalam IPCC (2003) membuat persamaan yang digunakan untuk mengestimasi AGB pada jenis tanaman karet (*Hevea brasiliensis*). Pohon karet sendiri memiliki DBH (*Diameter Breast Height*) setinggi 150 cm atau 1,5 m. Alometrik untuk spesies tersebut ditulis sebagaimana Persamaan 1.

$$H. brasiliensis; AGB (kg) = -3.84 + 0.528 * BA + 0.001 * BA^2 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

BA = *Basal Area* (luas penampang dari batang pohon karet yang berada pada ketinggian 1,5 m dari tanah).

II.4 Estimasi AGB dengan Penginderaan Jauh

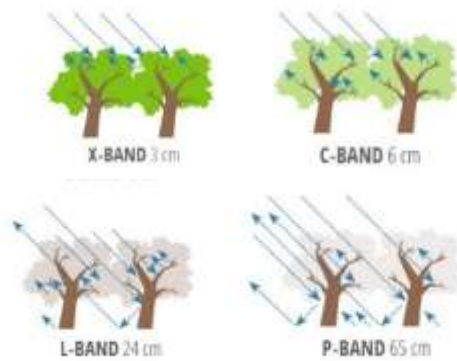
Penghitungan AGB pada penelitian ini dilakukan dengan metode penginderaan jauh dengan citra SAR dan sampling *in-situ* tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*), kemudian mencari korelasi antara *radar backscattering coefficient* dari SAR dengan nilai AGB yang diperoleh dari metode *sampling* tanpa pemanenan, setelahnya dilakukan ekstrapolasi berdasarkan model yang terbentuk dari korelasi *radar backscatter* dan nilai AGB setiap plot. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ranson dkk. pada tahun 1994 dan Sun dkk. pada tahun 1992 estimasi AGB menggunakan data C-band mampu mencapai hasil yang baik pada tutupan vegetasi dengan biomassa yang rendah.

Telah dibuktikan bahwa semakin panjang gelombang, seperti L dan P-band, dengan polarisasi HV dan VH menghasilkan hasil yang lebih baik dikanalangkan gelombang yang lebih pendek, seperti X dan C-band, dengan polarisasi HH atau VV (Le Toan dkk., 1992). Ditemukan bahwa data *co-polarisasi* (HH dan VV) pada panjang gelombang P-band sensitif terhadap perubahan kondisi permukaan (Ghasemi dkk., 2011). Data *Cross-polarisasi* (HV dan VH) biasanya terjadi disebabkan oleh beberapa kali hamburan dalam kanopi pohon dan tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi permukaan (Ranson dan Sun, 1994).

II.5 Respon Vegetasi terhadap Gelombang Radar

Gelombang radar berinteraksi dengan kanopi vegetasi sebagai sebuah grup *volume scatterer* yang terdiri dari berbagai bagian dari tumbuhan (daun, batang, cabang, dll). Pada saat terjadi pemancaran gelombang radar, kanopi vegetasi yang didasari oleh tanah yang juga kemungkinan menyebabkan *surface scattering* dari energi yang menembus kanopi. Ketika panjang gelombang berukuran rata-rata dari komponen vegetasi, *volume scattering* sangat kuat dan jika kanopi tumbuhan lebat dan rapat, maka hamburan balik dari vegetasi akan sangat kuat.

Selain ukuran tumbuhan dan panjang gelombang radar, masih banyak lagi faktor yang dapat memengaruhi radar *backscatter* dari vegetasi. Mengingat vegetasi dengan kandungan air yang tinggi memantulkan energi lebih banyak dibanding yang kering. Juga, lebih banyak energi yang dikembalikan dari tanaman yang barisnya lurus mengikuti arah azimuth dibanding lurus mengikuti arah jarak (Lillesand dkk., 2008).



Gambar 3. Interaksi Panjang Gelombang Radar Terhadap Pepohonan (Saatchi, 2019)

II.6 Polarisasi pada Gelombang Radar

Sebuah gelombang bidang elektromagnetik merambat dalam arah z dibangun dari sepasang variasi waktu dan medan elektrik dan magnet yang saling tegak lurus, dijelaskan oleh vektor medan elektrik *E* (z) ditunjukkan pada Gambar 3. Polarisasi diwakili oleh vektor medan elektrik yang tegak lurus dalam basis horizontal (H) dan vertikal (V). Bidang vektor tersebut tegak lurus terhadap arah rambat dan secara umum mendeskripsikan bentuk elips, lingkaran atau garis. Polarisasi HH dan HV memiliki respon yang berbeda terhadap biomassa. Mougin dkk. (1999) dan Sarker dkk. (2012) menggunakan rasio HH dan HV untuk mengestimasi biomassa hutan dan menemukan bahwa metode tersebut menghasilkan estimasi yang melampaui jauh titik jenuh yang khas untuk biomassa.



Gambar 4. Perambatan gelombang elektromagnetik (Saatchi, 2019)

Polarimetri atau *Polarimetry* (*Polar*: *Polarisation*, *Metry*: *measure*) berkaitan dengan kontrol dari sifat polarisasi

(perilaku arah medan elektrik) gelombang radar dan pantulan sifat target dari perilaku gelombang hamburan dari target. Suatu antenna radar dapat mengirim dan menerima sinyal radar polarisasi sejajar (*co-polarized*) HH/VV atau polarisasi silang (*cross-polarized*) HV/VH, oleh karena itu ada empat polarisasi yaitu (Katmoko, 2005):

HH - mengirim horizontal dan menerima horizontal

VV - mengirim vertikal dan menerima vertikal

HV - mengirim horizontal dan menerima vertikal

VH - mengirim vertikal dan menerima horizontal

II.7 Rasio Polarisasi

Polarisasi HH dan HV memiliki respon yang berbeda terhadap biomassa. Mougin dkk. (1999) dan Sarker dkk. (2012) menggunakan rasio HH dan HV untuk mengestimasi biomassa hutan dan menemukan bahwa metode tersebut menghasilkan estimasi yang melampaui jauh titik jenuh yang khas untuk biomassa.

Pemrosesan indeks dilakukan dengan *raster calculator*, kemudian memasukkan Persamaan (2) hingga (7). Pembuatan indeks dari citra PALSAR 2 dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan indeks-indeks ini sebagai prediktor dalam menentukan AGB. Berikut merupakan formula-formula yang digunakan untuk memperoleh variabel indeks tersebut.

$$HV\ mean = \frac{HV\ 2018 + HV\ 2017}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$$HH\ mean = \frac{HH\ 2018 + HH\ 2017}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan (2) dan (3) di atas digunakan dalam estimasi AGB. Menurut Satchi (2019), rerata nilai piksel dari citra polarisasi yang sama dua tahun berturut diharapkan dapat meminimalisir dampak perbedaan cuaca saat akuisisi citra SAR, disebabkan hamburan balik radar yang sangat sensitif terhadap kelembapan tanah.

$$R_HVHH = \frac{HV\ 2018}{HH\ 2018} \dots\dots\dots(4)$$

$$R_HHHV = \frac{HH\ 2018}{HV\ 2018} \dots\dots\dots(5)$$

$$R2D_HH = \frac{HH\ 2018 + HH\ 2017}{HV\ 2018 + HV\ 2017} \dots\dots\dots(6)$$

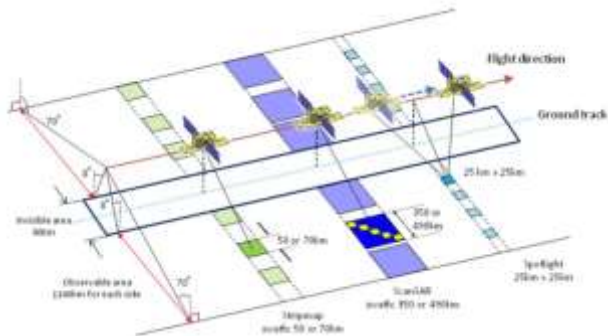
$$R2D_HV = \frac{HV\ 2018 + HV\ 2017}{HH\ 2018 + HH\ 2017} \dots\dots\dots(7)$$

- HV 2018 : Citra polarisasi HV tahun 2018
- HH 2018 : Citra polarisasi HH tahun 2018
- HV 2017 : Citra polarisasi HV tahun 2017
- HH 2017 : Citra polarisasi HH tahun 2017
- HV mean : Nilai spektral rerata polarisasi HV
- HH mean : Nilai spektral rerata polarisasi HH
- R_HVHH : Rasio nilai spektral HV dan HH tahun 2018
- R_HHHV : Rasio nilai spektral HH dan HV tahun 2018
- R2D_HV : Rasio jumlah HV dan jumlah HH pada dua tahun yang berbeda
- R2D_HH : Rasio jumlah HH dan jumlah HV pada dua tahun yang berbeda

II.8 Citra Palsar-2

Palsar-2 yang dipasang di ALOS-2 merupakan sensor L-band *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang memancarkan tipe gelombang L dan menangkap hamburan baliknya

(backscatter) dari permukaan bumi untuk memperoleh informasi. Palsar-2 memiliki tiga mode akuisisi yang diilustrasikan oleh Gambar 4.



Gambar 5. Mode akuisisi Palsar

1. *Spotlight Mode*

Mode ini adalah mode akuisisi yang paling detail resolusi 1 x 3 meter dengan lebar observasi 25 km. Akuisisi secara spotlight memungkinkan antena untuk fokus mengambil cakupan suatu daerah terus menerus.

2. *Strip Map Mode*

Mode ini adalah mode akuisisi resolusi tinggi dengan pilihan resolusi 3, 6, dan 10 meter dan lebar observasi 50 atau 70 km. Pada *mode stripmap*, akuisisi dilakukan secara langsung untuk suatu luas sapuan (*swath*) tertentu.

3. *ScanSAR Mode*

Mode ini adalah mode observasi area yang luas dengan lebar observasi 350 km atau 490 km, dan resolusi 100 m atau 60 m secara berurutan. Mode *scanSAR* dilakukan dengan membagi wilayah sapuan kedalam beberapa wilayah sapuan atau *subswath*.

II.8.1 Kalibrasi Citra Palsar-2

Kalibrasi Palsar-2 *Gamma-naught* adalah untuk mengubah data amplitudo menjadi nilai gamma-naught. Kalibrasi ini merupakan salah satu proses kalibrasi pada data SAR, khususnya ALOS PALSAR dan ALOS PALSAR-2. Kalibrasi radiometri secara keseluruhan melibatkan berbagai proses dan formula yang sangat kompleks, terutama pada proses sebelum data didistribusikan. Kalibrasi radiometri secara mendasar telah dilakukan oleh JAXA.

Mosaik Palsar-2 *dual-polarisation* merupakan citra 16-bit *unsigned integer* dengan angka digital (DN) mulai dari 0 hingga 65,535 untuk setiap polarisasi. Koefisien hamburan balik *Gamma-naught* (γ^0) untuk HH dan HV diperoleh dari Persamaan II-5 berikut.

$$\text{Gamma naught } (\gamma_0) = 10 * \log_{10} [(DN)^2] + CF \dots \dots \dots (8)$$

dimana CF = -83.0 (dB).

II.9 Citra Landsat 8

Landsat 8 diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013 oleh NASA di *Vanderberg Air Force Base*, California. Perancangan Landsat 8 melibatkan beberapa instansi seperti NASA, *Departement of the Interior (DOI) U.S. Geological Survey (USGS)*, *Orbital Science Corp*, dan *Ball Aerospace & Technologies Corp*.

Landsat-8 OLI/TIRS merupakan pengembangan dari Landsat-7 dimana memiliki sensor spektral yang sama dengan Landsat-7 ETM+. Modifikasi terbaru adalah adanya tambahan 2 band spektral terbaru. Kedua tambahan tersebut meliputi band 1 yang dirancang khusus untuk pengamatan

sumber air dan kawasan pesisir serta band 9 untuk deteksi awan cirrus.

II.9.1 Kalibrasi Landsat 8

Menurut Danoendoro (2012), penggunaan kalibrasi radiometrik didasarkan dari dua alasan, yaitu untuk memperbaiki kualitas visual citra dan sekaligus untuk memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Ketidaksesuaian nilai piksel disebabkan karena adanya pengaruh atmosfer, posisi matahari serta jarak antara satelit dengan permukaan bumi saat dilakukannya perekaman. Koreksi radiometrik dilakukan dengan mengubah nilai *Digital Number (DN)* menjadi radian atau reflektan *Top of Atmospheric (TOA)*. Perhitungan kalibrasi radiometrik pada Landsat 8 menggunakan *rescaling* nilai piksel (Qcal).

a. Konversi DN – TOA Reflektan (Qcal - $\rho\lambda$)

Konversi DN menjadi nilai reflektan dilakukan menggunakan Persamaan (9) yang disebabkan oleh sudut matahari. Algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \dots \dots \dots (9)$$

$\rho\lambda'$ = Nilai reflektan spektral (tanpa koreksi sudut tinggi matahari)

M_p = Konstanta *rescaling* (*REFLECTANCE_MULT_BAND_n*), dimana n adalah nomor kanal

Q_{cal} = Nilai piksel (*Digital Number*)

A_p = Konstanta penambah (*REFLECTANCE_ADD_BAND_n*), dimana n adalah nomor kanal

b. Koreksi Sudut Tinggi Matahari

Perlu diketahui bahwa $\rho\lambda'$ bukan nilai TOA sebab belum mengandung koreksi sudut matahari (*solar elevation angle*). Konstanta *sun elevation* dalam satuan derajat (*degree*) dapat dilihat pada *metadata* citra Landsat 8. Rumus TOA Reflektan adalah sebagai berikut:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{se})} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

$\rho\lambda$ = Nilai reflektan spektral (terkoreksi sudut tinggi matahari)

θ_{se} = Sudut tinggi matahari

θ_{sz} = Sudut zenit matahari; $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$

II.10 *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

NDVI merupakan indeks vegetasi yang merepresentasikan tingkat kehijauan tutupan lahan dari vegetasi. NDVI mendelineasi daerah vegetasi dari tutupan lainnya karena dalam proses fotosintesis, gelombang inframerah diserap oleh klorofil dan merefleksikan band *near infrared*. Pengolahan NDVI dapat dilakukan dengan Persamaan (5) sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

NDVI = Indeks Vegetasi

NIR = Nilai reflektan dari Band NIR

Red = Nilai reflektan dari Band Merah

Pengolahan NDVI membutuhkan 2 kanal yaitu NIR dan Red. Pada Citra Landsat 8 menggunakan band 4 (Red) dan band 5 (NIR).

II.11 Matriks Konfusi

Matriks konfusi adalah sebuah matriks yang memperlihatkan hubungan antara hasil klasifikasi berdasarkan interpretasi dengan sampel data yang di dapat sesuai kondisi sebenarnya di lapangan. Melalui matriks konfusi dapat menguji nilai akurasi dari interpretasi misal, klasifikasi tutupan lahan telah sesuai dengan keadaan sebenarnya. Matriks konfusi menghitung besaran dari akurasi pembuat (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user's accuracy*), akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), dan akurasi kappa (*kappa accuracy*) (Lillesand dan Kiefer, 1994, dalam Arison dang, 2015). Menurut Short (1982) dalam Nawangwulan (2013), klasifikasi citra dianggap benar apabila hasil perhitungan *overall accuracy* matriks konfusi $\geq 80\%$.

II.12 Pemodelan dan Pemetaan AGB

Metode regresi digunakan untuk menentukan korelasi antara biomassa pengukuran langsung di lapangan dan nilai hamburan balik (*backscatter*) dari Palsar-2 dan Landsat 8. Pada penelitian ini biomassa dianggap sebagai variabel dependen dan hamburan balik PALSAR 2 (HH, HV), serta turunannya (R_HHHV, R_HVHH, HH*mean*, HV*mean*, R2D_HH, dan R2D_HV) yang formulanya masing-masing dijelaskan di Sub-bab II.8

Analisis korelasi banyak menggunakan teknik analisis statistikal untuk mempelajari dan memodelkan hubungan antara dua variabel kontinu seperti biomassa hutan dan hamburan balik radar (*radar backscatter*). Untuk menerapkan analisis korelasi, nilai piksel dari citra Palsar-2 dan variabel-variabel turunannya diekstrak terlebih dulu. Dalam kasus ini, hamburan balik pada polarisasi HH dan HV maupun nilai piksel dari semua variabel yang dihasilkan digunakan langsung sebagai prediktor terhadap nilai AGB dari semua plot sampel.

II.12.1 Analisis Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi linier sederhana merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk melihat besar hubungan pada dua variable yang digunakan pada penelitian. Analisis ini menunjukkan besar pengaruh variable bebas (X) terhadap variable terikat (Y). Regresi ini hanya terdapat satu variable bebas, maka digunakan metode analisis regresi linier sederhana.

Bentuk umum dari persamaan regresi linier untuk populasi adalah

$$Y = A + B \cdot X \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan:

- Y : Variabel tak bebas
- X : Variabel bebas
- A : Parameter Intersep/ Konstanta
- B : Parameter Kemiringan/ Koefisien Regresi

Koefisien pada model regresi merupakan suatu nilai rata-rata yang berpeluang terjadi pada variabel Y (variabel terikat) apabila diberikan suatu nilai variabel X (variabel bebas).

II.12.2 Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi merupakan teknik statistikal untuk memperkirakan hubungan antara variabel-variabelnya yang memiliki alasan dan hasil hubungan (Uyanik, 2013). Sementara itu model regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel regresor disebut dengan model *multiple regression*.

Analisis *Multiple Linear Regression* (MLR) dilakukan untuk memprediksi nilai dari variabel terikat (dependen), Y, dengan satu set n variabel bebas (independen) (X1, X2, ..., Xn). Berikut merupakan persamaan umum dari MLR.

$$Y = B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_n X_n + C \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

- Y : Variabel terikat
- X_(1,2,...,n) : Variabel bebas (1,2,...,n)
- C : Konstanta

II.13 Ekstrapolasi

Ekstrapolasi adalah proses memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan model prediksi yang dibangun berdasarkan metode statistika yang merangkum variabel satu atau lebih variabel independen. Ekstrapolasi dalam penggunaannya pada penginderaan jauh akan menghasilkan raster permukaan kontinu.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data dan Alat

- a. Data yang digunakan pada penelitian ini diantaranya:

Tabel 1. Data Primer Penelitian

Data	Tahun	Keterangan
Mosaik ALOS PALSAR 2 Terkoreksi Radiometrik dan Geometri	2017	Data didapatkan dengan cara mengunduh dari situs www.eorc.jaxa.jp , data citra digunakan untuk analisa biomassa atas permukaan
Data Lapangan (Profil Tanaman Karet)	2019	Data didapatkan dari survei ke lapangan dari PTPN IX

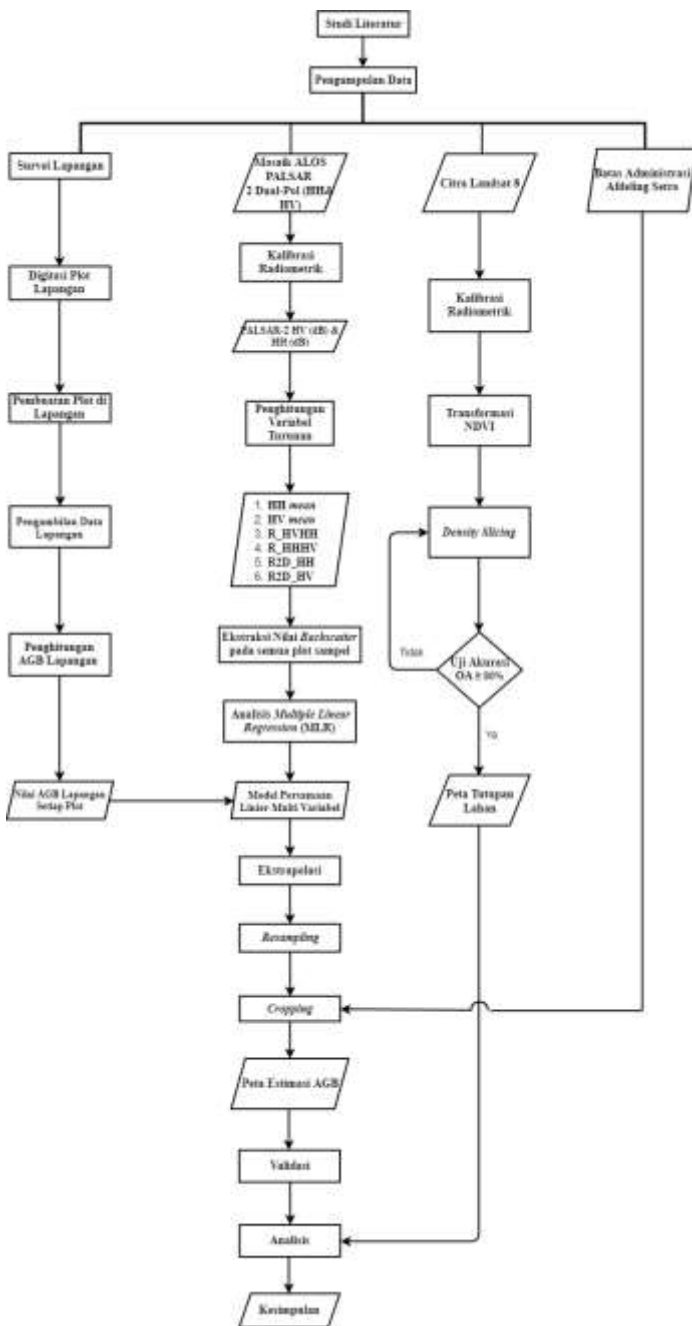
Tabel 2. Data Sekunder Penelitian

Data	Tahun	Keterangan
Citra Landsat 8	2019	Data didapatkan dengan cara mengunduh dari situs earthexplorer.usgs.gov
Data Batas Administrasi Kebun Ngobo, PTPN IX	2019	Data pendukung dalam penelitian didapatkan dari PTPN IX
Peta RBI 1:25.000 Kab. Semarang	2019	tanahair.indonesia.go.id

- b. Alat dan Perangkat Lunak

- 1. Alat
 - a. Pita ukur
 - b. GPS *Handheld*
 - c. Form pengukuran profil pohon
- 2. Perangkat Lunak
 - a. ENVI
 - b. QGIS
 - c. SPSS
 - d. Google Earth Pro
 - e. Ms. Word
 - f. Ms. Excel

III.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram alir penelitian

III.3 Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan dengan mengukur keliling (GBH) dari setiap pohon yang ada di dalam sampel plot berukuran 25 x 25 m yang telah dibuat sebelumnya menggunakan pita ukur dan dicatat pada formulir pengukuran. Kemudian data keliling (GBH) tersebut dikonversi menjadi diameter (DBH) sebelum dikonversi dengan menggunakan formula untuk memperoleh AGB.

Keliling (GBH) diukur pada ketinggian 1,5 m di atas permukaan tanah atau setinggi dagu orang dewasa. AGB setiap pohon dalam plot tersebut kemudian dijumlahkan menjadi AGB plot lalu buat dalam bentuk tabel. Pada penelitian ini diambil sebanyak 30 sampel lapangan

kemudian sebanyak 70% dari sampel tersebut dipakai untuk pembuatan model matematis (*training dataset*) dan 30% lainnya untuk uji akurasi hasil (*test dataset*).

III.4 Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan memanfaatkan algoritma NDVI yang sensitif terhadap area bervegetasi dan non-vegetasi. Tanah biasanya menghasilkan reflektan spektral NIR lebih tinggi dibanding spektral merah, dan karenanya cenderung NDVI positif yang rendah, sementara pada area bervegetasi lebat spektral NIR memiliki nilai yang tinggi secara signifikan dan spektral merah sangat rendah.

III.5 Ekstraksi Nilai Pixel/Spektral

Pengambilan nilai piksel dilakukan pada citra radar yang telah dikalibrasi menjadi menjadi *gamma naught*.. Namun sebelum melakukan proses ini, terlebih dahulu dibuat titik *shapefile* yang memiliki koordinat yang sama dengan koordinat pusat dari plot sampel yang sudah dibuat sebelumnya. Ekstraksi nilai spektral dilakukan pada hasil dari polarisasi HH dan HV dan variabel turunan hamburan balik radar pada polarisasi HH dan HV juga. Karenanya akan dihasilkan banyak kolom pada tabel hasil ekstraksi nilai spektral nantinya.

III.6 Pembuatan Model Regresi

Pembuatan model regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel, yaitu variabel terikat dan variabel bebas. Dalam penelitian ini metode *Simple Linear Regression* dan *Multiple Linear Regression (MLR)* diterapkan, karena ada banyak variabel bebas yang digunakan yang menjadi variabel terikatnya adalah nilai AGB (Y) dan variabel bebasnya adalah variabel utama, yaitu nilai spektral Palsar-2 HH dan Palsar-2 HV, serta variabel turunannya. Pembuatan model regresi dan *scatterplot* dilakukan di perangkat lunak Microsoft Excel yang telah diinstall *plug-in Data Analysis*.

III.7 Ekstrapolasi

Pada proses ekstrapolasi, *input* persamaan di *raster calculator* yang didapat dari MLR dengan nilai X adalah citra yang akan diekstrapolasi.

Apabila proses berhasil maka citra baru dengan nilai raster sama dengan atau mendekati nilai AGB akan dihasilkan. Untuk mengecek apakah citra sudah benar, gunakan fitur *Identify Feature*.

III.8 Resampling

AGB merupakan besaran dengan satuan ton/ha sementara citra yang digunakan memiliki resolusi 25 m, dengan begitu dibutuhkan proses tambahan untuk mendapat besaran AGB dengan satuan yang seharusnya, yaitu 1 ha. *Resampling* dapat dilakukan untuk mengubah ukuran piksel citra menjadi lebih besar dari sebelumnya. Apabila proses tersebut berhasil maka citra yang dihasilkan akan memiliki ukuran piksel 100 m x 100 m (setara dengan 1 ha) sesuai dengan yang diinput di kotak dialog.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana

Tabel 3. Model persamaan dan koefisien determinasi (R^2) antara AGB dan variabel hamburan balik radar dari polarisasi L-band PALSAR-2

Variabel	Model	R	R ²	Adjusted R ²	RSE (±ton.ha ⁻¹)
HH 2018	$y = 902,96x + 16409$	0,262	0,069	0,020	97,645
HV 2018	$y = -313,83x + 7482,6$	0,093	0,009	-0,043	100,746
HH 2017	$y = 549,01x + 14172$	0,270	0,073	0,024	97,422
HV 2017	$y = 120,02x + 12148$	0,069	0,005	-0,048	100,946

Didapat Palsar-HH memiliki korelasi yang lebih kuat terhadap AGB dibanding dengan Palsar-HV, walaupun korelasinya masih tergolong lemah. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tingkat kandungan air pada tumbuhan dan tanah yang tinggi di daerah perkebunan karena rapatnya kanopi sehingga mereduksi sinar matahari yang mampu menembus kanopi, menyebabkan konstanta dielektriknya juga tinggi dan memengaruhi hamburan balik radar dan alat yang digunakan untuk mengambil koordinat di lapangan berupa GPS *handheld* yang tentunya memiliki kesalahan positional yang berdampak pada hasil akhir.

Tabel 4. Klasifikasi Koefisien Korelasi (Sugiyono, 2012)

Koefisien Korelasi (R)	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Pemetaan dengan menggunakan polarisasi HH dan HV beserta turunannya ditemukan memiliki kapabilitas yang berbeda saat mendefinisikan wilayah hutan. Studi yang dilakukan menemukan bahwa polarisasi yang paling efektif untuk studi biomassa area hutan adalah HV. Meskipun begitu, polarisasi HH pada penelitian ini lebih efektif dalam mendefinisikan biomassa pada wilayah perkebunan, seperti karet, karena orientasi dari tanaman yang ada sangat terstruktur dan jenisnya yang seragam (homogen), sehingga dapat diinterpretasikan dengan baik oleh polarisasi HH.

Tabel 5. Model persamaan dan koefisien determinasi (R^2) antara AGB dan variabel turunan hamburan balik radar dari polarisasi L-band PALSAR-2

Variabel	Model	R	R ²	Adjusted R ²	RSE (±ton.ha ⁻¹)
R_HHHV	$y = 175,59x + 57,031$	0,383	0,147	0,102	98,249
R_HVHH	$y = -41,791x + 246,14$	0,329	0,1080	0,061	100,476
HH mean	$y = -3,4239x + 150,58$	0,061	0,004	-0,049	106,184
HV mean	$y = 7,6887x + 258,62$	0,160	0,026	-0,026	105,003
R2D HH	$y = 197,91x + 58,661$	0,266	0,071	0,022	102,535

R2D HV	$y = -31,001x + 230,15$	0,162	0,026	-0,025	104,983
--------	-------------------------	-------	-------	--------	---------

Berdasarkan analisis regresi linier sederhana dapat dilihat bahwa HH *mean*, R_HVHH, dan R2D HV memiliki hubungan positif terhadap AGB, sedangkan HV *mean*, R_HHHV, dan R2D HH memiliki hubungan negatif. Korelasi terlemah yaitu HV *mean* sementara yang terkuat yaitu R2D HV.

Hasil ini membuktikan bahwa memanipulasi polarisasi yang berasal dari satu sensor sedikitnya dapat meningkatkan kekuatan korelasi. Perbaikan selanjutnya dengan menggunakan regresi linier berganda untuk memperoleh model persamaan matematis yang baru.

IV.2 Hasil Analisis Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda dilakukan untuk menghasilkan persamaan baru berdasarkan variabel turunan hamburan balik radar yang sebelumnya telah didapat. Hal ini memungkinkan karena regresi linier berganda memiliki kapabilitas untuk menampung lebih dari satu variabel untuk menghasilkan sebuah persamaan. Dalam upaya mencari model dengan *explanatory power* tertinggi, *backward multiple linear regression* digunakan untuk mengotomasi pemilihan dari variabel *explanatory* terbaik.

Tabel 6. Spesifikasi model dan prediktor yang dihasilkan dari metode MLR

Prediktor	B	P Value	R	R ²	Sig. F	RSE (±ton.ha ⁻¹)
HH	-665,36	0,058	0,820	0,673	0,007	70,851
HV	-318,00	0,016				
R_HHHV	333,24	0,012				
R_HVHH	-187,78	0,012				
HH mean	5683,93	0,001				
HV mean	763,55	0,003				
Konstanta	-3473,64	0,001				

Model persamaan prediksi:

$$Y (AGB) = -(665,357 * R_{HHHV}) - (318,002 * R_{HVHH}) + (333,238 * HH \text{ mean}) - (187,78 * HV \text{ mean}) + (5683,925 * R2D_{HH}) + (763,548 * R2D_{HV}) - 3473,644$$

Tabel di atas menjelaskan besarnya nilai korelasi/hubungan (R) yaitu sebesar 0,753 dan dijelaskan besarnya persentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat (AGB) melalui koefisien determinasi yang merupakan hasil penguadratan R. Dari *output* tersebut diperoleh koefisien determinasi (R^2) meningkat dibanding dengan menggunakan polarisasi tunggal, R^2 didapat menjadi 0,673 yang mengandung pengertian bahwa pengaruh variabel bebas (independen) terhadap variabel terikat (dependen) adalah sebesar 67,3%. Nilai ini jauh meningkat dari hasil sebelumnya yang hanya menggunakan satu variabel dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 14,7% dari R_HHHV. Model baru yang dihasilkan layak untuk mengakomodasi prediksi AGB (ton.ha⁻¹) dengan nilai *Sig. F* 0,007 < 0,05 dan semua nilai *p-Value* < 0,1.

IV.3 Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan



Gambar 7. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan NDVI

Klasifikasi tutupan lahan pada Afdeling Setro dilakukan dengan menggunakan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan teknik *density slicing* yang memanfaatkan *range* dari respon spektral objek di permukaan bumi terhadap gelombang elektromagnetik yang digunakan. Hasil klasifikasi mampu mencapai *overall accuracy* dan *kappa accuracy* yaitu berturut-turut 0,911 dan 0,864.

Tabel 7. Matriks konfusi klasifikasi tutupan lahan

Klasifikasi		Non-vegetasi	Vegetasi Jarang	Vegetasi Rapat	Jumlah
Survei	Non-vegetasi	10	0	0	10
	Vegetasi Jarang	2	13	0	15
	Vegetasi Rapat	0	2	18	20
Jumlah		12	15	18	45

Tabel 8. Nilai akurasi klasifikasi tutupan lahan

Tutupan Lahan	Producer Acc	User Acc
Non-vegetasi	83%	100%
Vegetasi Jarang	87%	87%
Vegetasi Rapat	100%	90%

IV.4 Korelasi Tutupan Lahan dengan AGB

Berdasarkan hasil korelasi antara NDVI dengan AGB terdapat tingkat hubungan yang sangat rendah dan efek jenuh pada nilai NDVI 0,7 – 0,8 untuk mendefinisikan nilai AGB > 100 ton/ha. Hal ini menjadi sangat mungkin di saat umur tanaman karet sudah lebih 7 tahun, tanaman karet sudah memiliki daun yang lebat sehingga menciptakan kebun dengan densitas/kerapatan yang tinggi dan membuat NDVI kesulitan menseparasi blok tanaman dengan tingkat AGB yang berbeda.

Tabel 9. Tabel jenis tutupan lahan beserta luas dan jumlah AGB yang terkandung

Tutupan Lahan	Luas (ha)	Jumlah AGB (ton)
Vegetasi Jarang	206,327	59.599,078
Vegetasi Rapat	655,678	92.338,968

Berdasarkan hasil klasifikasi NDVI Landsat 8 didapat dua kelas tutupan lahan, yaitu vegetasi jarang dan vegetasi rapat, dimana vegetasi jarang terdiri atas pohon karet dan jenis pohon lain dan semak belukar dan vegetasi rapat didominasi oleh pohon karet. Vegetasi rapat menjadi kelas

dengan luasan paling tinggi karena memang area penelitian didominasi oleh pohon karet.

IV.5 Hasil Estimasi Aboveground Biomass (AGB)



Gambar 8. Peta AGB di Afdeling Setro

Berdasarkan model hasil *Multivariate Linear Regression* (MLR) didapat hasil peta sebaran biomassa atas permukaan terhitung total 151.938,0456 ton. Sebaran nilai AGB yang tinggi (>500 ton/ha) kebanyakan terdapat pada sub-wilayah Tempel, Siwalan, dan Watututup, sebaran nilai AGB menengah (200–500 ton/ha) kebanyakan berada pada sub-wilayah Rempong dan Jimbaran, sementara sebaran nilai AGB rendah (<200 ton/ha) kebanyakan berada pada sub-wilayah Ngaglik, Bulu, dan Klesem.

Berdasarkan model hasil *Multivariate Linear Regression* (MLR) didapat hasil peta sebaran biomassa atas permukaan terhitung total 151.938,0456 ton. Sebaran nilai AGB yang tinggi (>500 ton/ha) kebanyakan terdapat pada sub-wilayah Tempel, Siwalan, dan Watututup, sebaran nilai AGB menengah (200–500 ton/ha) kebanyakan berada pada sub-wilayah Rempong dan Jimbaran, sementara sebaran nilai AGB rendah (<200 ton/ha) kebanyakan berada pada sub-wilayah Ngaglik, Bulu, dan Klesem.

Tabel 10. Kelas AGB dan jumlah luasannya

AGB (ton)	Luas Area	
	ha	Persentase (%)
< 200	473,671	66,023
200 - 500	209,846	29,249
> 500	33,921	4,728

IV.6 Uji Akurasi

Hasil uji akurasi berdasarkan *test dataset* didapat *root mean square error* (RMSE) adalah sebesar 32,812 ton/ha. Model prediksi terbaik yang dihasilkan oleh metode MLR kombinasi dari berbagai variabel turunan hamburan balik radar menghasilkan kesalahan yang paling kecil. Kesalahan yang dihasilkan oleh kombinasi polarisasi PALSAR-2 memiliki keunggulan yang signifikan dibanding penggunaan salah satu polarisasi PALSAR-2. Hubungan antara AGB referensi hasil data lapangan dan AGB prediksi berkorelasi sebesar 82% dengan koefisien determinasi sebesar 0,673. Hasil ini cukup terbilang cukup tinggi dengan mempertimbangkan jumlah *training dataset* yang digunakan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian dan menjawab rumusan masalah yang dibahas adalah :

1. Secara keseluruhan *aboveground biomass* (AGB) dalam wilayah penelitian berada di antara 0,980 hingga 6421,832 ton/ha, dengan rerata 210,976 ton/ha. Kapasitas AGB di wilayah Afdeling Setro per tahun 2019 dengan luasan sebesar 702 ha dan total AGB sebesar 151.938,046 ton, yaitu sebesar 216,436 ton/ha. Dengan konsentrasi terbesar berada sub-wilayah Kalikopeng dengan total AGB 16.812,363 ton dan konstansi terkecil berada pada sub-wilayah Tempel dengan tota AGB 1679 ton. RMSE yang diperoleh dari perbandingan hasil prediksi dengan *test dataset* adalah sebesar 32,812 ton/ha dengan korelasi sebesar 82%.
2. Berdasarkan hasil uji statistik didapat bahwa Palsar-2 HH memiliki kemampuan lebih baik dalam mendefinisikan AGB tanaman karet dengan koefisien determinasi (R^2) untuk tahun 2017 dan 2018 berturut adalah 0,032 dan 0,111. Namun dengan menggunakan variabel turunan radar backscatter yaitu R_HHHV, R_HVHH, HH mean, HV mean, R2D_HH, dan R2D_HV didapat model baru dengan spesifikasi Sig. F sebesar 0,007 dan p-Value<0,1 dengan menggunakan metode *Multivariate Linear Regression* (MLR) dengan perbaikan koefisien determinasi (R^2) menjadi 0,673.

V.2 Saran

Berikut adalah saran yang perlu diperhatikan bagi peneliti selanjutnya agar dapat dilaksanakan dengan lebih baik yaitu :

1. Metode pengambilan data lapangan diperbaiki dengan menggunakan alat yang mampu menghasilkan posisi yang akurat dan pengukuran profil pohon dengan alat yang khusus.
2. Penggunaan citra Palsar-2 dengan *full-polarization* agar dapat menghasilkan indeks vegetasi dari citra SAR sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut dan akurat karena berasal dari sensor yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

Arison dang, Virgus. (2015). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Metode Segmentasi Berbasis Algoritma Multiresolusi. *Jurnal Geodesi Universitas Diponegoro*.4(1):10-19.

Brown, Sandra. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134). FAO, Rome.

Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Ghasemi N, Sahebi MR, Mohammadzadeh A (2011) A review on biomass estimation methods using synthetic aperture radar data. *Int J Geomat and Geosci* 1(4):776–788.

IPCC, (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme.

Katmoko, S. dkk. (2005). Klasifikasi Data Polarimetrik Radar Dengan Menggunakan Metode Dekomposisi Cloude&Pottier. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*.

Le Toan TB, Beaudoin A, Riom J, Guyon D (1992) Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing* 30(2):403–411.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W. (2008) *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken. 69, 146-166.

Mougin, E., Proisy, C., Marty, G., Fromard, F., Puig, H., Betoulle, J. L., et al. (1999). Multifrequency and multipolarization radar backscattering from mangrove forests, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(1), 94-102.

Nawangwulan, Nila Hapsari. (2013). Analisis Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Hasil Produksi Tanaman Pangan di Kabupaten Pati Tahun 2001-2011. Skripsi, Semarang: Departemen Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Ranson KJ, Sun G. (1994) Mapping biomass of a northern forest using multifrequency SAR data. *IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing* 32:388–396.

Saatchi, Sassan. (2019). “SAR Methods for Mapping and Monitoring Forest Biomass.” *SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. Eds. Flores, A., Herndon, K., Thapa, R., Cherrington, E. NASA. 2019. DOI: 10.25966/hbm1-ej07.

Sarker, M., Rahman, L., Janet, N., Baharin, A., Busu, I., & Alias, A.R. (2012). Potential of texture measurements of two-date dual polarization PALSAR data for the environment of forest biomass estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

Sutaryo, Dandun. (2009). *Penghitungan Biomassa “Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon”*. Bogor : Wetlands International Indonesia Programme.

Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&B*. Bandung : Alfabeta.

T.A., Marland, G., and Andres, R.J. (2017). *Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2Emissions*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017.

Uyanik, G. (2013). Study of Multiple Linear Regression Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 106 (2013) 234 – 240.