

Estimasi Stok Karbon di Kawasan Penambangan Akibat Perubahan Luas Penutupan Lahan Terkait dengan REDD

M. LUTFI, HARRY TETRA ANTONO

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara Bandung
Email : lutfi@tekmira.esdm.go.id dan harryta@tekmira.esdm.go.id

ABSTRACT

Deforestation and forest degradation caused by mining has had very great impact to global climate change, because one of the functions of forest vegetation is very important is capture and storage CO₂ emissions. Revegetation activities in the area of mining is done in order to restore the forest vegetation. Research to estimate absorption CO₂ as a result of carbon stock by forest vegetation needs to be done. Remote sensing technology through radar imagery can be applied to estimate forest vegetation carbon stock more quickly and efficient. The research was conducted in the gold mining area of PT. JResources Bolaang Mongondow. Main objective of this research is to estimate changes in forest covered land due to mining activities, estimation amount of carbon stored in 2008, 2009, and 2010 and the economic value that can be obtained from stored carbon, using the estimated price based REDD schemes. The methodologies for measurements of the variables used in the calculation variable of above ground biomass using allometric and ALOS PALSAR image analysis of 2008, 2009, and 2010 to estimate the carbon stock in forests. The results showed there were widespread changes in forest land cover due to mining activities, and based on image analysis of 2008, 2009, and 2010, the amount of carbon stock in the research area respectively are 32,695,253.57 ton C, 50,146,772.71 ton C and 79,420,248.55 ton C. The economic value of carbon stock in 2010 are Rp.7,538,299,190,029.09 with price estimates and assumptions based on REDD scheme BAU Carbon savings in 2008.

Key words: carbon stock, economic value of storage carbon.

ABSTRAK

Penebangan hutan secara liar dan degradasi hutan akibat proses pertambangan memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi perubahan iklim global, karena salah satu fungsi vegetasi hutan yang sangat penting adalah menyerap emisi CO₂ di udara. Kegiatan revegetasi di kawasan pertambangan dilakukan dalam rangka mengembalikan vegetasi hutan. Penelitian untuk mengestimasi seberapa besar kemampuan vegetasi hutan yang dalam menyerap CO₂ melalui simpanan C nya perlu dilakukan. Teknologi penginderaan jauh melalui citra radarnya dapat digunakan untuk mengestimasi simpanan Carbon vegetasi hutan dengan lebih cepat, dan efisien. Penelitian ini dilakukan di Kawasan pertambangan emas PT. JResources Bolaang Mongondow bertujuan mengestimasi perubahan luas penutupan lahan hutan dikarenakan aktivitas penambangan, mengestimasi jumlah karbon yang tersimpan tahun 2008, 2009, dan 2010 dan mengestimasi nilai ekonomi yang dapat diperoleh dari karbon yang tersimpan, menggunakan estimasi harga berdasarkan skema REDD. Metoda yang dilakukan adalah pengukuran di lapangan terhadap perubahan tegakan yang digunakan dalam perhitungan biomasa menggunakan alometrik dan analisis citra ALOS PALSAR tahun 2008, 2009, dan 2010 untuk mengestimasi simpanan Carbon dalam hutan. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perubahan luas penutupan lahan hutan dikarenakan aktivitas penambangan, dan berdasarkan analisis citra tahun 2008, 2009, dan 2010, jumlah karbon tersimpan di lokasi penelitian masing-masing sebesar 32,695,253.57 tonC ; 50,146,772.71 tonC dan 79,420,248.55 tonC. Nilai ekonomi karbon yang tersimpan tahun 2010 sebesar Rp.7,538,299,190,029.09 dengan estimasi harga berdasarkan skema REDD dan asumsi BAU simpanan Carbon tahun 2008.

Kata kunci: stok karbon, keekonomian simpanan karbon.

1. PENDAHULUAN

Bahan mineral dan batubara merupakan sumber daya alam potensial yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber devisa untuk pembangunan nasional. Dalam kegiatan penambangan dilakukan dengan cara pembukaan hutan, pengupasan lapisan-lapisan tanah, pengerukan dan penimbunan. Kegiatan-kegiatan tersebut dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa rusaknya hutan. Selain itu, kegiatan penambangan secara nyata menimbulkan kerusakan lingkungan (Setiadi, 2005).

Deforestasi dan degradasi hutan akibat proses pertambangan memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi perubahan iklim global, karena salah satu fungsi vegetasi hutan yang sangat penting adalah menyerap emisi CO₂e di udara. Kegiatan revegetasi di kawasan pertambangan dilakukan dalam rangka mengembalikan vegetasi hutan. Penelitian untuk mengestimasi seberapa besar kemampuan vegetasi hutan yang bertambah atau berkurang dalam menyerap CO₂e melalui simpanan C nya perlu dilakukan. Teknologi penginderaan jauh melalui citra radarnya dapat digunakan untuk mengestimasi simpanan Carbon vegetasi hutan dengan lebih cepat, dan efisien.

Penelitian ini dilakukan di Kawasan pertambangan emas PT. JResources Bolaang Mongondow bertujuan mengestimasi perubahan luas penutupan lahan hutan dikarenakan aktivitas penambangan, mengestimasi jumlah karbon yang tersimpan tahun 2008, 2009, dan 2010 dan mengestimasi nilai ekonomi yang dapat diperoleh dari karbon yang tersimpan, menggunakan estimasi harga berdasarkan skema REDD

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di kawasan pertambangan emas Kabupaten Bola Mongondo Propinsi Sulawesi Utara. Metode penelitian menggunakan data primer dan sekunder. Pengolahan dan analisis data spasial dilakukan dengan analisis citra ALOS PALSAR tahun 2008, 2009, dan 2010, serta menggunakan sistem informasi geografis (SIG) dengan dibantu hasil tracking GPS yang gunanya untuk penentuan titik kontrol lapangan. Pengolahan dan analisis data pada kegiatan ini merupakan tahapan yang meliputi pra pengolahan data citra digital, estimasi Jumlah Biomassa, analisis statistik, analisis pengolahan citra dan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG).

2.1. Pra-Pengolahan Citra ALOS PALSAR

Citra ALOS PALSAR yang digunakan untuk menduga potensi simpanan karbon di PT. JRBM menggunakan dua polarisasi, yaitu HH dan HV dengan level pengolahan ortho-4.1, dimana citra sudah dikoreksi menyesuaikan dengan keadaan permukaan bumi sebenarnya (JAXA PT. J. Resources 2012). Penelitian ini menggunakan data multi waktu tahun 2008, tahun 2009, dan tahun 2012.. Sebelum nilai digital pada citra dapat digunakan, terlebih dahulu perlu dilakukan *Speckle Suppression* menggunakan filter *Lee-Sigma* yang ada pada aplikasi Erdas Imagine. Teknik ini dilakukan untuk mengurangi noise yang ada pada citra radar, sehingga dugaan nilai biomassa tidak ada yang menjadi penciran dikarenakan *noise* dari radar. Filter yang digunakan adalah filter dengan ukuran 2x2.

Setelah dilakukan filter, nilai digital dari citra PALSAR di-ekstrak dan diolah menggunakan persamaan matematis untuk merubahnya menjadi nilai hamburan balik (*Backscatter*). Nilai hamburan balik ini yang kemudian akan mewakili tiap-tiap nilai biomassa terukur pada citra. Nilai digital tersebut dikonversi menggunakan persamaan yang dipublikasi oleh Shimada *et al.* 2009.

Mengenai galat posisi pada citra PALSAR, data yang digunakan adalah data dengan level pengolahan 4.1 *Orthorectified*. Sehingga dapat dikatakan bahwa skala pada citra telah mewakili sesuai dengan yang dilapangan. Namun begitu, tetap ada galat pada pengambilan titik dengan GPS. Untuk mengatasi hal tersebut, pengambilan nilai digital pada citra dilakukan menggunakan *buffer* dengan diameter 20m kemudian merata-ratakan nilai digital yang diperoleh dari buffer tersebut.

2.2. Pengambilan Data Lapangan

Pengukuran di lapangan dilakukan di dua lokasi terpisah, yaitu hutan tanaman hasil reklamasi tambang dan hutan alam. Pengukuran di hutan tanaman hasil reklamasi dilakukan pada plot ukur lingkaran berukuran 0.1 ha, dengan diameter 17.8m. Pengukuran di hutan alam dilakukan menggunakan plot persegi berukuran 20x20m dan disusun dengan bentuk jalur. Pengukuran lapangan terhadap parameter peubah dominan biomassa seperti diameter dan tinggi pohon dilakukan di 12 lokasi terpisah.

2.3. Estimasi Jumlah Biomassa Tersimpan pada Tegakan

Estimasi jumlah karbon yang tersimpan pada tutupan lahan hutan diolah dan dianalisis dari data pengukuran lapangan. Pengolahan data hasil pengukuran di lapangan dilakukan untuk menduga biomassa atas permukaan tanah (*above-ground biomass*) pada setiap plot dengan menggunakan model alometrik. Pendugaan biomassa di lapangan dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik. Persamaan alometrik yang akan digunakan merupakan persamaan biomassa yang didasarkan atas kerapatan jenis (ρ) setiap spesies yang diukur. Adapun persamaan alometrik penduga biomassa yang digunakan adalah :

$$AGB = 0.11 \rho (D)^{2.62} \text{ (Ketterings et al. 2001)}$$

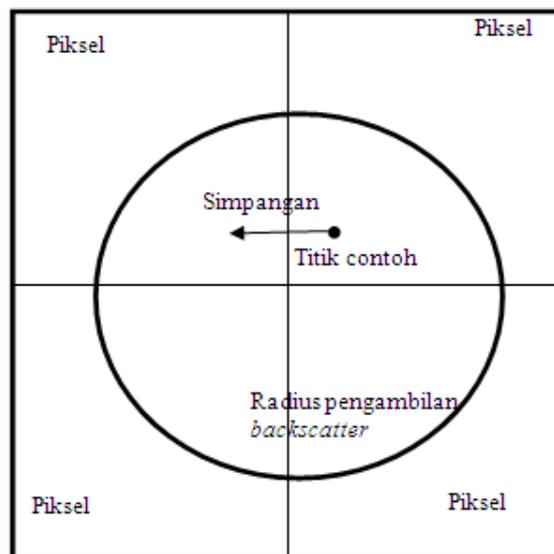
Keterangan:

- AGB = biomassa atas permukaan tanah (*above-ground biomass*)
- D = diameter setinggi dada (cm)
- ρ = kerapatan jenis (ton/m³)

Untuk acuan data kerapatan jenis digunakan data dari Database Massa Jenis Kayu, *World Agroforestry Center (ICRAF)*.

2.4. Estimasi Biomassa menggunakan citra ALOS PALSAR

Dalam estimasi biomassa menggunakan citra ALOS PALSAR pada daerah penelitian, didasarkan pada dua macam parameter penduga yaitu nilai *backscatter* pada polarisasi HH dan HV. Pengambilan acuan nilai *backscatter* ini dilakukan pada titik-titik survey lapangan yang ditandai menggunakan GPS. Adanya simpangan pada saat pengambilan titik di lapangan di kompensasi dengan cara memperlebar radius pengambilan sampel *backscatter* pada citra. Nilai *backscatter* yang digunakan kemudian adalah rata-rata dari *backscatter* dalam radius tersebut. Skema pengambilan nilai digital pada Citra ALOS PALSAR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengambilan Nilai Digital pada Citra ALOS PALSAR

Nilai *backscatter* Citra ALOS PALSAR untuk tiap plot sampel diturunkan dari nilai *backscatter* tiap polarisasi dan band sintetis dan merupakan nilai rata-rata dari 5x5 piksel yang dipusatkan pada masing-masing plot sampel.

Nilai backscatter (σ^0) dihitung dari nilai digital number menggunakan rumus:

$$\sigma^0 = 10 \log_{10} (dN^2) + CF ;$$

Keterangan:

σ^0 = *Backscatter* (dB)

dN = Nilai digital (degree)

CF = *Calibration factor* dari Citra ALOS PALSAR peliputan tahun 2007 sebesar -83,0 (JAXA Publication)

Nilai backscatter ini kemudian di hubungkan dengan nilai biomassa terukur yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Hubungan antara nilai backscatter dan biomassa tersebut akan menghasilkan persamaan regresi matematis yang dapat dipakai untuk menduga nilai biomassa di lokasi lain dalam suatu areal perusahaan tambang yang memiliki nilai *backscatter* yang serupa.

2.5. Regresi Biomassa dan Nilai *Backscatter*

Pada penelitian tahun 2002 menggunakan citra radar, Imhoff, M.L (2002) menjelaskan bahwa terdapat nilai kejenuhan untuk pendugaan biomassa menggunakan radar. Selain itu, nilai *backscatter* yang negatif membuat hubungan berbentuk Power dan Logaritma tidak memungkinkan untuk digunakan. Adanya kejenuhan ini mempermudah penentuan bentuk model yang sebaiknya digunakan untuk menghubungkan (regresi) biomassa dengan nilai backscatter.

Regresi non-linear berbentuk eksponensial merupakan bentuk yang disarankan dalam menjelaskan hubungan antara dua variabel tersebut. Dalam menganalisis hubungan antara biomassa dan backscatter, digunakan program statistik SPSS.

Setelah diperoleh hubungan matematis antara backscatter dan biomassa, Erdas modeler digunakan untuk mengubah nilai digital pada tiap-tiap piksel citra menjadi biomassa yang mewakili wilayah penelitian.

Peta biomassa yang dihasilkan pada proses ini kemudian dibandingkan secara multi-waktu untuk memperoleh perbandingan simpanan karbon.

2.6. Analisis Keekonomian Selisih Simpanan Karbon

Perbandingan kandungan biomassa secara multi-waktu memungkinkan untuk melihat adanya pertambahan atau pengurangan simpanan karbon pada lokasi penelitian. Untuk melihat potensi keekonomian dari simpanan karbon tersebut maka simpanan karbon pada lokasi penelitian haruslah bertambah. Sebagai contoh penerapan kasus REDD, maka dapat juga disimulasikan aplikasi salah satu metodologi REDD yang telah disahkan oleh UN-CDM, VCS, atau lembaga akreditasi karbon internasional lainnya.

Karbon umumnya diakreditasi dalam satuan tCO₂e, dimana ini merupakan setara dengan satu ton emisi CO₂. Untuk merubah nilai biomassa menjadi tCO₂e dapat menggunakan persamaan berikut:

$$CER = (B \times CF \times 44/12) / 1000$$

dimana:

CER = Certified Emission Reduction (tCO₂e)

B = Biomassa (kg)

CF = Carbon Fraction (0.5)

(IPCC 2006)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simpanan Biomassa

Pengukuran lapangan terhadap parameter peubah dominan biomassa seperti diameter dan tinggi pohon di dalam wilayah kuasa pertambangan (KP) PT. JResources Bolaang Mongondow (selanjutnya disebut JRBM) yang dilakukan di 12 lokasi terpisah ditemukan 18 spesies pohon-pohonan pada hutan tanaman reklamasi dan 23 spesies pada hutan alam yang ditemukan pada saat survey lapangan. Untuk mempermudah pendugaan simpanan biomassa secara keseluruhan, dan meminimalisir galat yang terjadi akibat tingginya jumlah persamaan alometrik yang digunakan, maka persamaan matematis yang digunakan untuk menduga jumlah biomassa pada tegakan yang ditemui dilapangan adalah persamaan yang dibuat oleh Ketterings *et. al.* 2001. Hasil perhitungan simpanan biomassa di lapangan diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Perhitungan *Biomassa* pada Hutan Tanaman dan Hutan Alam PT. JRBM

No	Nama Plot	Tahun tanam	Biomasa (ton)/ha
1	JRBM Olympic A	2010/2011	01.1
2	JRBM Olympic B	2010/2011	00.8
3	JRBM Plant Area	2005	36.6
4	JRBM West Dam Kepiting	2008	06.2
5	JRBM West Agus Dwi	2009/2010	18.5
6	JRBM West Dam Lama	2007	17.4
7	JRBM Hutan Alam AP I		503.8
8	JRBM Hutan Alam AP II		589.3
9	JRBM Hutan Alam AP III		589.3
10	JRBM Hutan Alam AP IV		221.5
11	JRBM Hutan Alam AP V		150.8
12	Hutan Hutan Alam X		84.9

Berdasarkan Tabel 1, potensi simpanan biomassa untuk hutan tanaman reklamasi umur 2 tahun adalah 0.8 ton/ha dan umur 8 tahun sebesar 36.6 ton/ha. Sementara untuk hasil pengukuran di hutan alam menunjukkan bahwa potensi karbon terendah adalah 84.9 ton/ha hingga 589.3 ton/ha.

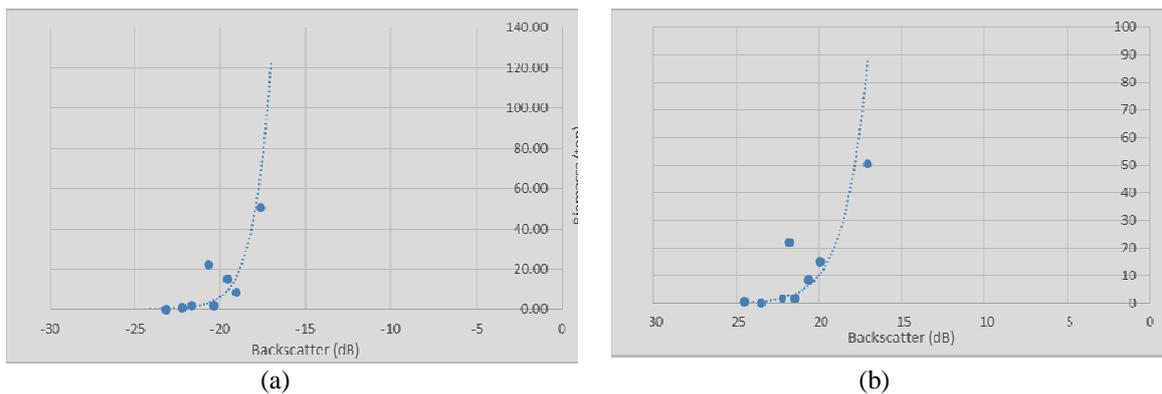
3.2. Hubungan Nilai *Backscatter* dengan Biomassa

Setelah dilakukan pengolahan nilai digital, dapat dilakukan analisis hubungan antara biomassa hasil pengukuran lapangan dan nilai hambur balik pada citra. Tabel 2 menyajikan nilai hamburan balik dan biomassa masing-masing plot pengukuran lapangan di PT. JRBM

Imhoff, M.L (2002) menjelaskan bahwa terdapat nilai kejenuhan untuk pendugaan biomassa menggunakan radar. Berdasarkan hal ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang berbentuk eksponensial antara *Backscatter* sebagai variabel bebas dan Biomassa sebagai variabel tidak bebas. Berdasarkan hal tersebut, maka dibuatlah suatu persamaan matematis yang menghubungkan antara nilai hamburan balik HH – Biomassa dan HV – Biomassa. Seperti disajikan pada Gambar 2.

Tabel 2. Tabel Nilai Hamburan Balik untuk Setiap Plot Ukur di PT. JRBM

No	Nama Plot	Biomasa (ton)	Backscatter	
			HH	HV
1	JRBM Olympic A	0.11	-23.17	-23.54
2	JRBM Olympic B	0.08	-20.30	-19.61
3	JRBM Plant Area	3.66	-17.02	-18.69
4	JRBM West Dam Kepiting	0.62	-22.28	-24.52
5	JRBM West Agus Dwi	1.85	-21.72	-22.21
6	JRBM West Dam Lama	1.74	-20.34	-21.42
7	JRBM HA AP I	50.38	-17.63	-17.06
8	JRBM HA AP II	58.93	-22.02	-24.06
9	JRBM HA AP III	58.93	-24.10	-22.51
10	JRBM HA AP IV	22.15	-20.68	-21.72
11	JRBM HA AP V	15.08	-19.58	-19.92
12	JRBM HA Hutan X	8.49	-19.05	-20.55



Gambar 2. Hubungan Nilai Hambur Balik HH (a) dan HV (b) dengan Biomassa di PT. JRBM

Menggunakan Aplikasi Statistik SPSS kemudian dilakukan analisis regresi non-linear untuk mencari koefisien yang dapat menggambarkan hubungan kedua variabel tersebut. Hasilnya disajikan pada Tabel 3.

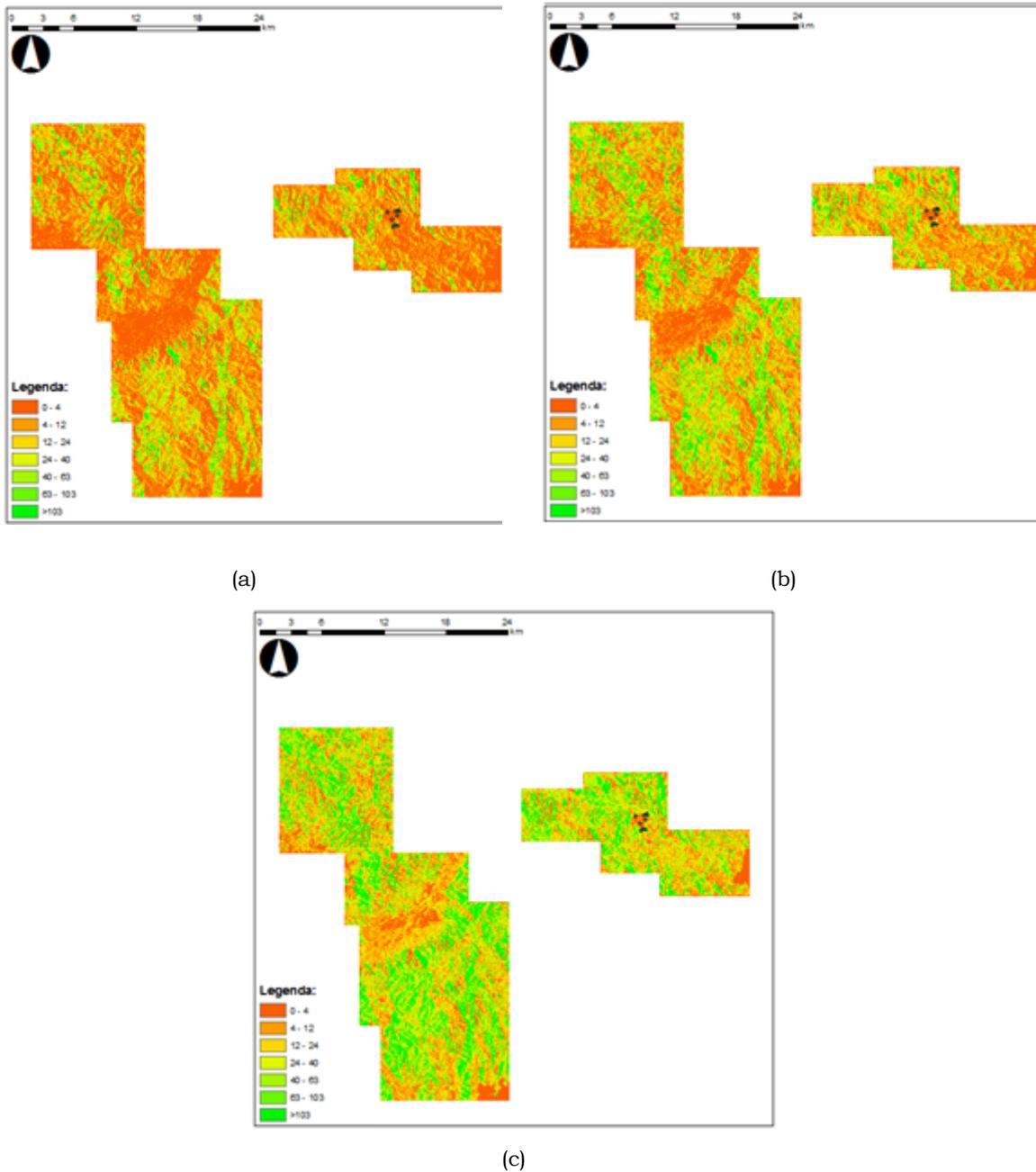
Tabel 3. Tabel Hubungan Eksponensial antara Backscatter dan Biomassa di PT. JRBM

	y	X	a	b	R ²
$y = a*(EXP(bx))$	Biomassa	Backscatter HH	15532080.17	0.718	80.6%
$y = a*(EXP(bx))$	Biomassa	Backscatter HV	76027.906	0.429	85.3%

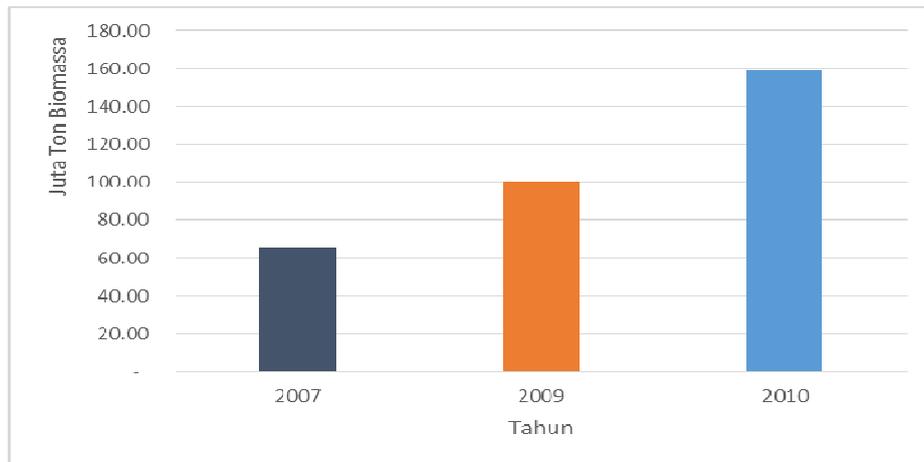
Berdasarkan hasil regresi non-linear, hubungan antara nilai hamburan balik HV dengan biomassa memiliki R² lebih besar daripada hubungan nilai maburan balik HH dengan biomassa. Oleh karena itu, persamaan matematis yang digunakan untuk menduga potensi simpanan karbon di PT. JRBM adalah hubungan antara Backscatter HV dan biomassa.

3.3. Estimasi Simpanan Karbon di PT. JRBM

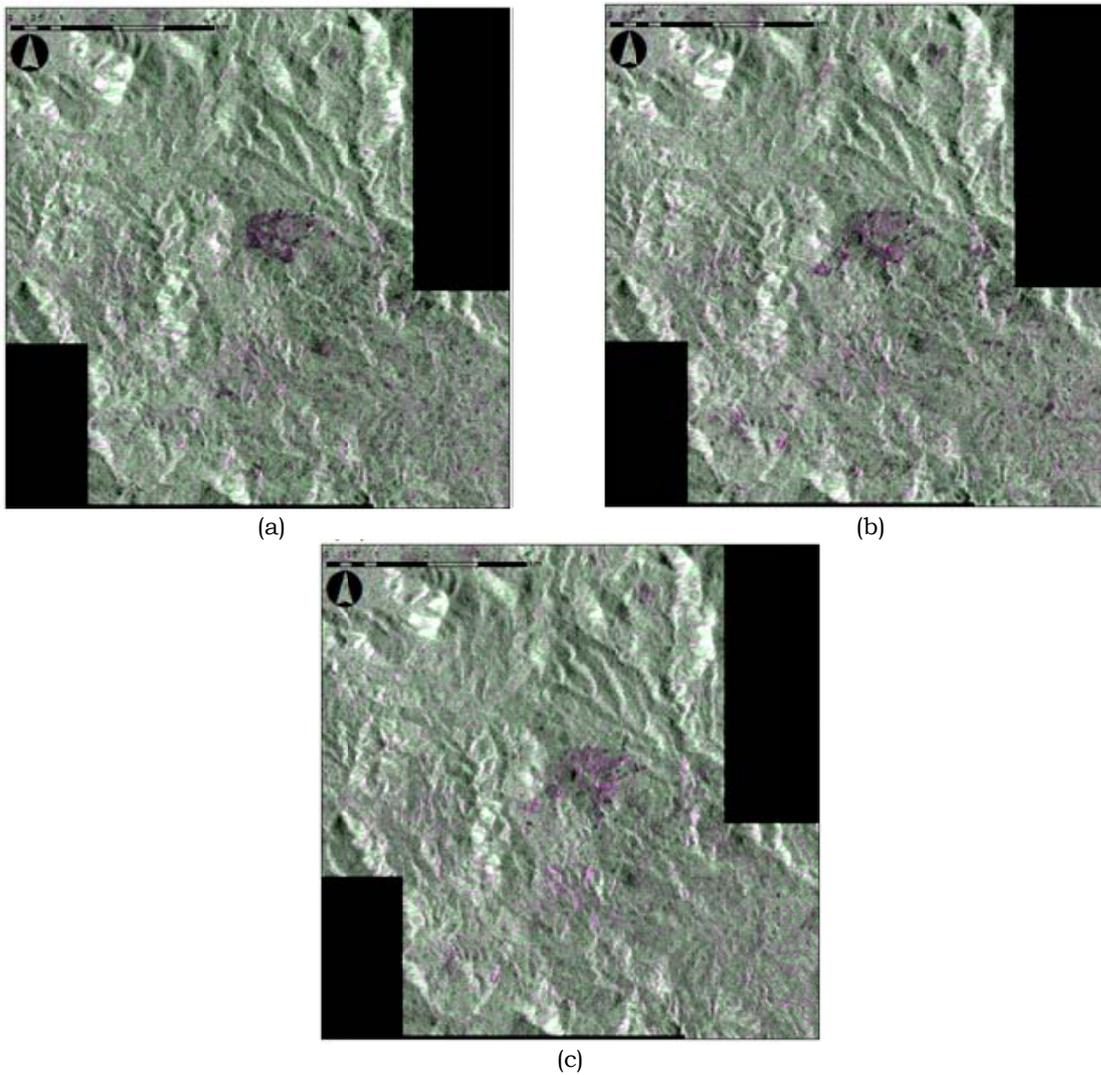
Dengan adanya hubungan matematis antara biomassa dan nilai hamburan balik HV, maka secara *remote sensing* dapat diduga jumlah simpanan karbon multi-waktu pada PT. JRBM. Citra yang digunakan untuk menduga simpanan karbon di lokasi penelitian adalah citra ALOS PALSAR tahun perekaman tahun 2008, 2009, dan 2010. Sebagai catatan, dikarenakan kesalahan sistemik, citra ALOS PALSAR tidak lagi merekam sejak April 2010, sehingga tidak mungkin diperoleh citra yang lebih mutakhir untuk perekaman setelah tanggal tersebut.



Gambar 3. Peta Estimasi Potensi Simpanan Biomassa PT. JRBM (Tbk.):
 (a) Tahun 2008; (b) Tahun 2009; (c) Tahun 2010



Gambar 4. Estimasi Biomassa Tersimpan untuk PT. JResources Bolaang Mongondow



Gambar 5. Citra Satelit PT. JRBM (Tbk.): (a) Tahun 2007; (b) Tahun 2009; (c) Tahun 2010

Persamaan estimasi biomassa pada

Tabel yaitu $y=76027.906*(EXP(0.429x))$, x adalah nilai hamburan balik HV dan diaplikasikan pada citra ALOS PALSAR menghasilkan suatu dugaan karbon untuk wilayah kuasa pertambangan (KP) PT. JRBM. Peta Estimasi Potensi Simpanan Biomassa PT. JRBM (Tbk.) Tahun 2008, 2009, dan 2010 disajikan pada Gambar 3. Jumlah dugaan biomassa yang tersimpan pada lokasi tersebut di tahun 2008 adalah sebesar 65,390,507.14 ton biomassa atau jika diasumsikan faktor konversi biomassa terhadap karbon adalah 0,5 maka dugaan jumlah karbon yang tersimpan di PT. JRBM (Tbk.) untuk tahun pengamatan 2008 adalah 32,695,253.57 ton.

Untuk tahun pengamatan 2009 digunakan citra ALOS PALSAR perekaman 26 September 2009 dengan total dugaan biomassa tersimpan sebesar 100,293,545.43 ton atau setara dengan 50,146,772.71 ton karbon. Sementara pada tahun 2010 digunakan citra ALOS PALSAR perekaman 29 September 2010 dengan total dugaan simpanan biomassa sebesar 158,840,497.10 ton atau setara dengan 79,420,248.55 ton karbon. Estimasi Biomassa Tersimpan untuk PT. JResources Bolaang Mongondow tahun 2008, 2009, dan 2010 diberikan pada Gambar 4.

Pada Gambar 5 dapat diperkirakan bahwa penambahan jumlah biomassa tersimpan di dalam KP PT. JRBM disebabkan karena pertumbuhan alami diluar wilayah reklamasi. Walaupun begitu, upaya reklamasi dari pihak perusahaan juga dapat dilihat hasilnya. Pada Gambar 20 dapat dilihat bahwa walaupun terjadi penambahan luasan bukaan tambang, ada wilayah-wilayah tertentu yang menghiijau, diduga ini terjadi karena tanaman hasil reklamasi sudah cukup besar sehingga dapat dideteksi oleh satelit.

3.4. Estimasi Nilai Ekonomi Pertambahan Karbon Tersimpan pada Lokasi Penelitian

Penghitungan nilai ekonomi dari penambahan carbon yang tersimpan harus didasarkan pada business as usual (BAU). BAU dipahami sebagai scenario bisnis seperti biasa yang didasarkan pada proyeksi apa yang akan terjadi di masa depan tanpa adanya kebijakan mengenai perubahan iklim dan aksi aksi mitigasi. Hasil kajian dari penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu dasar penetapan BAU di kawasan pertambangan. Estimasi nilai Ekonomi pertambahan karbon tersimpan pada lokasi penelitian dihitung menggunakan harga asumsi nilai keekonomian pertambahan karbon tersimpan ditentukan berdasarkan nilai rata-rata kredit karbon internasional yaitu setara dengan Rp44,000 (US 4\$, kurs Rp11,000 per US\$) per tonCO₂e. dengan asumsi BAU yang dipakai adalah simpanan Carbon pada tahun 2008.

Jika diasumsikan bahwa seluruh wilayah kuasa pertambangan PT. JRBM adalah wilayah penelitan untuk metodologi AR-ACM0001, maka berdasarkan hasil penghitungan stok karbon tersimpan dari tahun 2008, 2009, dan tahun 2010 terjadi penambahan simpanan karbon dengan nilai keekonomian yang dijelaskan pada Tabel 4 dengan asumsi BAU yang dipakai adalah simpanan Carbon pada tahun 2008.

Tabel 4. Perhitungan Perkiraan Nilai Keekonomian Pertambahan Simpanan Karbon PT. JRBM

Tahun	Total Karbon Tersimpan (tonC)	Selisih Karbon Tersimpan (tonC)	CER (tCO ₂ e)	Nilai Keekonomian (Rp)
2008	32,695,253.57	0	0	0
2009	50,146,772.71	17,451,519.14	63,988,903.52	2,815,511,754,831.45
2010	79,420,248.55	29,273,475.84	107,336,078.07	4,722,787,435,197.64

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan terdapat perubahan luas penutupan lahan hutan dikarenakan aktivitas penambangan, dan berdasarkan analisis citra tahun 2008, 2009, dan 2010, jumlah karbon tersimpan di lokasi penelitian sebesar 32,695,253.57 tonC pada tahun 2008, 50,146,772.71 tonC pada tahun 2009 dan 79,420,248.55 tonC pada tahun 2010. Nilai ekonomi karbon yang tersimpan tahun 2010 sebesar Rp.7,538,299,190,029.09 dengan estimasi harga berdasarkan skema REDD dan asumsi BAU simpanan Carbon tahun 2008.

Dalam skema REDD penghitungan nilai ekonomi dari penambahan carbon yang tersimpan harus didasarkan pada business as usual (BAU). Diperlukan penelitian lebih dalam dengan menggunakan data citra time series pada periode yang lama dalam penetapan BAU di kawasan pertambangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Imhoff, M.L. 2002. Radar backscatter and biomass saturation: ramifications for global biomass inventory. *Geoscience and Remote Sensing*: Vol 33 [511-518].
 - [2]. IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use*. Geneva: Swiss.
 - [3]. JAXA. 2010. PALSAR : Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar [internet]. [diunduh 2013 Januari 10]. Tersedia pada:<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.htm>
 - [4]. Ketterings QM, R Coe. M Noordwijk, Y Ambagn, CA Palm. 2001. Reducing Uncertainty in the Use of Allometric Biomass Equation for Predicting Above, Ground Tree Biomass in Mixed Secondary Forest. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
 - [5]. Nurhadiatin, D. 2011. *Aplikasi dan Evaluasi Citra ALOS PALSAR Resolusi 50m dan 12,5m untuk Identifikasi Penutupan Lahan*. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
 - [6]. Setiadi Y. 2005. *Restoration Degraded Land After Mining Operation*. Bogor : Faculty of Forestry IPB.
 - [7]. Shimada M, Isoguchi O, Tadano T, Isono K. 2009. PALSAR Calibration Factor Updated [internet]. [diunduh 2013 Januari 10]. Tersedia pada: http://auig.eorc.jaxa.jp/auigs/en/doc/an/200901109en_Septyawardani
- E. 2012. *Penyusunan Model Penduga Sediaan Tegakan dan Biomassa Hutan Jati (Tectona grandis Linn. F) Menggunakan Citra Dijital Non-Metrik Resolusi Tinggi* [skripsi]. Bogor: IPB.