

PENDUGAAN POTENSI CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN PADA HUTAN MANGROVE DI KUBU RAYA MENGUNAKAN CITRA ALOS PALSAR (ABOVEGROUND FOREST CARBON STOCK ESTIMATION IN KUBU RAYA MANGROVES BY USING ALOS PALSAR IMAGERY)

Yudi Fatwa Hudaya*)¹, Hartono), Sigit Heru Murti**), Yayan Hadiyan*)**

***) Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan
Kementerian Kehutanan**

Jln. Palagan Tentara Pelajar, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

****) Universitas Gadjah Mada**

Jln. Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, Indonesia

¹e-mail:yudi210@yahoo.com,

Diterima 16 Maret 2015; Direvisi 18 Mei 2015; Disetujui 20 Mei 2015

ABSTRACT

The need for sufficient forest carbon stock measurement system which encompasses a faster and covering broader geographic area is now growing, one of which is the use of synthetic aperture radar (SAR). The objectives of this study were to demonstrate the advantage of ALOS PALSAR application for carbon quantification in mangroves, which apparently provided better relationship in between the L-band backscatters of ALOS PALSAR and the actual aboveground allometric based forest carbon stock of mangroves, compared with previous studies in other types of forest i.e. in tropics or temperate lowland until mountain forests. The better relationship explained by the coefficient of determination (R^2) of 62 % based on HH polarization with the equation model of $Y=1647e^{0,358BS_HH}$ and 98.6 % based on HV polarization with the equation model of $Y = 6,828BS_HV^2 + 279,4BS_HV + 2870$. While previous studies mentioned the R^2 were only 61% - 76%. The models obtained subsequently were subjected to total carbon quantification and their distributions geographically. The quantity of aboveground biomass of mangrove forest in Kubu Raya Regency was found as 178.43 Mg/ ha, while the aboveground carbon was 5,334,454.9 Mg (Mega grams) or 5.3 Mt (Mega tons) of carbon, and the capacity of carbon dioxide (CO₂) sequestration was 19.451 Mt (megatons) CO₂ equivalent. The 71,069.21 ha area of mangrove forests in Kubu Raya if they were avoided from further deforestation and forest degradation, it will contribute to reduce the rate of GHG (Green House Gas) emissions from forestry sector by 0.76%.

Keywords: *ALOS PALSAR, Mangrove, Allometric, Carbon.*

ABSTRAK

Kebutuhan akan sistem pendugaan cadangan karbon hutan yang memadai dengan cakupan wilayah geografis yang lebih luas dan waktu pengukuran yang lebih cepat saat ini mulai diperhatikan, salah satu diantaranya melalui pemanfaatan citra satelit *synthetic aperture radar* (SAR). Penelitian ini ditujukan untuk membuktikan keunggulan aplikasi *ALOS PALSAR* dalam kegiatan kuantifikasi karbon pada hutan mangrove. Dibandingkan dengan penelitian-penelitian sejenis lainnya pada berbagai tipe hutan tropis maupun *temperate* dataran rendah sampai pegunungan, penerapan pada hutan mangrove, gelombang-L pada citra *ALOS PALSAR* secara signifikan terbukti memiliki sensitivitas yang lebih baik terhadap nilai kandungan karbon *aboveground* aktual hasil pengukuran berbasis alometrik di lapangan. Hubungan yang lebih baik diperoleh dengan koefisien determinasi mencapai 62% pada polarisasi *HH* dengan bentuk persamaan $Y=1647e^{0,358BS_HH}$ dan, 98,6% pada polarisasi *HV* dengan bentuk persamaan $Y = 6,828BS_HV^2 +$

279,4BS_HV + 2870. Sementara pada penelitian sebelumnya (R^2) hanya 61% - 76%. Model penduga yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menghitung jumlah cadangan karbon dan sebarannya secara geografis. Kandungan biomassa di atas permukaan pada hutan mangrove di Kabupaten Kubu Raya diketahui 178,43 Mg/ha; sedangkan potensi karbon di atas permukaan diketahui 5.334.454,9 Mg (Megagram) atau 5,3 Mt (Megaton) karbon, dan kemampuan dalam menyerap karbondioksida (CO_2) adalah 19,451 Mt (Megaton) CO_2 *equivalent*. Hutan mangrove di Kubu Raya dengan luas 71.069,21 hektar apabila dipertahankan keberadaannya akan berkontribusi mengurangi tingkat emisi GRK (Gas Rumah Kaca) dari sektor kehutanan sebesar 0,76 %.

Kata kunci: ALOS PALSAR, Mangrove, Alometrik, Karbon.

1 PENDAHULUAN

Hutan mangrove sebagai bagian dari hutan primer dianggap sebagai kantung karbon yang penting karena diperkirakan memiliki potensi cadangan karbon tertinggi di kawasan tropis, yaitu sekitar 1023 Mg C per hektar (Donato, 2011). Indonesia memiliki areal hutan mangrove terluas di dunia melebihi Brazil, Nigeria dan Australia. Luas hutan mangrove di Indonesia 2005 mencapai 3.062.300 ha (FAO, 2007). Namun demikian, tingkat konversi lahan mangrove untuk dijadikan Areal Penggunaan Lain (APL) menjadikan hutan mangrove sebagai salah satu sumber emisi Gas Rumah Kaca (GRK) utama dalam sepuluh tahun terakhir (Murdiyarsa, 2009). Oleh karena itu, mengetahui cadangan carbon hutan mangrove dalam upaya mitigasi perubahan iklim menjadi sangat penting.

Di sisi lain, meskipun ekosistem mangrove memiliki tingkat asimilasi dan penyerapan karbon tertinggi di kawasan tropis, data tentang jumlah simpanan karbon dan distribusinya secara spasial pada tipe ekosistem ini sangat minim. Menurut CIFOR (2012), salah satu penyebabnya adalah kesenjangan kapasitas yang sangat serius terkait kemampuan mengukur dan memantau jumlah emisi GRK di negara-negara berhutan tropis, termasuk Indonesia.

Di antara metode penginderaan jauh yang tersedia saat ini, penggunaan data *Synthetic Aperture Radar* (SAR) untuk tujuan pendugaan dan pendeteksian perubahan cadangan karbon masih merupakan yang terbaik

yang bisa dicapai (Scott, 2009; Pons, 2010). Generasi terbaru instrumen SAR yang khusus ditujukan untuk penelitian biomassa dengan menggunakan gelombang-L diantaranya terdapat pada satelit *Advanced Land Observing Satellite-Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar* (ALOS PALSAR).

Sejauh ini aplikasi citra ALOS PALSAR banyak ditemukan pada penelitian-penelitian kuantifikasi karbon untuk tipe-tipe hutan tropis maupun *temperate* dataran rendah sampai pegunungan, dengan koefisien determinasi (R^2) mencapai 61% - 76%, sebagaimana dilaporkan Mitchard (2009) pada hutan alam tropis (*savana* dan *woodland*) di Kamerun, Uganda, dan Mozambik menggunakan data Citra ALOS PALSAR peliputan 2007 resolusi 12,5 m. Aplikasi sejenis juga dilakukan Rosalina (2010) pada hutan Rakyat di Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta, menggunakan data Citra ALOS PALSAR resolusi 12,5 m dan Ni (2012) pada hutan alam campuran jenis konifer dan jenis daun lebar yang menggugurkan daun (*deciduous tree*) di Pengunungan Changbai, Provinsi Jilin, China, menggunakan data Citra ALOS PALSAR resolusi 50 m. Metode yang hampir sama juga telah dilakukan Qirom (2012) dan Wahyuni (2014). Namun demikian, aplikasi citra ALOS PALSAR untuk tujuan kuantifikasi karbon pada hutan mangrove masih sangat sulit ditemukan. Oleh karena itu, hasil penelitian aplikasi ALOS PALSAR pada perhitungan karbon hutan Mangrove akan sangat berguna dan menjadi acuan penting dalam *update*

metode perhitungan karbon baik di tingkat internasional maupun Indonesia.

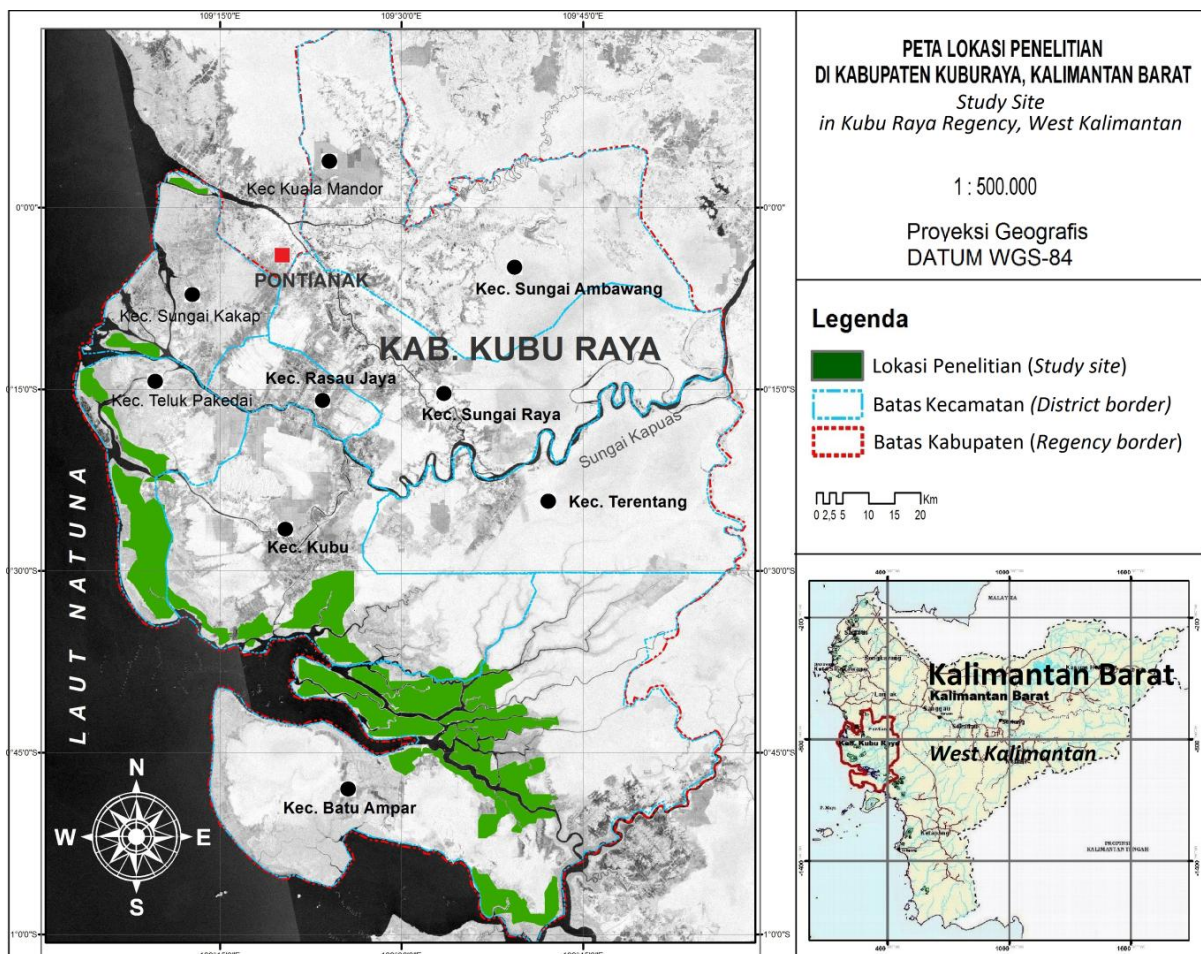
Salah satu areal mangrove yang masih memiliki tutupan hutan yang cukup luas ditengah tekanan konversi lahan yang terus berlangsung adalah hutan mangrove di Kabupaten Kubu Raya. Badan Pertanahan Nasional Kabupaten Kubu Raya (2007) melaporkan bahwa dari total luas wilayah kabupaten 695.820 ha, masih terdapat tutupan hutan mangrove seluas 100.914,63 ha. Penelitian mengenai aplikasi ALOS PALSAR dalam pendugaan cadangan karbon pada hutan mangrove di kabupaten tersebut akan sangat bermanfaat bagi upaya mitigasi perubahan iklim, baik di tingkat

lokal maupun Kalimantan Barat. Tujuan dari penelitian ini adalah membuktikan tingkat sensitivitas gelombang L citra ALOS PALSAR pada tipe hutan mangrove dan menghitung jumlah cadangan karbon di atas permukaan dan sebarannya secara geografis pada hutan mangrove yang ada di Kabupaten Kubu Raya berdasarkan citra ALOS PALSAR.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Penelitian dilaksanakan pada Juni-Desember 2013, berlokasi di Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, secara astronomis terletak pada 108°35'BT - 109°58'BT dan 0°44'LU-1°01'LS.



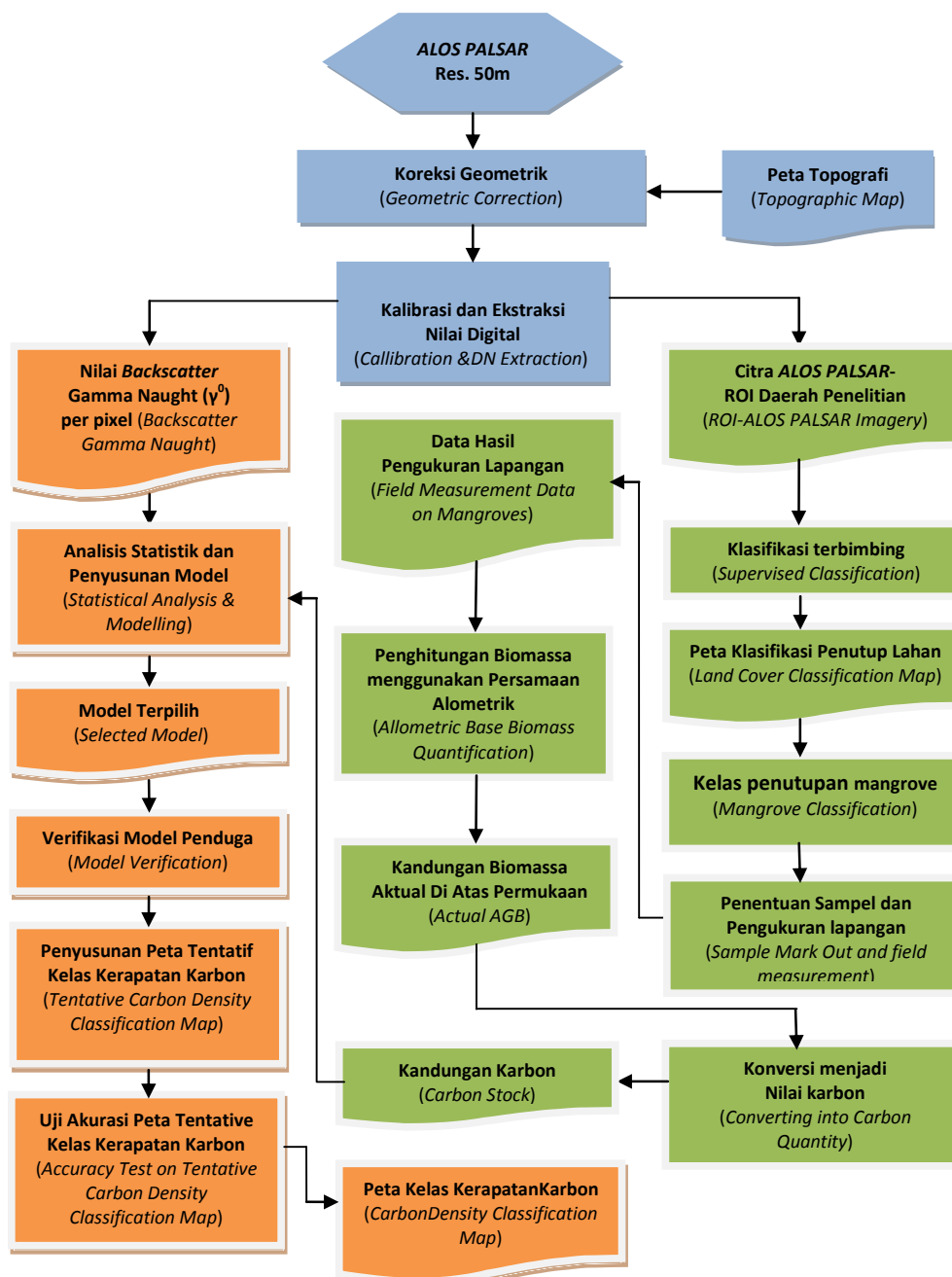
Gambar 2-1: Peta lokasi penelitian (Sumber data: Citra ALOS PALSAR Res.50m 2009, dan Peta Topografi Kabupaten Kubu Raya sebagai peta dasar)

Data yang digunakan yaitu citra ALOS PALSAR level 1.5 (1270 MHz Gelombang-L); resolusi spasial 50m; tahun perekaman 2009; tipe polarisasi *Fine Beam Dual (FBD) Horizontal-Horizontal (HH)* dan *Horizontal-Vertical (HV)*; sudut perekaman 34,3 derajat; ROI Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, Peta Topografi Kabupaten Kubu Raya (Helai 10/VII-t Padang Tikar), skala 1: 50.000, Peta Lingkungan Laut Nasional, skala 1 : 500.000, dan data hasil pengukuran lapangan berupa data dimensi pohon jenis-jenis mangrove

(kayu, daun, akar tunjang, akar lutut), dan sampah kayu (*nekromass*).

2.2 Metode

Kegiatan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahap yaitu diawali dengan pengolahan citra digital, pengambilan data lapangan berdasarkan hasil pengolahan citra, dilanjutkan dengan pengolahan data lapangan, pengolahan data citra, pembuatan model penduga biomassa, dan pemetaan karbon (Gambar 2-2).



Gambar 2-2: Diagram alir metode penelitian

2.2.1 Ekstraksi nilai backscatter

Nilai *backscatter* diperoleh dengan membuat *buffer* pada titik pengamatan di lapangan dengan ukuran *buffer* 2 × 2 piksel pada resolusi 50 m atau setara dengan 100×100 m menggunakan ekstensi *square buffer* pada ArcGIS 9.3. Hal ini dilakukan berdasarkan pertimbangan pergeseran citra dengan *Root Mean Squared Error* (RMSE) tidak melebihi 0,5; kemudian *Square buffer* tersebut digunakan sebagai *ROI* (*Region of Interest*). Setiap nilai piksel yang termasuk didalamnya selanjutnya dikalibrasi menjadi nilai hamburan balik (*backscatter*) dengan menggunakan formulasi dari Shimada et al. (2009) untuk memperoleh nilai *sigma naught* (σ^0) sebagai berikut:

$$NRCS(dB) = 10 \cdot \log_{10}(\langle DN^2 \rangle) + CF \quad (2-1)$$

Dimana:

NRSC (*Normalized Radar Cross Section*) = Nilai *backscatter*

DN² = Derajat nilai digital

CF (faktor kalibrasi) = -83,0

Selanjutnya untuk menghilangkan efek pengambilan gambar miring citra radar pada berbagai ketinggian tempat di permukaan bumi mengacu pada pendapat Crapolicchio (2003) perlu

dikoreksi lagi, sehingga diperoleh nilai *gamma naught* (γ^0), menggunakan rumus:

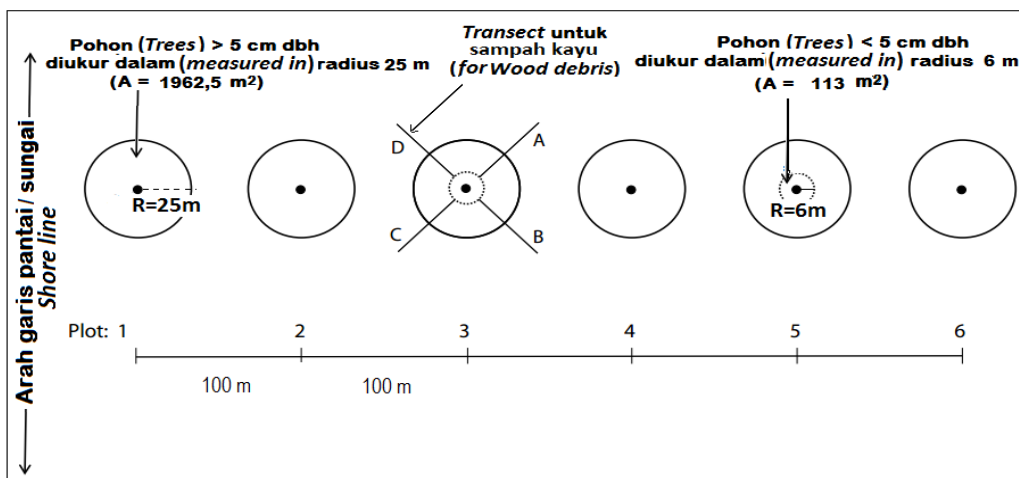
$$\gamma^0_{linier} = \frac{\sigma^0_{linier}}{\cos\theta} \quad (2-2)$$

Dimana:

θ = sudut insiden pengambilan gambar pada citra radar.

2.2.2 Pengambilan data lapangan

Pengambilan data lapangan didahului dengan membuat 42 *plot* contoh yang ditempatkan secara transek (menyilang) terhadap batas-batas perubahan ekologis pada hutan mangrove di Kabupaten Kubu Raya. Sebanyak 27 *plot* contoh diantaranya digunakan untuk tujuan penyusunan model, dan 15 *plot* contoh lainnya digunakan untuk uji akurasi penghitungan biomassa model. Bentuk *plot* yang digunakan mengacu pada bentuk *plot* menurut Kauffman dan Donato (2012) yaitu *plot* cluster model linier (Gambar 2-3). Ukuran *plot* contoh disesuaikan, dengan radius 25 m (0,2 ha) atau sama dengan lebar 1 piksel pada citra ALOS PALSAR resolusi 50 m, *plot* tersebut ditempatkan di dalam *square buffer* seluas 1 ha (2 x 2 piksel) pada koordinat yang sama. Pergeseran *plot* seluas 0,2 ha (1 x 1 piksel) di dalam *square buffer* seluas 1 ha (2 x 2 piksel) ini telah diperhitungkan dengan syarat RMSE tidak melebihi 0,5.



Gambar 2-3: Rancangan *plot cluster model linier* untuk pengukuran biomassa pada hutan mangrove (Dimodifikasi dari sumber: Kauffman dan Donato, 2012)

Parameter yang dicatat dan diukur dalam plot pengamatan meliputi nama jenis pohon, diameter pohon setinggi dada (dbh: 1,37m) dari pohon-pohon dengan diameter > 5 cm, maupun < 5 cm termasuk pohon mati, sampah kayu (*Nekromass*); parameter sampah kayu besar maupun kecil diukur menggunakan teknik intersepsi planar *plot* makro seperti terlihat pada Gambar 2-3. Dalam pengambilan sampel untuk memperoleh data dimensinya, sampah kayu dikategorikan ke dalam empat kelas ukuran berdasarkan konstanta interval waktu (*timelag*) yaitu: kelas ukuran 1 jam, 10 jam, 100 jam, dan 1000 jam (Kauffman dan Donato, 2012).

2.2.3 Penghitungan biomassa aktual

Penghitungan biomassa aktual di lapangan dilakukan menggunakan model persamaan alometrik jenis-jenis pohon mangrove yang sudah ada. Diameter pohon (*dbh*) dan nilai kerapatan kayu digunakan sebagai parameter penduga biomassa. Sedangkan untuk biomassa sampah kayu (*Nekromass*) diperoleh dengan cara mengalikan nilai volumenya dengan bilangan konversi berat gravitasi. Bilangan konversi berat gravitasi yang digunakan yaitu masing-masing 0,48; 0,64; dan 0,71 untuk sampah kayu kecil dan 0,69 untuk sampah kayu besar (Kauffman dan Donato, 2012), sehingga masing-masing diperoleh berat biomassa sampah kayu dalam satuan Mg/ha (Megagram per hektar).

2.2.4 Penyusunan model penduga

Penyusunan model pendugaan biomassa di atas permukaan (*aboveground biomass*) mengacu pada Lu (2006). Analisis regresi merupakan cara yang umum dilakukan untuk penyusunan model tersebut. Beberapa model matematik seperti model linier, polinomial, dan eksponensial digunakan untuk keperluan ini. Dalam bentuk yang paling sederhana satu peubah bebas (X) dengan satu peubah tak bebas

(Y) mempunyai persamaan : $Y = a + b X$ (2.2.4.1) dengan (a) adalah intersep, dan (b) adalah koefisien arah. Untuk model polinom persamaannya adalah $Y_i = b_0 + b_1X_i + b_2X_i^2 + b_3X_i^3 + \dots + b_pX_i^p$ (2.2.4.2), disini $i = 1, 2, 3, \dots, n$ (n adalah banyaknya data), sedangkan untuk model eksponensial $Y_i = ae^{bX_i}$ (2.2.4.3), dimana penggunaan bilangan dasar $e=2,71828$ dimaksudkan untuk mempermudah dalam menjelaskan turunan dan integral dari fungsi tersebut (Euler, 1783 dalam Rawlings, 1988). Model terbaik yang dihasilkan ditentukan oleh nilai koefisien determinan (R^2) yang nilainya $0 \leq R^2 \leq 1$ atau koefisien korelasi (R) yang nilainya $-1 \leq R \leq 1$. Koefisien determinan menunjukkan proporsi keragaman total dalam respon Y yang dapat terangkan oleh X berdasarkan model persamaan garis regresi yang digunakan (Rawlings, 1988). Nilai signifikansi digunakan untuk menentukan taraf beda nyata atau linieritas dari regresi, dengan ketentuan jika nilai Sig. < 0,05 ; maka model regresi adalah linier atau layak untuk digunakan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

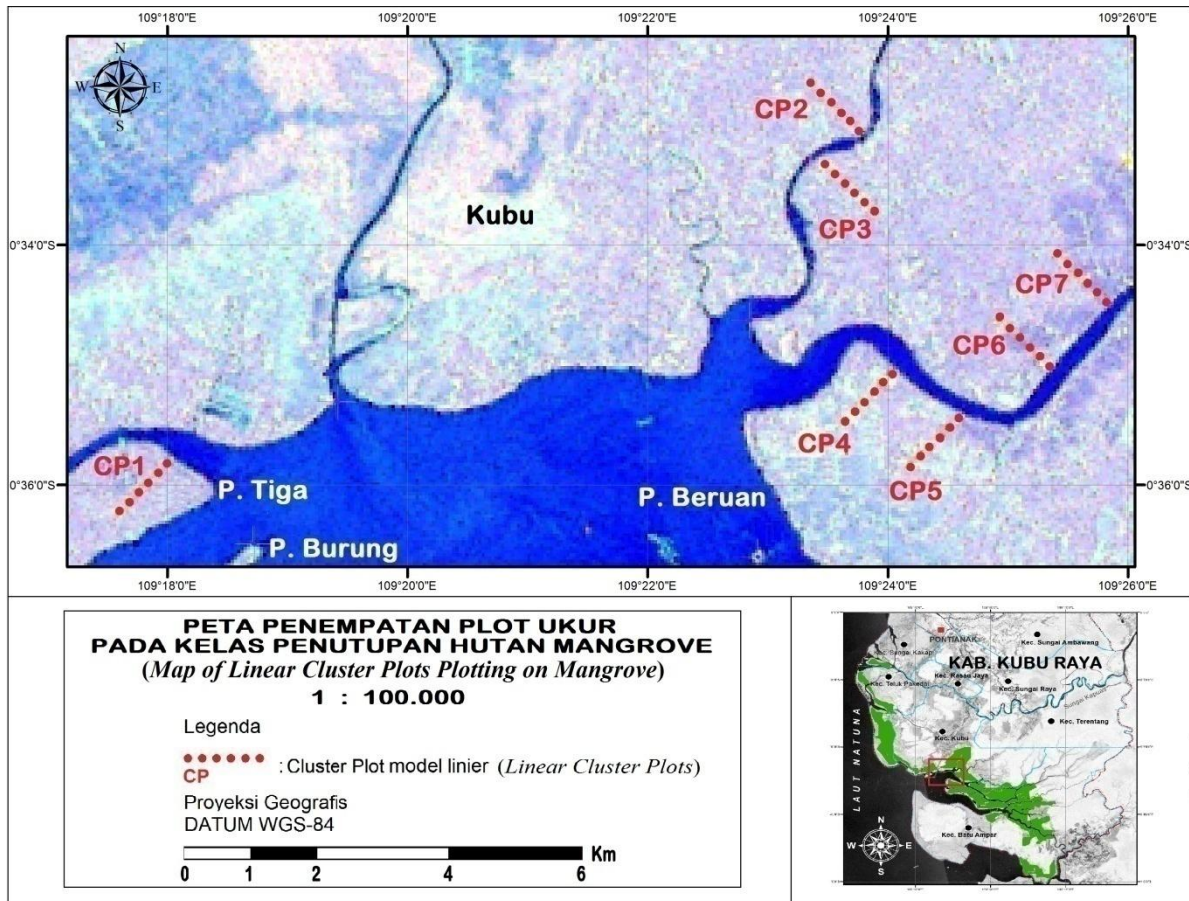
Penggunaan citra ALOS PALSAR untuk pendugaan karbon pada hutan mangrove menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pada tipe-tipe hutan lainnya seperti pada tipe-tipe hutan tropis maupun *temperate* dataran rendah sampai pegunungan. Hal ini diduga karena sifat dielektrik obyek yang merupakan parameter penting dalam sistem radar muncul akibat kondisi alami hutan mangrove yang selalu tergenang. Disamping pantulan alami sinyal radar seperti pantulan *diffuse* dan pantulan *corner*, secara spesifik data pantulan *specular* akibat kondisi tergenang ini justru bersifat menguntungkan dan berpengaruh signifikan terhadap tingkat sensitivitas gelombang-L sebagai penanda volumetrik biomassa, karena menghasilkan data

tambahan berupa pantulan *double bounced* dari permukaan air dan batang pohon, sehingga diduga meningkatkan perolehan data biofisik obyek secara 3 dimensi.

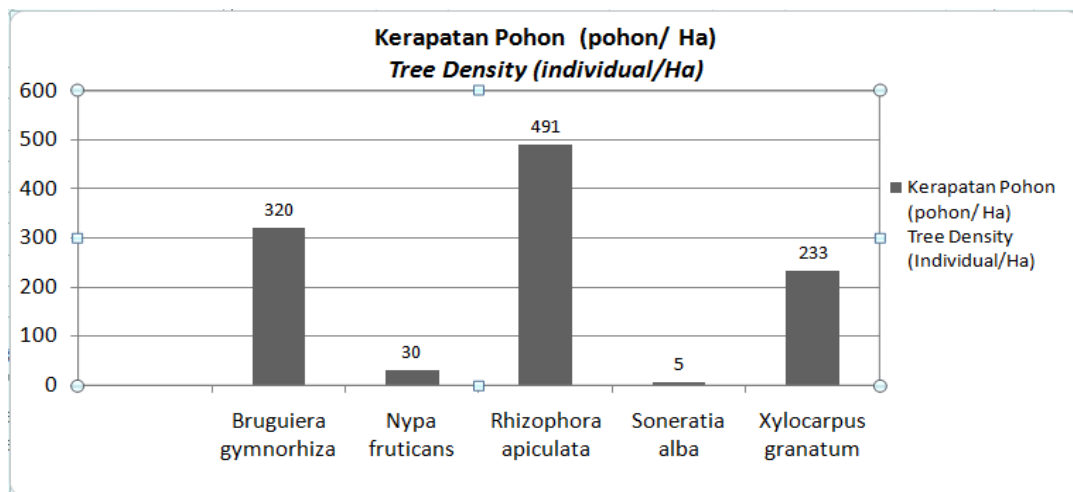
Pemilihan *cluster plot* model linier dalam pengambilan sampel juga dianggap membantu meningkatkan keterwakilan obyek yang ditemukan pada hutan mangrove, karena plot ditempatkan secara transek, sehingga titik-titik tersebut dapat mewakili keragaman obyek sepanjang batas perubahan ekologis baik dari aspek struktur maupun komposisinya, disamping itu juga sekaligus berfungsi sebagai *proxy* untuk meliputi keragaman nilai

backscatter yang muncul di sepanjang garis transek tersebut (Gambar 3-1).

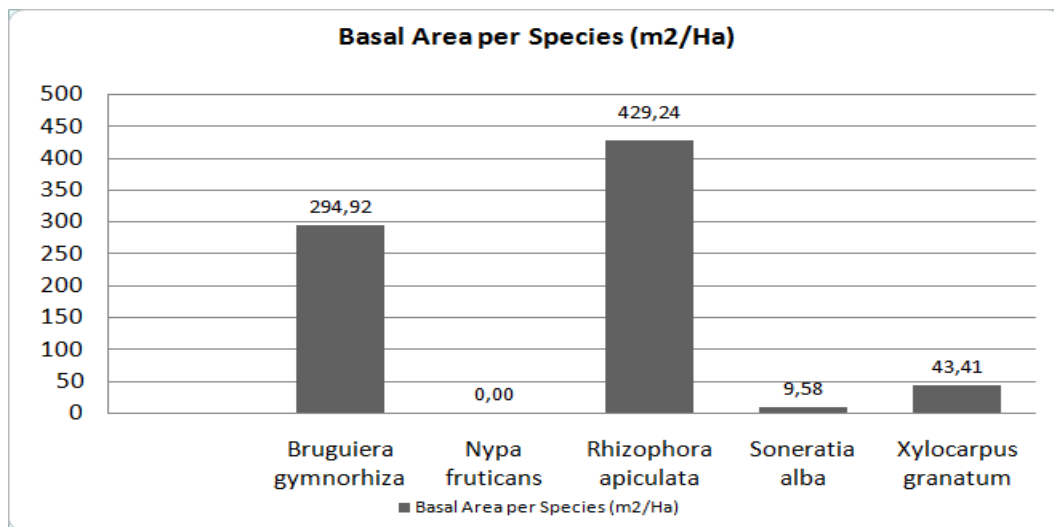
Berdasarkan hasil pengukuran pada seluruh *plot* (42 *plot* radius 25 m) ditemukan 5 jenis pohon mangrove, yaitu meliputi jenis yang dikenal baik oleh penduduk setempat sebagai jenis pohon Tumu (*Bruguiera gymnorhiza*) dari keluarga *Rhizophoraceae*, pohon Perepat (*Sonneratia alba*) dari keluarga *Sonneratiaceae*, pohon Bakau (*Rhizophora apiculata*) dari keluarga *Rhizophoraceae*, pohon Nipah (*Nypa fruticans*) dari keluarga *Palmae*, dan pohon Nyirih (*Xylocarpus granatum*) dari keluarga *Meliaceae*.



Gambar 3-1: Peta lokasi penempatan *plot* ukur di lapangan



Gambar 3-2: Tingkat kerapatan pohon dari masing-masing jenis mangrove



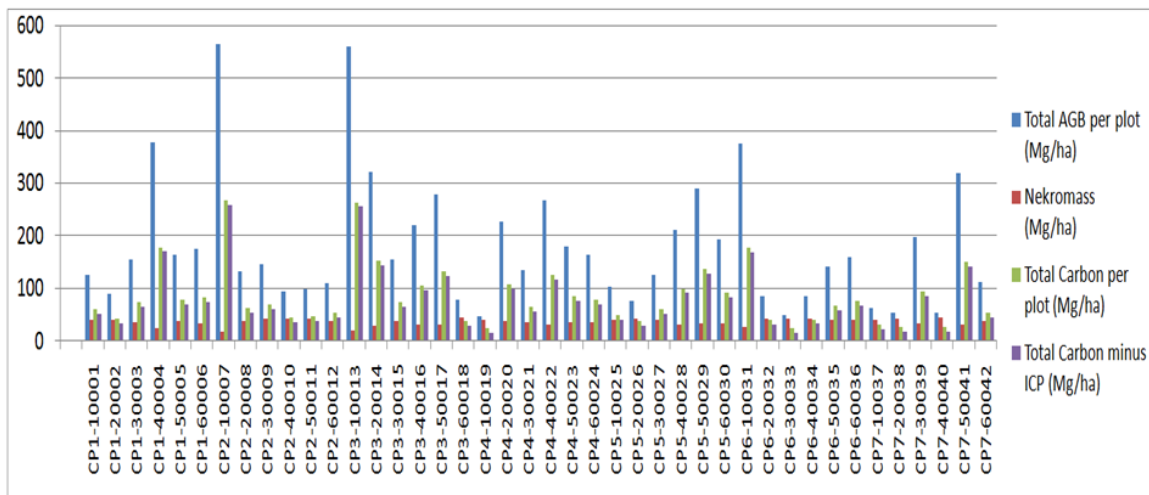
Gambar 3-3: Tingkat dominasi pohon dari masing-masing jenis mangrove dalam satuan m²/ha (*Basal area*)

Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa tingkat kerapatan tertinggi terdapat pada jenis Bakau (*Rhizophora apiculata*) yaitu 491 pohon/ha, disusul dengan jenis Tumu (*Bruguiera gymnorhyza*) 320 pohon/ha, kemudian jenis Nyirih (*Xylocarpus granatum*) 233 pohon/ha, jenis Nipah (*Nypa fruticans*) 30 pohon/ha, dan terakhir jenis Perepat (*Sonneratia alba*) 5 pohon/ha, seperti disajikan pada Gambar 3-2. Kandungan biomassa dalam *plot* tidak serta merta ditunjukkan oleh kerapatan pohon yang tinggi, melainkan juga oleh tingkat dominasi luas penampang batang masing-masing individu pohon (*basal area*)

Jenis yang paling dominan yaitu jenis Bakau (*Rhizophora apiculata*)

dengan tingkat dominasi 429,24 m²/ha, disusul dengan jenis Tumu (*Bruguiera gymnorhyza*) 294,92 m²/ha, kemudian jenis Nyirih (*Xylocarpus granatum*) 43,41 m²/ha, dan terakhir jenis Perepat (*Sonneratia alba*) 9,58 m²/ha, seperti disajikan pada Gambar 3-3.

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan menggunakan pendekatan alometrik diketahui bahwa rata-rata potensi biomassa pohon dengan diameter < 5 cm, dan > 5 cm yaitu 143,77 Mg/ha, sedangkan rata-rata potensi biomassa sampah kayu (*nekromass*) yaitu 34,66 Mg/ha. Potensi biomassa di atas permukaan (*Aboveground Biomass-AGB*) pada masing-masing *plot* ukur dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4: Jumlah kandungan biomassa di atas permukaan pada masing-masing plot ukur

Nilai kandungan biomassa di atas permukaan (AGB) pada hutan mangrove di Kabupaten Kubu Raya merupakan jumlah total dari rata-rata biomassa pohon (143,77 Mg/ha) dan rata-rata biomassa sampah kayu atau *Nekromass* (34,66 Mg/ha) yaitu diketahui sebesar 178,43 Mg/ha. Nilai potensi biomassa tersebut kemudian dikonversi menjadi nilai karbon yaitu diketahui sebesar 83,86 Mg/ha. Nilai karbon yang dihasilkan kemudian dikoreksi menggunakan angka *Increment Carbon Pool* (ICP), yaitu 2,2 Mg/ha/tahun, mengacu pada buku pedoman IPCC (2003). Rata-rata potensi karbon di atas permukaan (*aboveground biomass carbon*) di Kabupaten Kubu Raya setelah dikoreksi diketahui sebesar 75,06 Mg/ha.

Penggunaan angka ICP mutlak diperlukan sebelum dilakukan penyusunan model, yaitu untuk memperbaiki diskrepansi data yang diakibatkan perbedaan waktu akuisisi citra *ALOS PALSAR* (2009) dengan waktu pengambilan data lapangan (2013), sehingga dampaknya yaitu berupa kesalahan pendugaan dapat langsung terkoreksi. Ketidaksesuaian ini terjadi biasanya karena keterbatasan dalam pengadaan citra. Apabila memungkinkan kondisi perbedaan waktu akuisisi citra dengan waktu pengambilan data lapangan ini sebaiknya dihindari.

Pendugaan potensi karbon di atas permukaan (*Aboveground biomass*

carbon) pada hutan mangrove di Kubu Raya menggunakan citra *ALOS PALSAR* diketahui berdasarkan hasil perhitungan luas penutupan hutan mangrove dikalikan dengan jumlah karbon per hektar [71.069,21 ha x 75,06 Mg/ha] yaitu 5.334.454,9 Mg (Megagram) atau 5,3 Mt (Megaton) karbon. Sedangkan kemampuan dalam menyerap CO₂ diketahui berdasarkan hasil perhitungan menggunakan bilangan *equivalent* 3,67. Bilangan *equivalent* ini diperoleh dari konversi unsur karbon (C) ke unsur karbondioksida (CO₂), dimana massa atom C=12 dan O=16, maka CO₂ = [(1x12)+(2x16)=44]; [44:12=3,67]. Dengan demikian kemampuan hutan mangrove di Kubu Raya dalam menyerap karbondioksida (CO₂) adalah sebesar 5,3 x 3,67 = 19,451 Mt (Megaton) CO₂ *equivalent*. Berdasarkan hasil survei PEACE (2007) diperkirakan tingkat emisi karbon dari sektor kehutanan di Indonesia sampai dengan 2003 mencapai 2563 Mt (Megaton) CO₂ *equivalent*.

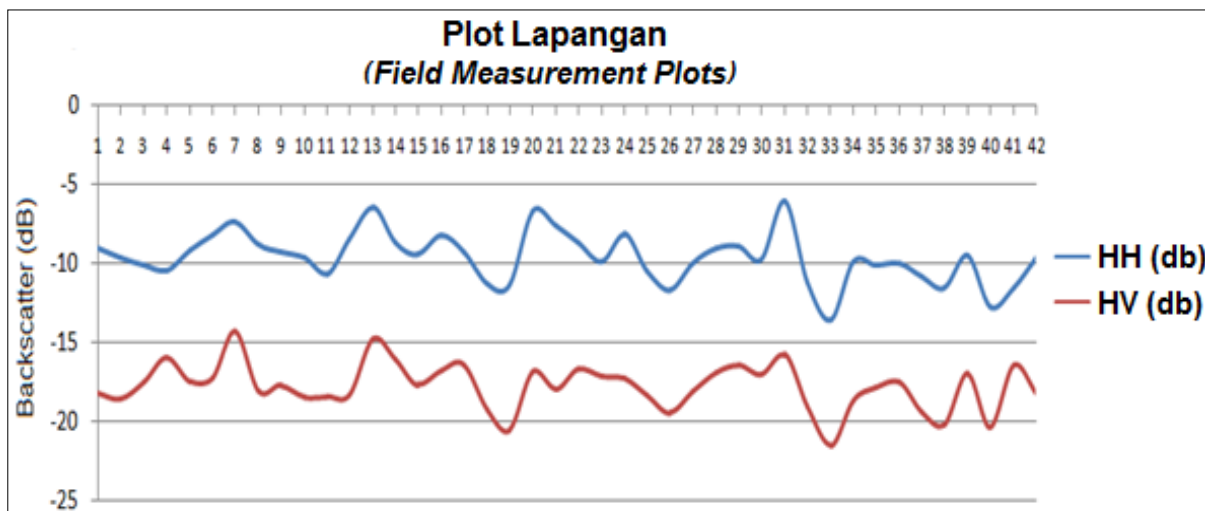
Kisaran nilai koefisien *backscatter* dari seluruh titik koordinat plot (42 plot) berdasarkan citra *ALOS PALSAR* pada *band HH* diketahui yaitu terendah -13,6001 dB dan tertinggi -6,01964 dB, sedangkan pada *band HV* kisaran nilai *backscatter* terendah -21,5065 dB dan tertinggi -14,2311 dB (Gambar 3-5).

Pemeriksaan bentuk garis regresi selanjutnya dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan pola

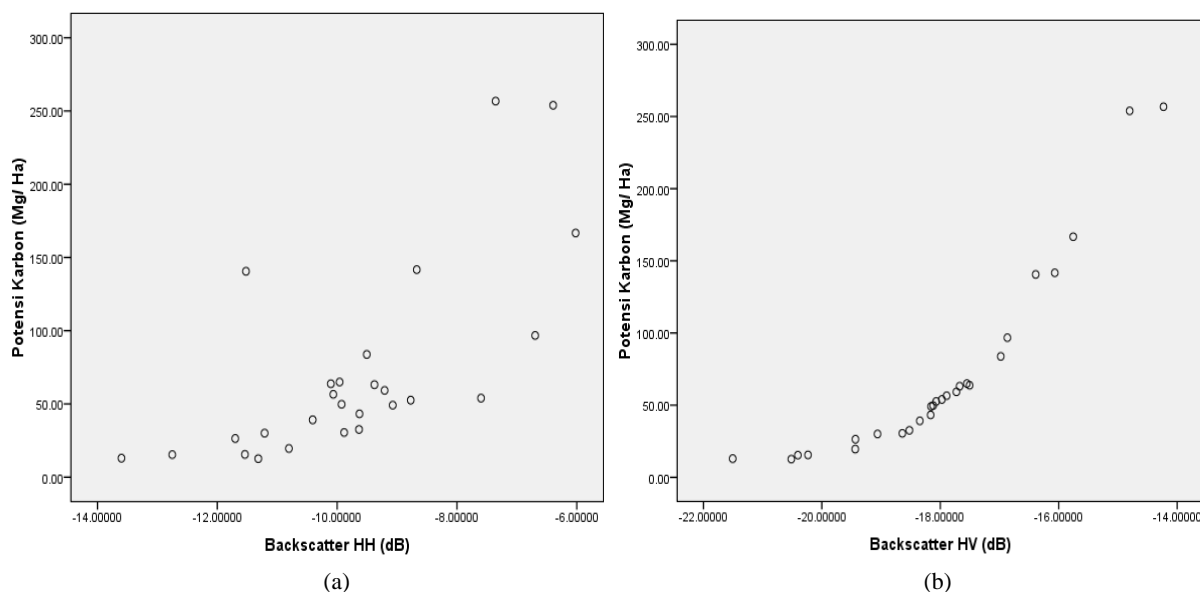
sebaran antara nilai *backscatter* citra ALOS PALSAR dengan nilai kandungan karbon. Pada tahap ini data citra telah siap untuk dikorelasikan dengan nilai karbon aktual hasil pengukuran lapangan untuk penyusunan model pendugaan karbon.

Untuk mencari model yang terbaik pada penelitian ini digunakan bentuk-bentuk persamaan regresi-korelasi meliputi model linier, model kuadrat (polinom derajat 2), model kubik (polinom derajat 3), dan model eksponensial. Dari hasil pemeriksaan

garis regresi menggunakan grafik *scatterplot* terlihat bahwa bentuk hubungan antara nilai *backscatter* citra ALOS PALSAR dengan nilai potensi karbon aktual tidak memiliki pola linier garis lurus, akan tetapi menyerupai bentuk kurva pertumbuhan, yaitu grafiknya cenderung naik dan cembung ke bawah. Berdasarkan kemiripan bentuk garis regresi tersebut, maka penyusunan model cenderung menggunakan model eksponensial dan polinomial.



Gambar 3-5: Kisaran nilai koefisien *backscatter-gamma naught* (γ^0) pada band HH dan HV, diekstrak dari citra ALOS PALSAR Res.50m.



Gambar 3-6: Grafik *scatterplot*: pola sebaran data potensi karbon dengan nilai *backscatter* pada band HH (a), dan band HV (b)

Prosedur statistik kemudian dilakukan untuk menentukan model terbaik berdasarkan nilai koefisien determinan (R^2) yang nilainya $0 \leq R^2 \leq 1$ atau koefisien korelasi (R) yang nilainya $-1 \leq R \leq 1$. Nilai signifikansi digunakan untuk menentukan taraf beda nyata atau linieritas dari regresi, dengan ketentuan jika nilai Sig. < 0,05; maka model regresi adalah linier atau layak untuk digunakan, dan berlaku sebaliknya (Steel, 1984).

Model terbaik yang dihasilkan yaitu menggunakan bentuk persamaan regresi-korelasi model eksponensial untuk polarisasi *HH* dan polinomial kuadrat (polinom derajat 2) untuk polarisasi *HV*, seperti terlihat pada Tabel 3-1 dan Tabel 3-2.

Pada penyusunan model menggunakan *backscatter HH* menunjukkan nilai koefisien korelasi (R)

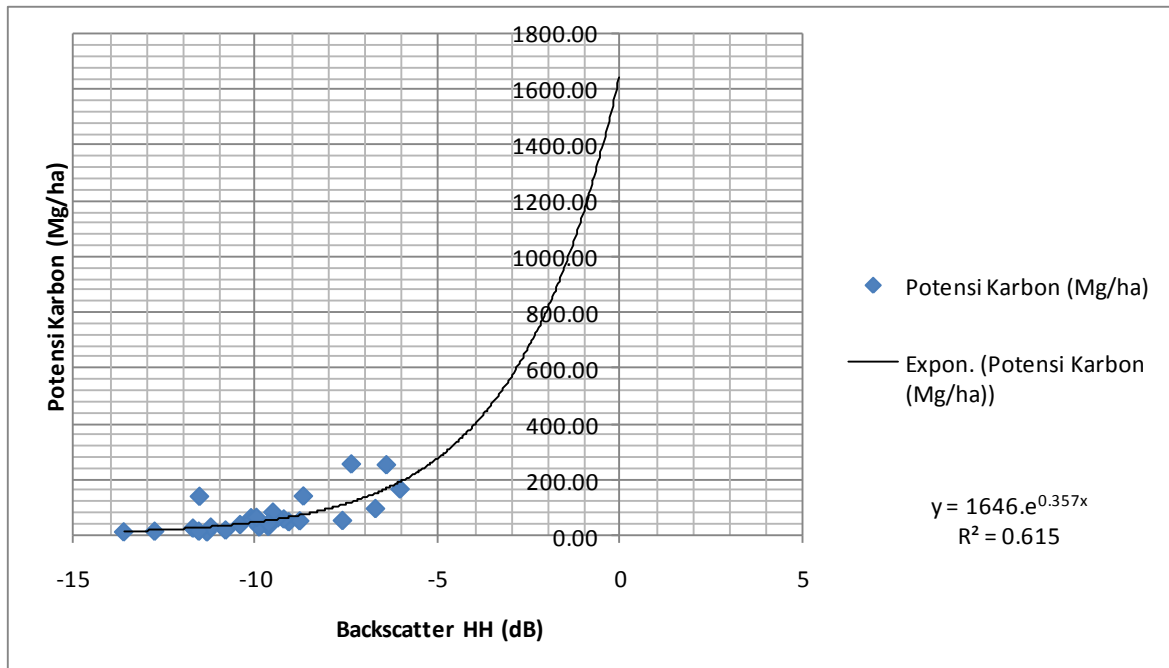
sebesar 0,784; diartikan bahwa terdapat hubungan antara nilai *backscatter HH* dengan nilai potensi karbon sebesar 78,4%. Koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan yaitu 0,615; hal ini berarti bahwa variabel-variabel bebas secara serentak mempengaruhi variabel terikat sebesar 61,5% dan sisanya yaitu $100 - 61,5\% = 38,5\%$ ditentukan oleh variabel-variabel lain yang tidak disertakan di dalam penelitian. Berdasarkan hasil uji signifikansi diperoleh nilai Sig = 0,00 (ketentuan nilai Sig.<0,005); maka model persamaan regresi berdasarkan data penelitian tersebut adalah signifikan, artinya model regresi memenuhi kriteria linieritas dan layak untuk digunakan. Koefisien *intercept* diketahui 1646; sedangkan koefisien arah 0,357; sehingga persamaan yang dihasilkan adalah $Y = 1647e^{0,358x}$ (3-1), seperti terlihat pada Gambar 3-7.

Tabel 3-1: MODEL PENDUGA POTENSI KARBON BERDASARKAN NILAI *BACKSCATTER HH* CITRA ALOS PALSAR Res.50m

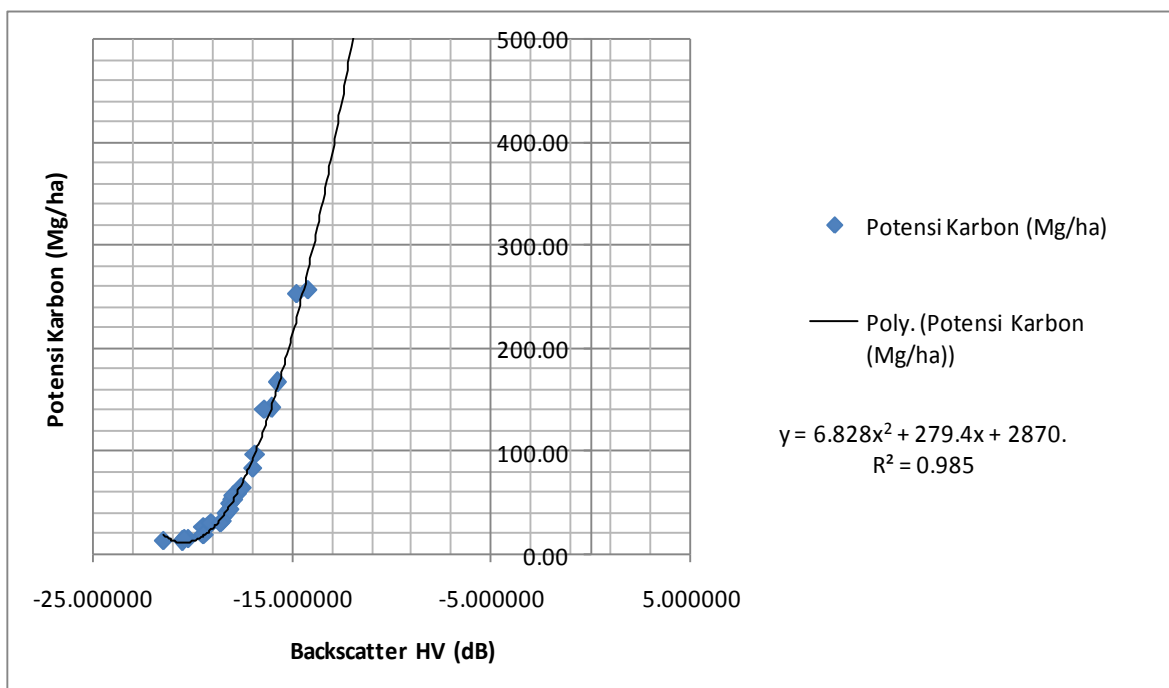
No.	Model	Persamaan	R	R ²	Sig
1.	Linier	$Y = 24,71x + 311,9$	0,688	0,473	0,000
2.	Kuadrat	$Y = 4,001x^2 + 101,3x + 665,3$	0,738	0,545	0,000
3.	Kubik	$Y = 0,325x^3 + 13,53x^2 + 191,4x + 938,8$	0,738	0,547	0,000
4.	Eksponensial	$Y = 1647e^{0,358x}$	0,784	0,615	0,000

Tabel 3-2: MODEL PENDUGA POTENSI KARBON BERDASARKAN NILAI *BACKSCATTER HV* CITRA ALOS PALSAR Res.50m

No.	Model	Persamaan	R	R ²	Sig
1.	Linier	$Y = 35,47x + 710,0$	0,905	0,819	0,000
2.	Kuadrat	$Y = 6,828x^2 + 279,4x + 2870$	0,993	0,986	0,000
3.	Kubik	$Y = - 0,062x^3 + 3,480x^2 + 220,2x + 2524$	0,993	0,985	0,000
4.	Eksponensial	$Y = 35106e^{0,491x}$	0,988	0,975	0,000



Gambar 3-7: Variasi koefisien *backscatter* HH pada berbagai potensi kerapatan karbon



Gambar 3-8: Variasi koefisien *backscatter* HV pada berbagai potensi kerapatan karbon

Pada penyusunan model menggunakan *backscatter* HV dihasilkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,993; koefisien determinasi (R²) sebesar 0,986 yang berarti bahwa variabel-variabel bebas secara serentak mempengaruhi variabel terikat sebesar 98,6% dan sisanya 1,4% ditentukan oleh variabel-variabel di luar variabel penelitian. Pada uji signifikansi diperoleh nilai Sig = 0,00

(ketentuan nilai Sig.<0,005) maka model persamaan regresi berdasarkan data penelitian tersebut adalah signifikan, atau layak untuk digunakan. Koefisien *intercept* diketahui 2870; sedangkan koefisien arah β_1 279,4 dan β_2 6,828; sehingga persamaan yang dihasilkan adalah **Y = 6,828x² + 279,4x + 2870** (3-2), seperti terlihat pada Gambar 3-8.

Verifikasi pada kedua model terbaik yang dihasilkan dilakukan menggunakan uji *t-student* berpasangan (Baker, 2006). Tujuannya adalah untuk membuktikan tidak adanya perbedaan antara potensi karbon hasil pendugaan model dengan potensi karbon hasil pengukuran lapangan. Hipotesis uji untuk kedua sampel tersebut adalah sebagai berikut:

H0 : $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (Karbon aktual = Karbon model)

H1 : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (Karbon aktual \neq Karbon model).

Model yang dianggap mewakili didasarkan pada t-hitung, dengan ketentuan jika t-hitung < t-tabel dengan nilai probabilitas (*p-value*) > 0,05 maka terima H0 dan tolak H1, artinya model penduga tersebut layak digunakan, dan sebaliknya jika t-hitung > t-tabel atau *p-value* < 0,05 maka tolak H0 dan terima H1, artinya model penduga tersebut kurang layak digunakan, hasilnya seperti disajikan pada Tabel 3-3.

Hasil verifikasi terhadap kedua model penduga baik pada polarisasi *HH* maupun *HV* menunjukkan tidak cukup bukti adanya perbedaan rata-rata antara potensi karbon hasil pendugaan model dengan potensi karbon hasil pengukuran lapangan. Signifikansi pada

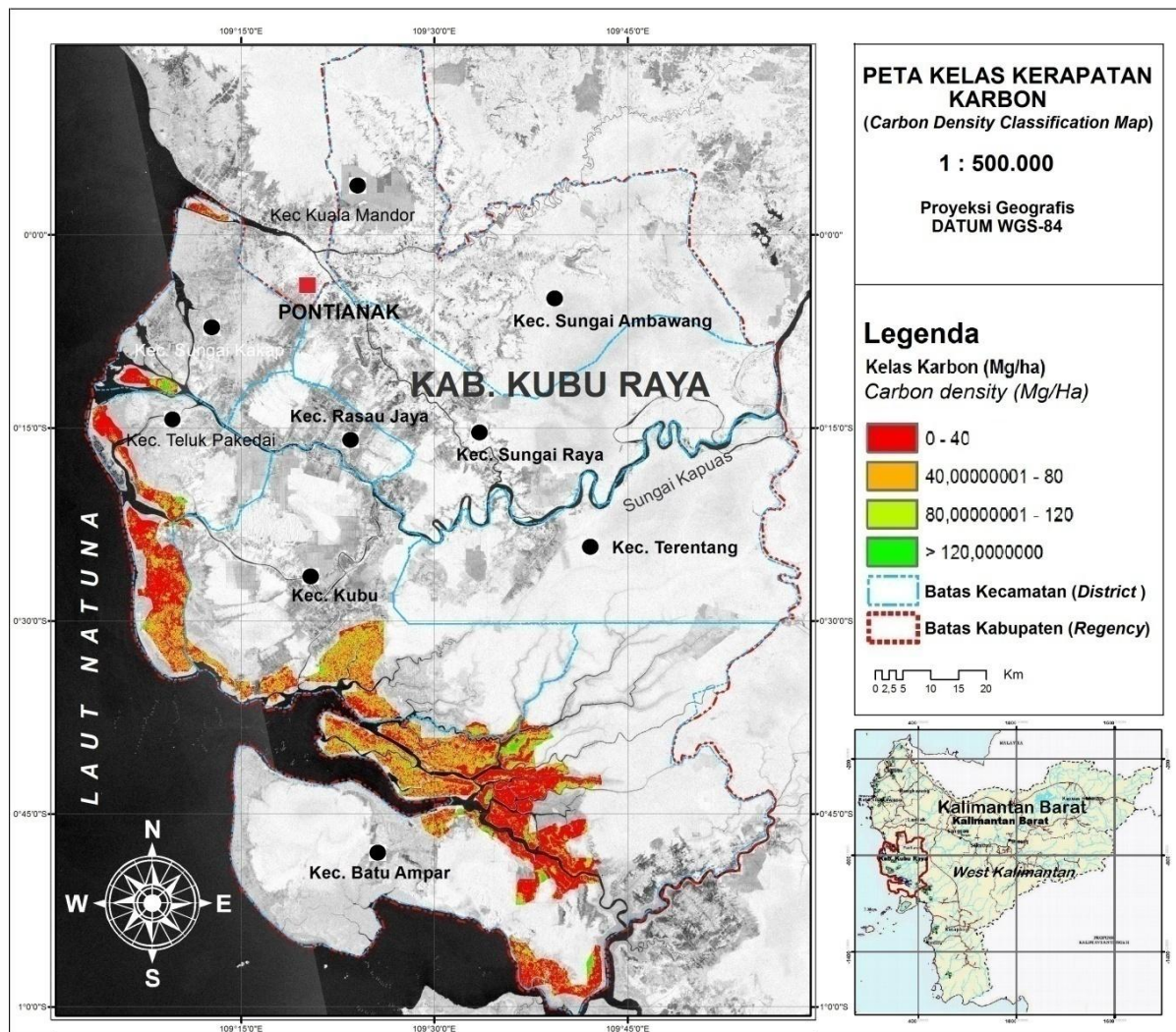
hipotesis dua arah (*2-tailed*) menghasilkan nilai probabilitas (*p-value*) 0,1002 pada model *HH* dan 0,1400 pada model *HV*, artinya tidak ada perbedaan antara hasil pendugaan menggunakan model dengan hasil pengukuran langsung dilapangan, sebab nilai *p-value* > 0,05 (95 % kepercayaan), sehingga disimpulkan bahwa kedua model tersebut (model *HH* dan model *HV*) layak digunakan sebagai penduga potensi karbon hutan khususnya pada ekosistem mangrove. Berdasarkan Uji *t-student* berpasangan, model dengan polarisasi *HV* lebih baik dibanding polarisasi *HH*, hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi *p-value* model pada polarisasi *HV* (0,1400) masih lebih tinggi dibanding *HH* (0,1002), oleh karena itu penggunaan model pendugaan potensi karbon dengan polarisasi *HV* lebih disarankan dari pada polarisasi *HH*.

Model persamaan yang telah diverifikasi tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menduga kandungan karbon pada titik-titik lainnya di seluruh areal hutan mangrove, sehingga memungkinkan untuk dibuat peta model kerapatan karbon dan distribusinya secara spasial di wilayah Kabupaten Kubu Raya (Gambar 3-9).

Table 3-3: HASIL VERIFIKASI MODEL TERPILIH MENGGUNAKAN UJI *T-STUDENT* BERPASANGAN

No.	Model	t-hitung (calculated t)	t-tabel (t-table)	Nilai-p (<i>p-value</i>)
1.	$Y=1647e^{0,358BS_HH}$	1,76016	2,14479	0,1002
2.	$Y = 6,828BS_HV^2 + 279,4BS_HV + 2870$	-1,5524	2,14479	0,1400

Keterangan: *BS_HH* = Backscatter_Horizontal-Horizontal
BS_HV = Backscatter_Horizontal-Vertical



Gambar 3-9: Peta kelas kerapatan karbon, berdasarkan persamaan $Y = 6,828BS_HV^2 + 279,4BS_HV + 2870$.

4 KESIMPULAN

Pemanfaatan citra ALOS PALSAR untuk tujuan pendugaan kandungan karbon yang diterapkan pada tipe hutan mangrove secara signifikan menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe-tipe hutan tropis maupun *temperate* dataran rendah sampai pegunungan.

Jumlah kandungan biomassa di atas permukaan (*Aboveground biomass-AGB*) pada hutan mangrove di Kabupaten Kubu Raya diketahui sebesar 178,43 Mg/ha, sedangkan potensi karbon di atas permukaan (*Aboveground biomass carbon*) diketahui sebesar 5.334.454,9 Mg (Megagram) atau 5,3 Mt (Megaton) karbon. Potensi tersebut memiliki kemampuan dalam menyerap karbondioksida (CO₂) sebesar 19,451 Mt

(Megaton) CO₂ *equivalent*, dan dapat mengurangi tingkat emisi GRK dari sektor kehutanan sebesar 0,76%. Persamaan model terbaik $Y = 6,828BS_HV^2 + 279,4BS_HV + 2870$ menggunakan citra ALOS PALSAR dapat digunakan untuk pendugaan potensi cadangan karbon pada hutan mangrove. Untuk membuktikan apakah model persamaan yang dihasilkan tidak bersifat *site specific* disarankan dilakukan pengujian terhadap metode yang sama pada berbagai wilayah geografis yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dr. Ir. R. Iman Santoso, M.Sc yang pada saat penelitian ini dilakukan menjabat sebagai Kepala Badan Litbang

Kehutanan, Dr. Agus Justianto dan Dr.Ir. Amir Wardhana, M.For.Sc atas segala dukungan dan kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini, juga kepada Dr. R. Suharyadi, M.Sc selaku *Senior Lecturer* di Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, dan Drs. Projo Danoedoro, M.Sc, Ph.D selaku *Senior Lecturer* dan Kepala Pengelola Laboratorium PUSPICS (*Center for Remote Sensing and Geographical Information System* – Universitas Gadjah Mada) yang telah memberikan banyak masukan yang berharga dalam penyempurnaan penelitian ini, Dr. Daniel Murdiyarso selaku peneliti senior pada Lembaga Penelitian Kehutanan Internasional - CIFOR atas diskusi dan masukannya di awal penelitian, dan Dr. Katmoko Ari Sambodo, M.Eng selaku peneliti senior LAPAN atas masukan dan bantuan pengadaan data citra ALOS PALSAR sebagai data primer dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Pertanahan Nasional [BPN] Kabupaten Kubu Raya., 2007. *Situs resmi*. Profil Wilayah Kabupaten Kuburaya, Kalimantan Barat, Tersedia di <http://bpnkuburaya.net/bpn/index.php/profil-wilayah> [1 September 2012; Jam 22:00].
- Center for International Forestry Research [CIFOR], 2012. *Forests and Climate Change Mitigation : What Policymakers Should Know*, Fact Sheet. No. 5, November 2012, MITIGATION, Key of Research Findings. CGIAR Research Programme.
- Crapolicchio, R., P. Lecomte, 2003. *On the Stability Of Amazon Rainforest Backscattering During The ERS-2 Scatterometer Mission Lifetime*, Paper presented at ASAR workshop 2003 "Amazon Calibration" session. Tersedia di <http://earth.eo.esa.int/pcs/ers/scatt/articles/> [Juni 2013].
- Donato, Daniel C., J. Boone Kauffman, Daniel Murdiyarso, Sofyan Kurnianto, Melanie Stidham, and Markku Kanninen, 2011. *Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics*. [Jurnal] Nature Geo Science. Letters Published Online: 3 APRIL 2011 |DOI: 10.1038/NGEO1123.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*, Buku panduan. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Kauffman, J.B. and Donato, D.C., 2012. *Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests*, Working paper 86, CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Lu, D., 2006. *The Potential and Chalange of Remote Sensing-Based Biomass Estimation*, International Journal of Remote Sensing 27 (7) :1297 – 1328.
- Mitchard, E.T.A., S.S. Saatchi, I. H. Woodhouse, 2009. *Using Satellite Radar Backscatter to Predict Above-Ground Woody Biomass: a Consistent Relationship Across Four Different African Landscapes*, Geophysical Research Letters. Vol. 36, L23401,doi:10.1029/2009GL040692.
- Murdiyarso, D., Daniel Donato, J. Boone Kauffman, Sofyan Kurnianto, Melanie Stidham, Markku Kanninen, 2009. *Carbon Storage in Mangrove and Peatland Ecosystems : a Preliminary Account from Plots in Indonesia*, Working paper, CIFOR.www.cifor.cgiar.org.
- Ni, Wenjian., Guoqing Sun, Zhifeng Guo, 2012. *Retrieval of Forest Biomass from ALOS PALSAR Data Using a Lookup Table Method*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing.
- PEACE, 2007. *Executive Summary : Indonesia and Climate Change*, Working paper, Current Status and Policies. DFID. The World Bank.
- Pons, Diego Hernán, 2010. *Remote Sensing Technologies for Forest Monitoring and Carbon Stocks Estimations*, Diktat kuliah, Univercidad Nacional de Cordoba. CONAE.

- Qirom, M.A, M.B. Saleh dan B. Kuncahyo, 2012. *Aplikasi Citra ALOS PALSAR Untuk Pendugaan, Simpanan Karbon di Hutan Tanaman Akasia*, Jurnal Penelitian Hutan Tanaman, Vol. 9 No. 3, September 2012 , p. 121 – 134, Bogor.
- Rawlings, J.O., 1988, *Applied Regression Analysis, A Research Tool*, North Carolina State University Wadawart & Brooke, Pacific Grove, California.
- Rosalina, 2010. *Penggunaan Synthetic Apperture Radar untuk Estimasi Biomassa Hutan Rakyat di Kabupaten Kulon Progo [Tesis]*, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Scott, J. G., Baccini, A., Nadine T Laptorte, Tracy Jhons, Wayne Walker, Josef Kellndorfer, Houghton, R.A. and Sun, M., 2009. *Mapping and Monitoring Carbon Stock with Satellite Observation : a Comparison of Methods*, Carbon Balance and Management 2009, 4:2 doi: 10.1186/1750-0680-4-2.
- Shimada, M., M. Watanabe, T. Motooka, T. Shiraishi, R. Thapa, 2012. *Stability of Gamma-naught and the PALSAR Based Forest MRV System*, JAXA, EORC. GEOS-AP Forest Session.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie, 1984. *Principles and Prosedures of Statistics a Biometrical Approach*, Acond Ed. Mc. Grow Hill Tokyo.
- Wahyuni, N.I., 2014. *Pemanfaatan Citra ALOS PALSAR dalam menduga biomasa hutan alam: studi kasus di Taman Nasional Bogani Nani Wartabone*, Jurnal Wasian Vol.1 No.1 Tahun 2014:p.15-21. Manado.