

**PEMETAAN CADANGAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA
RESOLUSI TINGGI UNTUK PENGELOLAAN TAHURA WAN
ABDUL RACHMAN LAMPUNG**

*Carbon Stock Mapping Using High Resolution Image For Management Of Tahura
Wan Abdul Rachman Lampung*

Nirmawana Simarmata¹, Yuni Lisafitri², Dudung Muhally Hakim³

¹Institut Teknologi Sumatera, Teknik Geomatika

²Institut Teknologi Sumatera, Teknik Lingkungan

³Institut Teknologi Bandung Teknik Geodesi dan Geomatika

E-mail Korespondensi: nirmawana.simarmata@gt.itera.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.31314/jsig.v2i1.227>

Abstract Land conversion is a serious threat for TAHURA Wan Abdul Rachman area and based on Landsat imagery map of 2010, TAHURA damage reached 72%. Based on the result of ecosystem services to the forest in TAHURA area that will be used in the development of the area. Forest ecosystem services can be calculated by the amount of biomass and carbon uptake lost to the forest. Estimation of biomass and carbon content by NDVI Citra SPOT 6/7 which can be correlated with actual biomass. Estimation of biomass distribution on the surface consists of two models, namely model 1 and model 2 which are classified into 5 classes of biomass density ie class 1 biomass 1 model ranged from - 2.03 - 763.72 tons / ha, class 2 between 763.72 - 1.658, 09 ton / ha, grade 3 between 1,658,09 - 2,431,60 ton / ha, grade 4 between 2,431,60 - 2,963,38 ton / ha and grade 5 between 2,963,38 - 3857,75. Density of biomass of model 2, class 1 between -1,242 - -7,71 ton / ha, class 2 between -7,71 - 352,02 ton / ha, grade 3 between 353,02 - 663,14 ton / ha, grade 4 between 663,14 - 877,04 ton / ha, and grade 5 between 877,04 - 1,236,77 ton / ha.

Keywords: TAHURA WAR; Biomass; Carbon; SPOT 6/7; NDVI

Abstrak Konversi lahan merupakan ancaman yang serius untuk kawasan TAHURA Wan Abdul Rachman dan berdasarkan peta citra landsat tahun 2010, kerusakan TAHURA mencapai 72%. Berdasarkan hasil perhitungan biofisik yang memungkinkan untuk melakukan penilaian jasa pelayanan ekosistem terhadap hutan di kawasan TAHURA yang akan digunakan dalam pembangunan kawasan tersebut. Jasa pelayanan ekosistem hutan dapat dihitung melalui besaran biomassa dan serapan karbon yang hilang pada hutan tersebut. Estimasi kandungan biomassa dan karbon dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh, melalui analisis regresi dari nilai NDVI Citra SPOT 6/7 yang dapat dikorelasikan dengan biomassa aktual. Distribusi biomassa di atas permukaan terdiri atas dua model yaitu peta model 1 dan model 2 yang diklasifikasikan menjadi 5 kelas kerapatan biomassa yakni kelas biomassa 1 model 1 berkisar antara -2,03 – 763,72 ton/ha, kelas 2 antara 763,72 – 1.658,09 ton/ha, kelas 3 antara 1.658,09 – 2.431,60 ton/ha, kelas 4 antara 2.431,60 – 2.963,38 ton/ha dan kelas 5 antara 2.963,38 – 3857,75. Kerapatan biomassa model 2, kelas 1 antara -1,242 - -7,71 ton/ha, kelas 2 antara -7,71 – 352,02 ton/ha, kelas 3 antara 353,02 – 663,14 ton/ha, kelas 4 antara 663,14 – 877,04 ton/ha, dan kelas 5 antara 877,04 – 1.236,77 ton/ha. Berdasarkan hasil estimasi Stok karbon model 1 memiliki nilai maksimum yaitu 616,36. Sementara stok karbon model 2 terdapat sekitar 964,435 ton/ha.

Kata Kunci: TAHURA WAR; Biomassa; Karbon; SPOT 6/7; NDVI

PENDAHULUAN

Indonesia memandang bahwa kerangka kerja perubahan iklim yang komprehensif dan berjangka merupakan bagian dari upaya untuk mendorong penanganan masalah perubahan iklim. Indonesia menjadi salah satu negara yang mengikuti program *Reduce Emission from Deforestation and Degradation* atau REDD+, juga ikut berperan aktif dalam melakukan inventarisasi karbon hutan (<http://ditjenppi.menlhk.go.id>). Hal ini disebabkan karena Indonesia juga merupakan salah satu penyumbang emisi GRK yang signifikan di dunia, terutama emisi yang bersumber dari kegiatan penggunaan lahan dan kehutanan. Salah satunya adalah konversi lahan hutan menjadi lahan terbangun. Peningkatan konversi lahan yang dipertahankan semakin banyak terjadi bahkan di kawasan lindung sekalipun seperti taman nasional maupun taman hutan raya. Degradasi dan deforestasi hutan disebabkan oleh pengelolaan hutan yang tidak efektif (Arif, 2016). Dampak nyata akibat degradasi dan deforestasi hutan yaitu terjadinya perubahan iklim sehingga pencegahan terjadinya kerusakan tersebut menjadi alternatif utama untuk menurunkan emisi (Lukito, 2013).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang konservasi sumberdaya alam hayati dan ekosistemnya, taman hutan raya merupakan kawasan pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan atau satwa yang alami atau buatan, jenis asli atau bukan asli, yang dimanfaatkan bagi kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata, dan rekreasi. Salah satu Taman Hutan Raya (TAHURA) yang ada di Provinsi Lampung adalah TAHURA Wan Abdul Rachman (WAR). TAHURA Wan Abdul Rachman (WAR) ditetapkan berdasarkan SK Menhut No. 408/kpts-II/1993 dengan luas 22,244 Ha. Dengan adanya pertimbangan untuk menjamin pelestarian lingkungan dan konservasi alam tersebut status Register 19 Gunung Betung ditingkatkan menjadi TAHURA dengan luas 22.249,31 ha (UPTD Tahura WAR, 2009).

Hingga saat ini perubahan lahan hutan/ konversi lahan merupakan ancaman yang serius untuk kawasan TAHURA Wan Abdul Rachman. Perambahan yang dilakukan oleh masyarakat mengakibatkan alih fungsi lahan dan berdampak berkurangnya fungsi taman hutan raya sebagai pelindung proses ekologi sistem penyangga kehidupan. Salah satu pengelolaan kawasan TAHURA Wan Abdul Rachman adalah kerja sama antara pemerintah Provinsi Lampung dengan Institut Teknologi Sumatera untuk mendirikan kawasan OAIL (Observatorium Astronomi ITERA Lampung) yang akan dijadikan sebagai wilayah untuk field camp dan fasilitas pendidikan berbasis wisata. Lokasi untuk OAIL yang akan dikembangkan seluas 30 ha dan jalan seluas 140 ha.

Estimasi kandungan biomassa dan karbon dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh melalui analisis regresi dapat dikorelasikan dengan biomassa hutan aktual. Perkembangan teknologi penginderaan jauh telah menunjukkan bahwa pengurangan deforestasi dapat digambarkan dengan nyata, permanen dan pengurangan emisi dapat diverifikasi dengan pengukuran yang dapat dipercaya. Hubungan antara penginderaan jauh dengan biomassa yaitu penginderaan jauh merupakan salah satu pendekatan terbaik untuk estimasi biomassa di tingkat regional ketika data tegakan hutan di lapangan sulit diperoleh. Pada dasarnya perhitungan biomassa untuk menginventarisasi, memantau dan mengelola hutan dapat dilakukan dengan pengukuran lapangan menggunakan plot sampel yaitu diameter pohon setinggi dada (DBH). Kelemahan menggunakan pengukuran secara terestris dianggap kurang efektif karena memerlukan waktu dan biaya relatif besar sehingga perkembangan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh semakin berkembang (Fatoyinbo, 2012, Krisnawati, 2014).

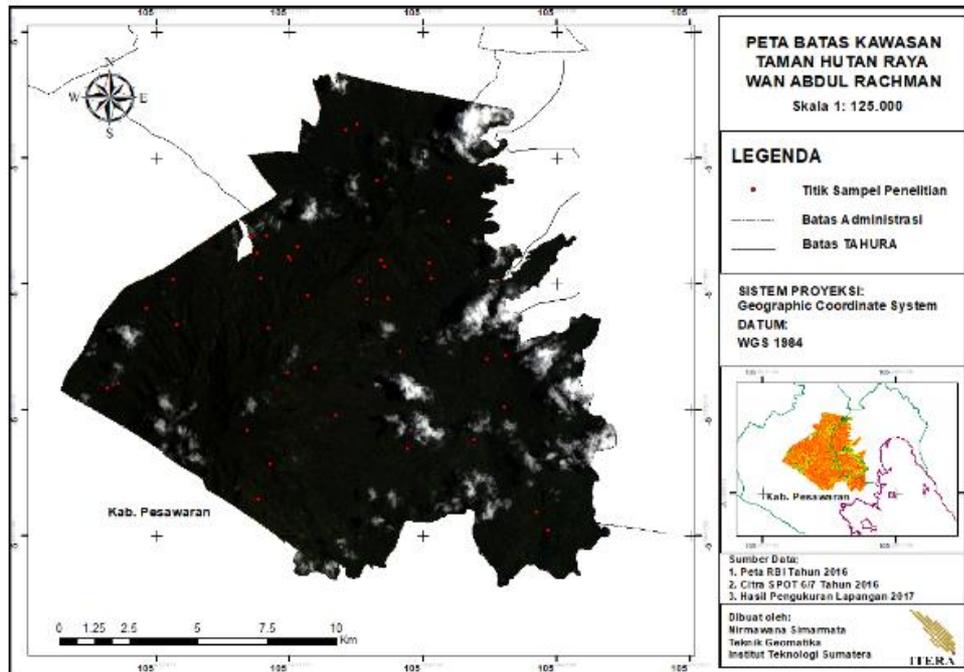
Salah satu citra satelit yang digunakan untuk estimasi biomassa dan karbon hutan yaitu Citra SPOT 6/7 dengan resolusi 6 meter. Sensornya dilengkapi dengan panjang gelombang merah dan inframerah dekat yang memiliki tingkat kepekaan tinggi terhadap obyek vegetasi. Hal ini menyebabkan pemanfaatan Citra SPOT 6/7 cukup baik digunakan untuk pendugaan biomassa di atas permukaan pada hutan di TAHURA Wan Abdul Rachman Provinsi Lampung.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan serta memetakan sebaran karbon menggunakan data SPOT 6/7 di Kawasan TAHURA WAR. Data cadangan karbon dapat digunakan untuk pengkajian lingkungan hidup strategis dan rencana pengelolaan TAHURA Wan Abdul Rachman serta rencana aksi daerah untuk penurunan gas rumah kaca sesuai program REDD+.

METODE DAN DATA

Lokasi Penelitian

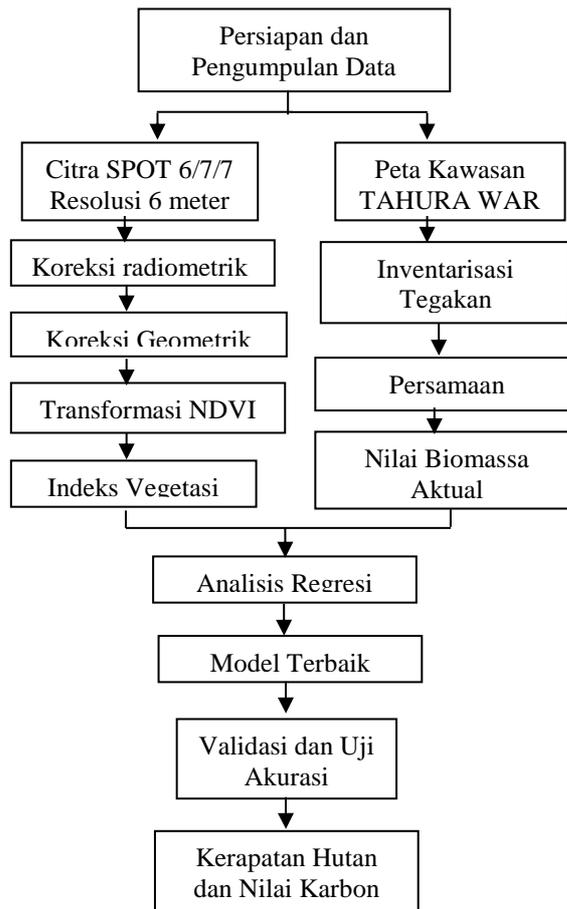
Lokasi kegiatan penelitian dilakukan di Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman yang memiliki luas 22.249,31 ha. Lebih jelasnya, lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Secara administrasi pemerintahan wilayah Tahura ini terletak di tujuh kecamatan yaitu: Gedong Tataan, Kedondong, Padang Cermin, Way Lima, Teluk Betung Barat, Teluk Betung Utara dan Kemiling. Secara geografis batas-batas Tahura WAR berada pada posisi $05^{\circ}0'18''$ sampai $05^{\circ}0'29''$ LS dan antara $105^{\circ}0'02''$ sampai $105^{\circ}0'14''$ BT.

Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan (Gambar 2) untuk perhitungan kandungan biomassa di atas permukaan dan karbon terdiri atas pengolahan citra digital meliputi koreksi geometrik, koreksi radiometrik, klasifikasi citra dan ekstraksi nilai NDVI. Pendugaan besarnya kandungan biomassa aktual di lapangan ditentukan berdasarkan persamaan alometrik yang dipilih sesuai dengan karakteristik hutan sedangkan simpanan biomassa dari citra dianalisis menggunakan nilai NDVI. Estimasi biomassa di atas permukaan menggunakan Citra SPOT 6/7 didasarkan atas dua parameter penduga yaitu nilai indeks NDVI. Nilai NDVI hutan diperoleh menggunakan transformasi indeks vegetasi sehingga dapat diregresikan dengan nilai kandungan biomassa di atas permukaan dan karbon dari hasil pengukuran di lapangan.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengolahan Data Lapangan

Pendugaan biomassa di atas permukaan dihitung menggunakan persamaan alometrik dengan parameter yaitu diameter batang pohon, tinggi tegakan dan berat jenis spesies tertentu yang berbeda satu sama lain. Pemilihan model alometrik juga disesuaikan dengan kondisi wilayah penelitian karena persamaan tidak dapat digunakan untuk estimasi biomassa apabila diameter pohon di luar data aslinya. Pemilihan persamaan alometrik juga harus disesuaikan dengan zona iklim dimana lokasi penelitian merupakan zona iklim lembab dan diameter berkisar antara 5-148 cm. Pemilihan model alometrik bertujuan untuk menentukan model terbaik untuk estimasi kandungan biomassa di atas permukaan. Model alometrik diuji dan divalidasi menggunakan sampel untuk model yang diambil ketika pengukuran di lapangan. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan hubungan alometrik antara diameter dengan biomassa di lapangan:

Tabel 1. Hubungan alometrik antara diameter dengan biomassa di lapangan (Sumber: Brown S (1997) dalam Hairiah K et al. (2011))

Zona Iklim (ch, mm/tahun)	Persamaan	Rentang (cm)	Jumlah Pohon	R ²
Kering (< 1500 mm)	$Y=0,139D^{2,32}$	5 – 40	28	0,89
Lembab (1500 – 4000 mm)	$Y=42,69-12,8D+1,24D^2$	5 – 148	170	0,84
	$Y=0,118D^{2,32}$	5 – 148	170	0,97
	$Y=0,092D^{2,60}$	5 – 148	170	
Basah (> 4000 mm)	$Y=21,3-6,95D+0,74D^2$	4 – 112	169	0,92
	$Y=0,037D^{1,89}H$	4 – 112	169	0,90

HASIL DAN PEMBAHASAN

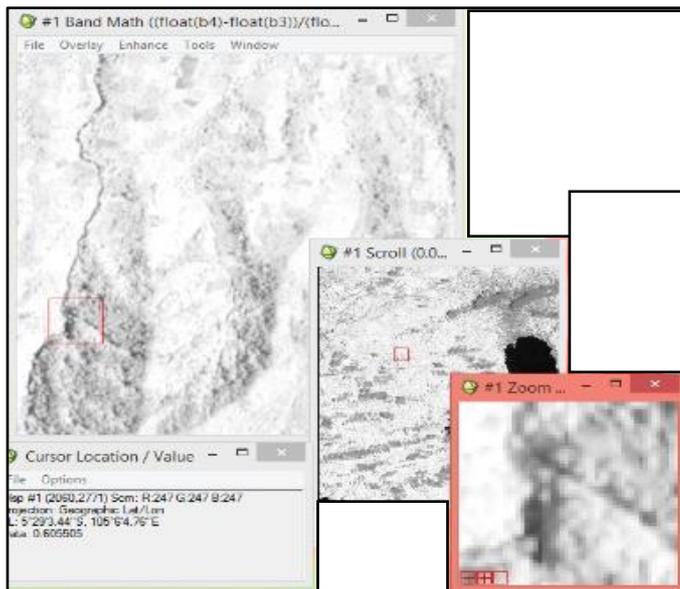
Hasil

Metode koreksi geometrik yang akan digunakan adalah menggunakan metode *Image to image correction* yang jumlahnya disesuaikan dengan kondisi topografi pada daerah kajian. Orde yang akan digunakan untuk melakukan koreksi geometrik adalah orde 1 yang membutuhkan minimal 4 titik GCP. Pemilihan orde ini disesuaikan dengan kondisi topografi daerah penelitian. Koreksi Geometrik citra bertujuan untuk memperbaiki posisi piksel citra agar sesuai dengan koordinat di lapangan (Danoedoro, 2012).

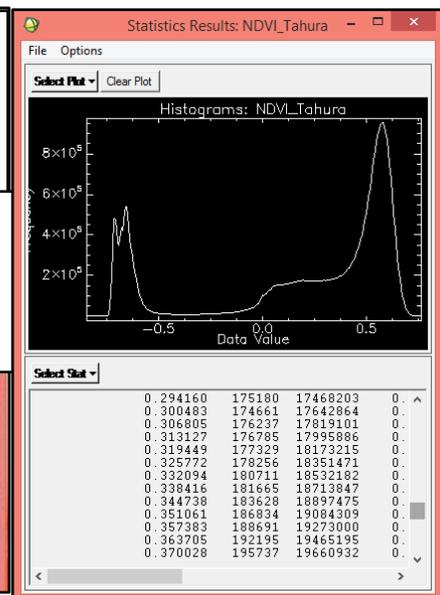
Proses koreksi geometrik dilakukan dengan metode *Image to image correction* menggunakan citra hasil mosaik tahun 2016. Pemilihan metode ini dikarenakan citra yang digunakan merupakan citra resolusi tinggi sehingga membutuhkan akurasi posisi koordinat yang baik. Semakin bergelombang dan memiliki perbedaan tinggi yang besar, maka jumlah GCP yang diperlukan untuk koreksi geometrik citra akan semakin banyak pula. Hal ini disebabkan karena permukaan yang tidak datar sehingga membutuhkan titik koordinat yang lebih banyak untuk menghasilkan akurasi yang baik. Koreksi geometrik menghasilkan nilai RMS eror sebesar 0,52. Nilai RMS ini berkaitan dengan ketelitian dari hasil koreksi geometrik yang telah dilakukan. Tabel 1 merupakan titik GCP Koreksi Geometrik.

Pengolahan Transformasi NDVI

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan. NDVI dapat menunjukkan parameter yang berhubungan dengan parameter vegetasi yaitu biomassa, daerah dedaunan hijau yang merupakan nilai yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi. Berdasarkan hasil transformasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) yang dilakukan pada kawasan Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman yang disajikan secara visual seperti **Gambar 3**:



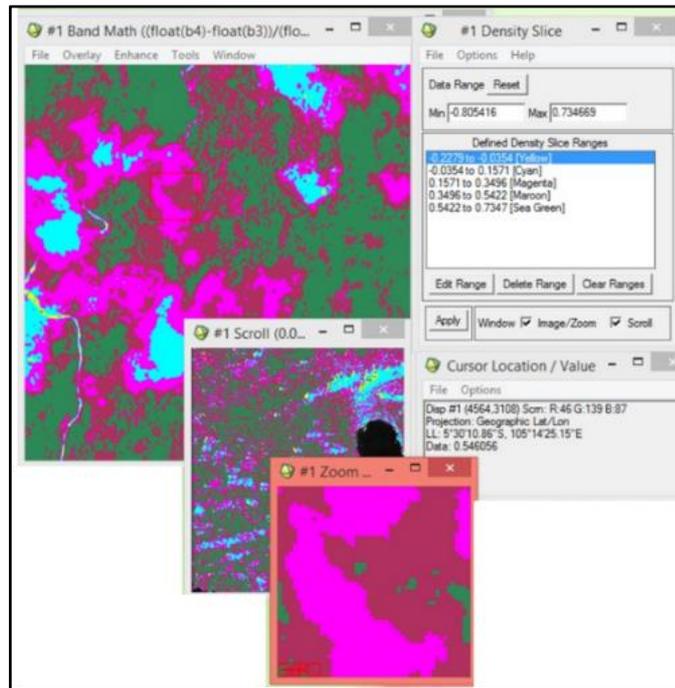
Gambar 3. Hasil Transformasi NDVI



Gambar 4. Hasil Statistik NDVI

(Sumber: Hasil Pengolahan Citra 2018)

Dari gambar diketahui nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) berkisar antara -1 sampai 1 yang berarti nilai -1-0 tidak ada vegetasi dan nilai 0-1 bervegetasi. Dari spatial pixel editor, diketahui nilai pixel rata-rata diatas 0 membuktikan bahwa daerah pada citra rata-rata bervegetasi dengan nilai bervariasi antara 0-1. Nilai indeks vegetasi menunjukkan tingkat kehijauan (*greenness*) yaitu antara 0,2 hingga 0,8 dapat diinterpretasi sebagai tegakan vegetasi. Beberapa daerah lain merupakan daerah yang tidak bervegetasi yaitu yang mempunyai nilai -1-0. Pembagian kelas kerapatan indeks vegetasi disajikan pada **Gambar 5** berikut:



Gambar 5. Hasil Pembagian Kelas Transformasi NDVI (Sumber: Pengolahan Citra 2018)

Klasifikasi nilai NDVI kemudian dicari nilai terbesar dan terkecilnya serta dibuat 5 kelas untuk menentukan klasifikasi kerapatan vegetasi. Pembagian klasifikasi tersebut dapat menggunakan tool density slice dari NDVI dibagi menjadi 5 kelas, kelas 1 memiliki interval -0.2279 hingga -0.0354 dengan warna kuning, kelas 2 memiliki interval nilai -0.0354 hingga 0.1571 dengan warna cyan, kelas 3 memiliki interval 0.1571 hingga 0.3496 dengan warna magenta, kelas 4 memiliki nilai interval 0.3496 hingga 0.5422 dengan warna maroon dan kelas 5 memiliki interval 0.5422 hingga 0.7347 dengan warna sea green. Berdasarkan hasil pengklasifikasian tersebut menunjukkan bahwa kelas 3 mendominasi daerah dimana vegetasi tersebut mempunyai kerapatan yang rendah. Vegetasi yang mempunyai kerapatan sedang ditunjukkan pada kelas 4 dan vegetasi kerapatan tinggi pada kelas 5.

Transformasi NDVI memanfaatkan beberapa saluran dari citra satelit SPOT 6/7 yaitu band 3 (saluran merah) dan band 4 (saluran inframerah dekat). Kelebihan kedua saluran ini untuk identifikasi vegetasi adalah obyek akan memberikan tanggapan spektral yang tinggi (Swain, 1978). Perhitungan perbandingan sifat respon obyek terhadap pantulan sinar merah dan Inframerah dekat dapat menghasilkan nilai dengan karakteristik khas yang dapat digunakan untuk memperkirakan kerapatan atau kondisi kanopi/kehijauan tanaman.

Hasil transformasi NDVI menunjukkan nilai pada histogram menunjukkan bahwa nilai minimum adalah -0.185 sedangkan nilai maksimum hingga 0.75. Dari histogram tersebut menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai tiap pikselnya maka kerapatan vegetasi akan semakin tinggi. Demikian sebaliknya apabila nilai pikselnya rendah maka kerapatan vegetasi juga rendah. Persentase kerapatan vegetasi dapat diketahui melalui cek lapangan sehingga mendapatkan nilai yang akurat. Sebelum diklasifikasikan, perbedaan antara daerah vegetasi dan non-vegetasi tidak begitu jelas karena terdapat warna kelabu. Oleh karena itu perlu terlebih dahulu mencari batas antara vegetasi dan non-vegetasi. Setelah dilakukan transformasi NDVI, vegetasi yang rapat ditandai dengan warna putih yang berona cerah.

Pengukuran Tegakan di Lapangan

Persebaran sampel di atas dianggap cukup mewakili pengambilan sampel karena beberapa faktor yang tidak memungkinkan mengambil sampel hingga ke zona rimba. Faktor yang mempengaruhinya adalah aksesibilitas termasuk jalan menuju lokasi sampel. Sampel yang diukur dilapangan mewakili tiga kelas penutup lahan yang telah ditentukan sebelumnya yaitu hutan kerapatan rendah, hutan kerapatan sedang, dan hutan kerapatan tinggi yang tersebar di

TAHURA WAR. Gambar 6 merupakan salah satu penentuan ukuran plot sampel dilapangan.



Gambar 6. Pengukuran Diameter dan Tinggi Tegakan (Sumber: Survei Lapangan 2018)

Berdasarkan hasil survei di lapangan, ukuran diameter tegakan di kawasan hutan TAHURA WAR cukup bervariasi. Ukuran diameter terkecil kira-kira 2 cm dan diameter terbesarnya adalah 64 cm. Jenis pohon di lokasi penelitian mempunyai diameter batang yang relatif sedang sehingga diperkirakan mengandung biomassa dalam yang relatif besar. Jenis tegakan di hutan kerapatan rendah cenderung mempunyai diameter batang yang lebih kecil dibandingkan di hutan kerapatan tinggi. Hal ini disebabkan oleh faktor aktivitas manusia dimana pada sebagian hutan kerapatan rendah didominasi oleh kebun campuran seperti kopi, karet dan coklat yang mempunyai diameter lebih kecil.

Perhitungan Biomassa Aktual

Sampel penelitian distratifikasi berdasarkan klasifikasi penutup lahan di sebagian kawasan Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman yaitu hutan kerapatan rendah, hutan kerapatan sedang dan hutan kerapatan tinggi. Ukuran plot sampel yaitu 30 x 30 meter sesuai dengan ukuran piksel pada citra. Pada dasarnya ukuran plot sampel ditentukan oleh nilai RMSE yang dihasilkan dari hasil koreksi citra akan tetapi melihat karakteristik wilayah penelitian dengan topografi relatif curam sehingga ukuran plot sampel ditentukan berdasarkan ukuran piksel citra. Plot sampel didasarkan pada keterwakilan lokasi penelitian seperti kondisi topografi, luas area hutan dan keseragaman jenis..

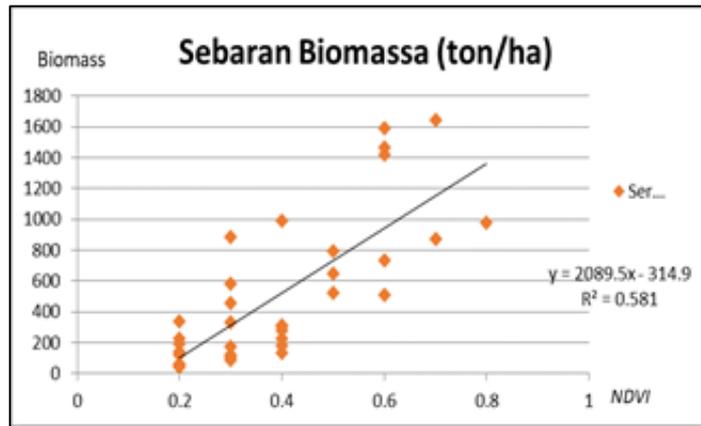
Pendugaan biomassa dalam metode tidak langsung menggunakan beberapa persamaan matematis atau allometrik sehingga dapat menduga biomassa vegetasi. Persamaan alometrik merupakan hubungan antara suatu peubah tak bebas yang diduga oleh satu atau lebih peubah bebas. Contohnya adalah hubungan antara volume pohon, biomassa atau masa karbon dengan diameter dan tinggi pohon. Dalam hubungan ini volume pohon, biomassa atau masa karbon merupakan peubah tak bebas yang besar nilainya diduga oleh diameter dan tinggi pohon yang disebut sebagai peubah bebas. Hubungan alometrik biasanya dinyatakan dalam suatu model alometrik. Persamaan tersebut biasanya menggunakan diameter pohon yang diukur setinggi dada atau diukur 1,30 m dari permukaan tanah sebagai dasar (Sutaryo, 2009). Penyusunan model persamaan penaksiran biomassa dengan menggunakan teknik regresi dimaksudkan untuk mencari hubungan antar biomassa dengan peubah penaksiran yang diperoleh pada pengukuran biomassa sejumlah pohon. Pada perhitungan stok karbon dihitung menggunakan pendekatan bahwa setengah dari kandungan biomassa adalah cadangan karbon. Adapun persamaan alometrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

$$AGBest = 0.118 * D2.53$$

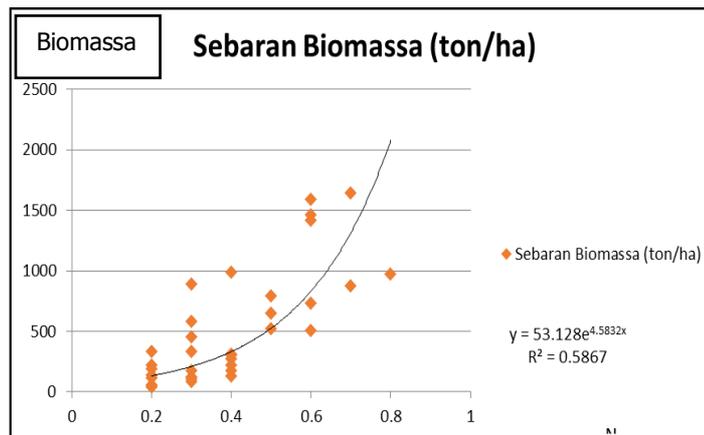
Simpanan Biomassa

Pengukuran biomassa aktual dihitung berdasarkan tiga parameter tegakan yaitu diameter setinggi dada, tinggi tegakan dan berat jenis pohon (Rusolono,2015). Hasil pengukuran

biomassa aktual digunakan untuk penyusunan model penduga biomassa yang terbaik. Model empiris peta kerapatan biomassa pada citra akan menghasilkan persamaan regresi dengan nilai koefisien determinasi yang berbeda. Dari nilai koefisien determinasi (R^2) dapat diketahui nilai regresi (R) dan setiap persamaan regresi dengan nilai paling baik dari setiap citra digunakan untuk menghitung besarnya error of estimate (SE). Persamaan regresi dengan nilai error paling kecil akan digunakan untuk membuat peta persentase kerapatan biomassa. Analisis regresi secara menggunakan model linier dan eksponensial dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

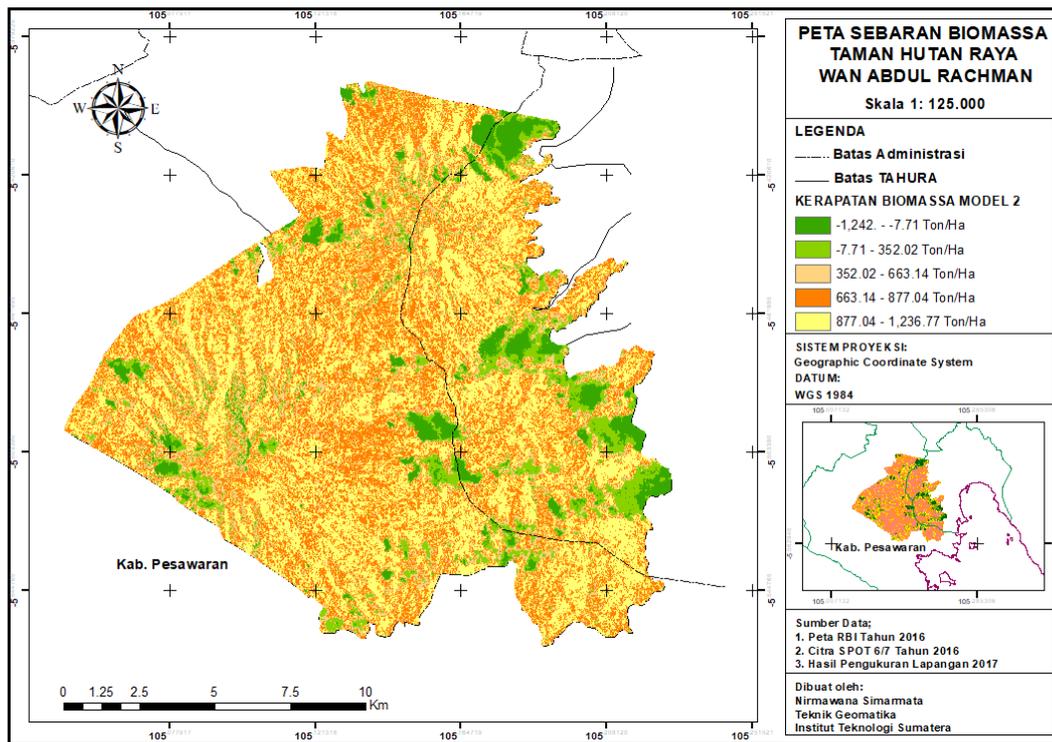


Gambar 7. Hubungan antara Nilai NDVI dan Biomassa Aktual Model 1 (Sumber: Pengolahan Data 2018)



Gambar 8. Hubungan antara Nilai NDVI dan Biomassa Aktual Model 2 (Sumber: Pengolahan Data 2018)

Berdasarkan hasil pendugaan biomassa di kawasan TAHURA WAR diperoleh nilai biomassa menggunakan model 1 dan model 2 yang diklasifikasikan menjadi 5 kelas kerapatan biomassa yakni kelas biomassa 1 model 1 berkisar antara -2,03 – 763,72 ton/ha, kelas 2 antara 763,72 – 1.658,09 ton/ha, kelas 3 antara 1.658,09 – 2.431,60 ton/ha, kelas 4 antara 2.431,60 – 2.963,38 ton/ha dan kelas 5 antara 2.963,38 – 3857,75. Kerapatan biomassa model 2, kelas 1 antara -1,242 - -7,71 ton/ha, kelas 2 antara -7,71 – 352,02 ton/ha, kelas 3 antara 353,02 – 663,14 ton/ha, kelas 4 antara 663,14 – 877,04 ton/ha, dan kelas 5 antara 877,04 – 1.236,77 ton/ha. Secara visual kerapatan biomassa disajikan pada Gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Kerapatan Biomassa (Sumber: Pengolahan Citra 2018)

Pembahasan

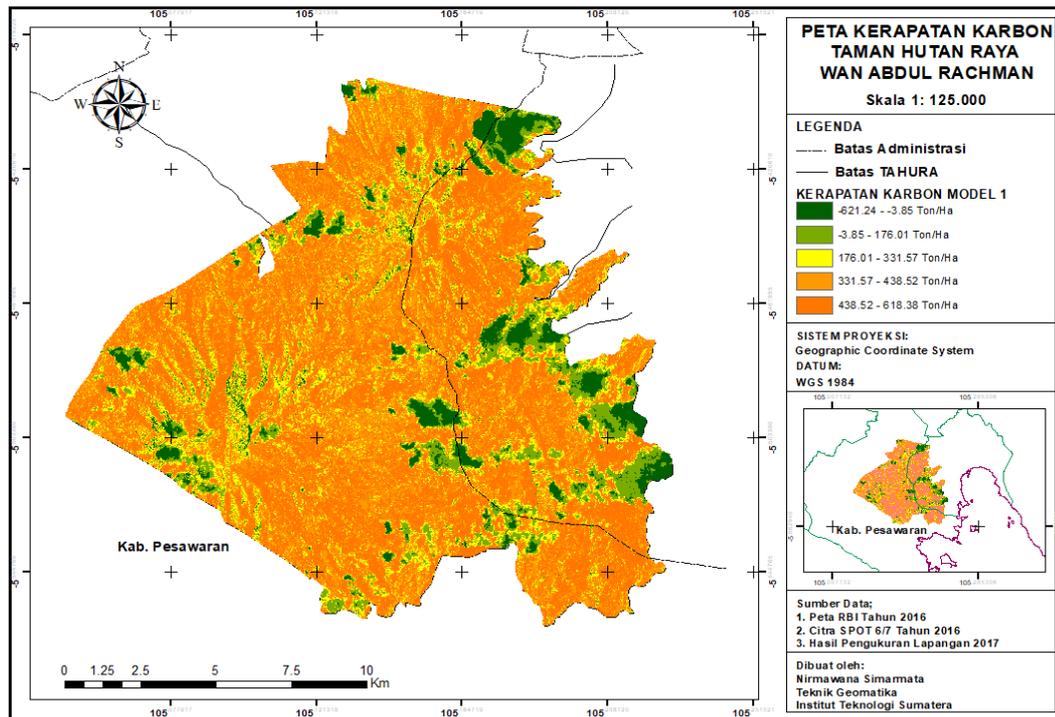
Persebaran Cadangan Karbon

Cadangan karbon tegakan di TAHURA WAR dihitung berdasarkan pendekatan biomassa di atas permukaan dimana 50% biomassa merupakan simpanan karbon (Brown, 1997). Estimasi cadangan karbon yang dihasilkan melalui citra SPOT 6/7 pada penelitian ini dihasilkan dari data piksel pada citra dan data besarnya stok karbon dilapangan. Data stok karbon dilapangan diperoleh melalui pendekatan persentase kerapatan biomassa tegakan. Pada kegiatan lapangan pertama telah diketahui besarnya stok karbon dan persentase biomassa aktual tiap sampel, kemudian data tersebut digunakan untuk membuat model stok karbon berdasarkan persentase biomassa aktual, sehingga kebutuhan sampel stok karbon untuk membangun model empiris melalui citra dapat dilakukan menggunakan persamaan yang telah dibangun sebelumnya tanpa harus mencabut kembali sampel tegakan untuk menghitung biomassa aktual dilapangan. Kelebihan cara ini di mana informasi stok karbon dilapangan tetap dapat diperoleh tanpa harus merusak objek kajian atau biasa dikenal dengan metode *destructive sampling* yang dapat merusak keseimbangan ekosistem.

Oleh sebab itu, untuk membangun model empiris tersebut maka dibutuhkan informasi besarnya persentase kerapatan biomassa terlebih dahulu yang juga dapat diperoleh melalui citra SPOT 6/7. Berdasarkan proses yang dilalui dan hasil yang diperoleh sebelumnya, maka model empiris yang dibangun untuk membuat persamaan stok karbon pada penelitian ini paling baik menggunakan citra NDVI model eksponensial. Nilai koefisien regresi yang dihasilkan dari citra tersebut cukup tinggi pada setiap kelas dan masih signifikan berdasarkan jumlah sampel yang digunakan. Nilai *standard error of estimate* (SE) yang dihasilkan dari persamaan model stok karbon ini cukup rendah dibandingkan dengan persamaan lainnya. Peta estimasi stok karbon ini menunjukkan besarnya estimasi stok karbon hutan yang terdapat Tahura WAR

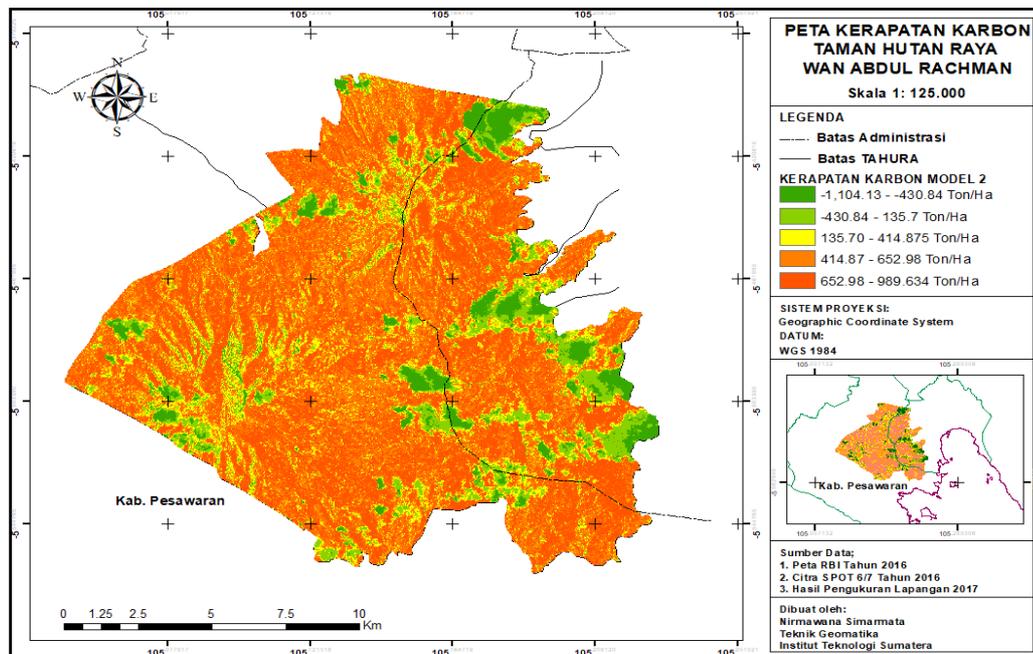
Berdasarkan hasil transformasi indeks vegetasi menggunakan transformasi NDVI, nilai indeks terendah yang diperoleh adalah 0,2 sedangkan yang terendah adalah 0,7. Pengukuran stok karbon menggunakan pendekatan pendugaan biomassa, sehingga diperoleh stok karbon 1 model 1 berkisar antara -621,24 – -3,85 ton/ha, kelas 2 antara -3,85 – 176,01 ton/ha, kelas 3 antara 176,01 – 331,57 ton/ha, kelas 4 antara 331,57 – 438,52 ton/ha dan kelas 5 antara 438,52

– 616,36. Secara visual, sebaran kerapatan cadangan karbon disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kerapatan Cadangan Karbon (Sumber: Pengolahan data dan Citra 2018)

Stok karbon model 2, kelas 1 antara -1,153 – 190,93 ton/ha, kelas 2 antara 190,93 – 414,82 ton/ha, kelas 3 antara 414,82 – 617,9 ton/ha, kelas 4 antara 617,9 – 741,345 ton/ha, dan kelas 5 antara 741,345– 964,435 ton/ha. Lebih jelasnya kerapatan cadangan karbon model 2 disajikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 11. Kerapatan Cadangan Karbon (Sumber: Pengolahan data dan Citra 2018)

Korelasi antara nilai indeks vegetasi menggunakan transformasi NDVI citra dengan biomassa hasil pengukuran di lapangan (biomassa aktual) dilakukan sebelum memilih model terbaik yang akan digunakan. Nilai biomassa di atas permukaan aktual hasil pengukuran lapangan menggunakan dua persamaan yaitu persamaan berdasarkan Brown (1997) menggunakan parameter diameter batang setinggi dada. Sampel yang digunakan untuk membuat model penduga adalah 34 dari 40 sampel yang diukur di lapangan. Pengurangan sampel terjadi akibat adanya beberapa data yang tidak terdistribusi secara normal.

Variabel yang digunakan untuk menghitung kandungan biomassa di atas permukaan hanya diameter batang setinggi dada yang diasumsikan dapat mewakili untuk pengukuran biomassa. Hal ini disebabkan karena data tinggi pohon hanya terdapat pada plot pengamatan saja sedangkan berat jenis hanya pada jenis pohon tertentu sehingga tidak dapat memberikan keseluruhan informasi yang lebih akurat. Dari hasil perhitungan biomassa aktual menggunakan data tinggi pohon dan berat jenis banyak terjadinya bias karena pohon yang tinggi akan tetapi diameter batang yang kecil belum tentu memiliki kandungan biomassa yang tinggi pula. Sama halnya variabel berat jenis pohon yang tidak diukur secara destruktif melainkan menggunakan berat jenis pohon hasil pengukuran yang telah dilakukan melalui penelitian sebelumnya. Dengan demikian kedua variabel ini dapat memberikan distorsi yang cukup besar apabila digunakan untuk estimasi kandungan biomassa di atas permukaan.

Akurasi Peta Distribusi Biomassa dan Cadangan Karbon

Uji ketelitian sangat penting dalam setiap hasil penelitian dari setiap jenis data penginderaan jauh. Tingkat ketelitian data sangat mempengaruhi besarnya kepercayaan pengguna terhadap setiap jenis data penginderaan jauh. Uji ketelitian analisis untuk identifikasi dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) Akurasi pengambilan sampel area (*area sampling accuracy*) dan (2) Akurasi Pengambilan sampel titik/data survey lapangan (*point sampling accuracy*). Pemetaan distribusi kandungan biomassa di atas permukaan dan karbon memberikan informasi simpanan kandungan biomassa di atas permukaan dan karbon berdasarkan hasil perhitungan model terbaik.

Peta distribusi biomassa di atas permukaan terdiri atas dua peta yaitu peta model 1 dan model 2 yang diklasifikasikan menjadi 5 kelas kerapatan biomassa yakni kelas biomassa 1 model 1 berkisar antara -2,03 – 763,72 ton/ha, kelas 2 antara 763,72 – 1.658,09 ton/ha, kelas 3 antara 1.658,09 – 2.431,60 ton/ha, kelas 4 antara 2.431,60 – 2.963,38 ton/ha dan kelas 5 antara 2.963,38 – 3857,75. Kerapatan biomassa model 2, kelas 1 antara -1,242 - -7,71 ton/ha, kelas 2 antara -7,71 – 352,02 ton/ha, kelas 3 antara 353,02 – 663,14 ton/ha, kelas 4 antara 663,14 – 877,04 ton/ha, dan kelas 5 antara 877,04 – 1.236,77 ton/ha.

Stok karbon model 1 berkisar antara -621,24 – -3,85 ton/ha, kelas 2 antara -3,85 – 176,01 ton/ha, kelas 3 antara 176,01 – 331,57 ton/ha, kelas 4 antara 331,57 – 438,52 ton/ha dan kelas 5 antara 438,52 – 616,36. Stok karbon model 2, kelas 1 antara -1,153 – 190,93 ton/ha, kelas 2 antara 190,93 – 414,82 ton/ha, kelas 3 antara 414,82 – 617,9 ton/ha, kelas 4 antara 617,9 – 741,345 ton/ha, dan kelas 5 antara 741,345– 964,435 ton/ha.

Hasil uji akurasi estimasi kandungan biomassa dan karbon berdasarkan analisis *standard error of estimation* dan *confidence level* dimana variabel yang diuji adalah biomassa aktual hasil perhitungan di lapangan dengan estimasi biomassa. Tingkat kepercayaan (*confidence level*) yang digunakan adalah 0.05. Hasil uji akurasi estimasi kandungan biomassa dan karbon diperoleh pada model 1 dengan akurasi maksimum 76% sedangkan akurasi maksimum adalah 84%. Hasil uji akurasi estimasi kandungan biomassa dan karbon diperoleh pada model 2 dengan akurasi maksimum 80% sedangkan akurasi maksimum adalah 86%. Hasil dari penelitian ini dapat lebih baik lagi apabila jumlah sampel yang digunakan untuk pembuatan model dan uji akurasi lebih banyak dan tersebar, sehingga variasi karakteristik fisik tegakan dapat terakomodasi seperti perbedaan kedalaman sampel, perbedaan spesies yang homogen dan spesies campuran

KESIMPULAN

Nilai NDVI Citra SPOT 6/7 memiliki korelasi dengan parameter tegakan hutan yakni diameter batang untuk menduga kandungan biomassa di atas permukaan di Taman Hutan Raya

Wan Abdul Rachman. Nilai koefisien korelasi 0,581 untuk model linier dan 0,586 untuk model ekponensial. Hasil estimasi Stok karbon 1 model 1 berkisar antara -621,24 – -3,85 ton/ha, kelas 2 antara -3,85 – 176,01 ton/ha, kelas 3 antara 176,01 – 331,57 ton/ha, kelas 4 antara 331,57 – 438,52 ton/ha dan kelas 5 antara 438,52 – 616,36. Stok karbon model 2, kelas 1 antara -1,153 – 190,93 ton/ha, kelas 2 antara 190,93 – 414,82 ton/ha, kelas 3 antara 414,82 – 617,9 ton/ha, kelas 4 antara 617,9 – 741,345 ton/ha, dan kelas 5 antara 741,345– 964,435 ton/ha. Hasil uji akurasi estimasi kandungan biomassa dan karbon diperoleh pada model 1 dengan akurasi maksimum 76% sedangkan akurasi maksimum adalah 84%. Hasil uji akurasi estimasi kandungan biomassa dan karbon diperoleh pada model 2 dengan akurasi maksimum 80% sedangkan akurasi maksimum adalah 86%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Anggraeni. 2016. Degradasi dan deforestasi hutan disebabkan oleh pengelolaan hutan yang tidak efektif. *Jurisprudentie | Volume 3 Nomor 1 Juni 2016*.
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest, A Primer*. Rome : FAO Forestry Paper 134, FAO.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*, Yogyakarta: Andi Offset.
- Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. REDD+ Indonesia : Peran Stakeholders Dalam Menjawab Tantangan Deforestasi dan Pembangunan <http://www.ditjenppi.menlhk.go.id> [diakses 2 Januari 2018].
- Fatoyinbo, Temilola. 2012. *Remote Sensing of Biomass Principles and Applications*, Croatia: Intech.
- Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan. Petunjuk praktis*. Edisi kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia.
- Krisnawati, H. Adinugroho, W.C. Imanuddin R. dan Hutabarat. S. 2014. *Pendugaan Biomassa Hutan untuk Perhitungan Emisi CO₂ di Kalimantan Tengah*. Buku. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- Lukito M, Rohmatiah A. 2013. Estimasi biomassa dan karbon tanaman jati umur 5 tahun (Kasus Kawasan Hutan Tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) Desa Krowe, Kecamatan Lembeyan Kabupaten Magetan). *Agritek*. 14(1):1–23.
- Rusolono T., Tatang T., dan Judin P. 2015. Analisis Survey Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Hayati di Sumatera Selatan (Panduan survei cadangan karbon dan keanekaragaman hayati di Sumatera Selatan). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan. German International Cooperation (GIZ).
- Simon, Hasan. 2007. *Metode Inventore Hutan*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. *Wetlands International Indonesia Programme. Bogor*.
- UPTD Tahura WAR. 2009. Hutan Pendidikan Konservasi Terpadu Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman. Bandar Lampung.
- Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang konservasi sumberdaya alam hayati dan ekosistemnya