

**Kandungan Karbon Rawa Singkil  
dan Potensi Pengembangan Produk Jasa Lingkungan  
di Kabupaten Aceh Singkil dan Kota Subulussalam<sup>1</sup>**  
*(Carbon stock of Singkil swamp and potency of environmental services products  
in Aceh Singkil District and Subulussalam City)*

**Onrizal<sup>1</sup>, Erwin A Perbatakusuma<sup>2</sup>, dan Nurdin Sulistiyono<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara

<sup>2</sup>Conservation International Indonesia

**Abstract**

Tropical peat swamp forests are a major sink for carbon and act as a buffer for freshwater discharge. Most of Rawa Singkil Sanctuary (RSS) area is peat swamp forests and provide a major habitat for several endangered species and exert a significant influence on the climate change. Main objectives of this research are to estimate the below and above ground carbon stock in RSS and to identify the potency of environmental service products in Aceh Singkil District and Subulussalam City. Rawa Singkil Sanctuary huge amount of carbon that it around 175.18 million tones C (or equivalent with 642.91 million tones CO<sub>2</sub>). Singkil swamps have more potency of environmental service products, such as a carbon sink, a micro climate regulator, provide the habitat of protected flora and fauna, and provide a breeding ground of fish. Based on this research, we need (1) to prevent the Singkil swamps from destruction activities, (2) to conserve the Singkil swamps integrity and other swamp outside Singkil swamps, (3) to restore the catchments area and wildlife corridor around Singkil swamps, and (4) to initiative the program of reducing emission from deforestation and degradation (REDD) for RSS.

Keywords: carbon stock, environmental services, REDD, Singkil Swamp

**Abstrak**

Hutan rawa gambut tropis merupakan gudang utama karbon dan berperan penting dalam melindungi ketersediaan air tawar bersih. Sebagian besar Suaka Margasatwa Rawa Singkil (SMRS) berupa hutan rawa gambut dan menyediakan habitat utama bagi berbagai jenis-jenis yang terancam punah berpengaruh penting terhadap perubahan iklim. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menduga kandungan karbon di bawah dan di atas permukaan SMRS dan untuk mengidentifikasi potensi pengembangan produk jasa lingkungan di Kabupaten Rawa Singkil dan Kota Subulussalam. SMRS mengandung karbon yang sangat besar, yakni sekitar 175,18 million tones C (atau setara dengan 642,91 juta tones CO<sub>2</sub>). Rawa Singkil memiliki banyak potensi produk jasa lingkungan, seperti gudang penyimpanan karbon, pengatur iklim mikro, menyediakan habitat bagi flora fauna yang dilindungi, dan menyediakan tempat pemijahan berbagai jenis ikan. Berdasarkan hasil penelitian ini, direkomendasikan untuk (1) mencegah kerusakan rawa Singkil, (2) melindungi keutuhan rawa Singkil dan rawa di luar rawa Singkil, (3) merestorasi daerah aliran sungai koridor satwa di sekitar rawa Singkil, dan (4) memprakarsai program pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan (REDD) bagi SMRS.

**Kata Kunci: kandungan karbon, jasa lingkungan, REDD, rawa Singkil**

---

<sup>1</sup> Kertas kerja disampaikan dalam Seminar dan Lokakarya "Pengembangan Produksi Tanaman Bahan Bakar Nabati dan Perkebunan Sawit Berkelanjutan" pada tanggal 11 – 12 Agustus 2009 di Subulussalam yang diselenggarakan oleh Conservation International, Pemerintah Kabupaten Aceh Singkil dan Pemerintah Kota Subulussalam.

## A. PENDAHULUAN

Lebih dari dua per tiga pelayanan ekosistem dunia telah mengalami penurunan. Manfaat yang diambil dari pembangunan infrastruktur planet, justru mengakibatkan penurunan modal alam (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Jasa atau pelayanan ekosistem (*ecosystem services*) bagi kehidupan manusia sudah sejak lama dirasakan oleh manusia, namun pada era sebelumnya masih dianggap sebagai sesuatu yang gratis. Sebuah ironi terlihat jelas, di saat ekonomi tumbuh, ekosistem justru semakin mengalami kerusakan. Pada sisi lain, upaya-upaya untuk mengubah kecenderungan ini cukup memprihatinkan (van Eijk & Kumar, 2009). Seperti diperkirakan oleh Bishop *et al.*, (2008), sekitar 20 milyar US\$ diperoleh dari publik dan dana sosial untuk kegiatan-kegiatan konservasi. Sebagian besar uang tersebut digunakan untuk memelihara sekitar 100 ribu daerah perlindungan yang mencakup 12% permukaan bumi.

Pada awal tahun 1970-an dengan makin meningkat dan meluasnya masalah lingkungan hidup dan keterbatasan sumber-sumber daya alam, berkembanglah dengan pesatnya gerakan ekologi atau gerakan lingkungan yang menentang perusakan lingkungan hidup dan sumberdaya alam. Apalagi sesudah PBB menyelenggarakan Konferensi tentang Lingkungan Hidup (*United Nations Conference on Human Environment*) tahun 1972 di Stockholm, hampir seluruh lapisan masyarakat berbicara ekologi, lingkungan hidup, konservasi dan kelestarian sumberdaya alam. Pasca konferensi tersebut, perhatian masyarakat dunia terhadap permasalahan lingkungan global terus meningkat dan dikaitkan dengan pembangunan, pada tahun 1992 atau 20 tahun sejak KTT Stockholm, PBB kembali mengadakan Konferensi tentang Lingkungan dan Pembangunan (*United Nations Conference on Environment and Development*; UNCED) di Rio de Janeiro atau dikenal dengan KTT Rio.

Permasalahan-permasalahan lingkungan hidup dan pembangunan terus bertambah dan dalam beberapa dekade terakhir masalah perubahan iklim (*climate change*) menjadi perhatian masyarakat dunia. Perubahan iklim yang dipicu oleh meningkatnya emisi gas-gas rumah kaca (GRK) sebagai dampak dari penggunaan bahan bakar fosil oleh dunia industri, transportasi dan meningkatnya kerusakan hutan tropis.

Konsentrasi GRK di atmosfer dari waktu ke waktu terus meningkat. Hasil penelusuran Boer (2004) menunjukkan bahwa diperkirakan 270 ( $\pm$  30) giga ton karbon (Gt C) telah dilepas ke atmosfer dalam kurun waktu 1850 sampai 1998. Sumbangan emisi CO<sub>2</sub> dari kerusakan hutan

tropika secara global berkisar 20% (World Bank, 2007) sampai 25% (Santili *et al.*, 2005, Myers, 2007), yang merupakan angka yang sangat krusial dalam memicu pemanasan global. Kerusakan hutan alam salah satunya disebabkan seiring dengan meningkatnya konsumsi global terhadap kertas, kelapa sawit dan bahan bakar nabati. Peningkatan ini telah menyebabkan terjadinya upaya meningkatkan produksi komoditas tersebut yang tentunya membutuhkan lahan budidaya yang semakin luas dan salah satunya dengan membuka kawasan-kawasan hutan alam yang tersisa.

Sampai tahun 2006, perhatian terhadap karbon hutan dalam mitigasi CO<sub>2</sub> terfokus pada kegiatan penanaman berupa aforestasi dan reforestasi (AR) yang merupakan skema *clean development mechanism* (CDM) dari Protokol Kyoto. Pada sisi lain upaya mencegah kerusakan hutan alam sebagai bagian dalam mitigasi CO<sub>2</sub> belum masuk dalam pasar karbon (Myers, 2007). Ide memasukkan pengurangan emisi dari kerusakan hutan ke dalam pasar karbon dimulai tahun 2006 (Chomitz *et al.*, 2006) yang diawali dengan laporan kebijakan World Bank tentang kompensasi keuangan internasional untuk mengurangi kerusakan hutan tropika di negara berkembang (Alfarado, & Wertz-Kanounnikoff, 2007). Selanjutnya mekanisme tersebut dikenal dengan *reducing emission from deforestation and degradation* (REDD) yang disepakati pada CoP 13 UNFCCC di Bali pada Desember 2007.

Kegiatan AR secara inheren berbeda dengan aktivitas REDD. Kegiatan AR merupakan penyerap karbon (*sequester carbon*) dan mendapatkan kredit berdasarkan peningkatan karbon yang disimpan. Pada sisi lain, kegiatan REDD adalah mengurangi emisi (*reduce emission*). Pengurangan emisi dari kerusakan hutan (*deforestation* atau deforestasi) mensyaratkan pengurangan laju deforestasi di bawah berbagai skenario dasar (*baseline scenario*) (Myers, 2007). Streck (2007) menyatakan perluasan pasar karbon ke skema REDD membutuhkan dasar ilmiah yang kuat, sementara data awal simpanan karbon di hutan alam belum banyak diketahui.

Kesadaran masyarakat dunia dewasa ini akan pentingnya pengelolaan konservasi lingkungan dan sumberdaya alam yang lebih baik semakin meningkat. Hal ini antara lain didorong oleh publikasi dari Millennium Ecosystem Assessment (2005) yang menyoroti manfaat ekonomi pelayanan lingkungan secara langsung terhadap ekonomi global serta dampak negatif sosio-ekonomi dari kerusakan lingkungan. Kesadaran akan perlunya pengelolaan sumberdaya yang

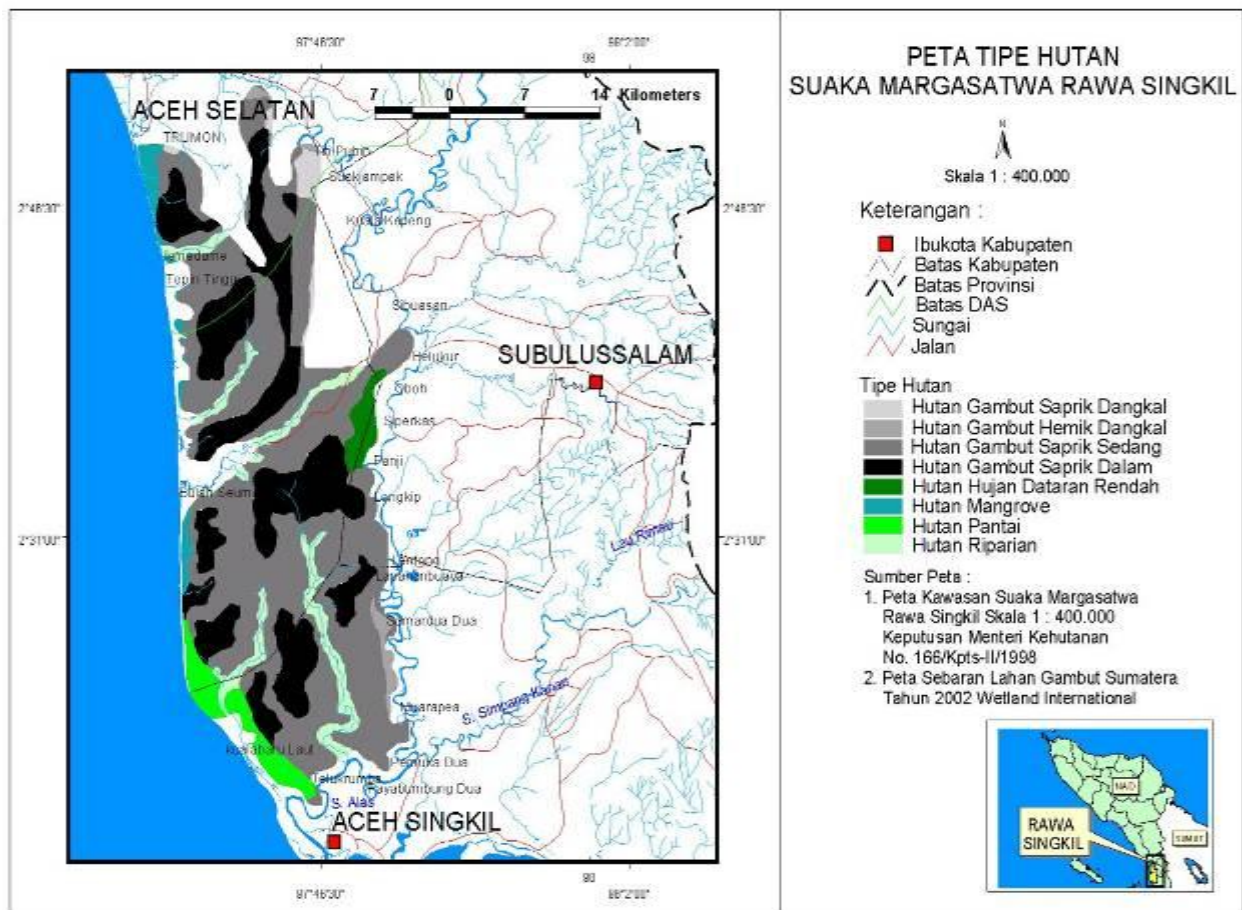
lebih baik juga didorong oleh pengaruh fisik dari kerusakan lingkungan yang semakin nyata pada dekade terakhir ini; perubahan iklim dan kerusakan keanekaragaman hayati adalah contoh umum masalah lingkungan yang sering muncul sebagai berita utama. Sejauh ini, upaya-upaya untuk menghadapi bahaya besar masalah lingkungan belum cukup berhasil. Salah satu penyebabnya adalah kenyataan bahwa jerat kemiskinan tidak ditanggapi secara tepat sebagai akar permasalahan dari kerusakan lingkungan dalam penyusunan kebijakan dan perencanaan yang dilakukan oleh pemerintah, LSM, pihak swasta dan pihak-pihak lain yang terlibat dalam pengelolaan sumberdaya alam dan konservasi lingkungan (van Eijk & Kumar, 2009). Skema pembayaran jasa lingkungan (*payment for environment services*) telah menarik minat para pemangku kepentingan sebagai sebuah mekanisme untuk menerjemahkan nilai non pasar eksternal lingkungan menjadi insentif nyata bagi masyarakat setempat atas pengadaan pelayanan (Engel *et al.*, 2008).

Sampai tahun 1992, Rawa Singkil merupakan kawasan hutan rawa paling akhir yang sepenuhnya masih utuh dan masih tersisa di pantai barat Sumatera (Giesen *et al.*, 1992). Kawasan ini telah ditunjuk sebagai Kawasan Pelestarian Alam berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan No. 166/Kpts-II/1998 tentang Perubahan Fungsi dan Penunjukkan Kawasan Hutan Rawa Singkil Yang Terletak di Kabupaten Aceh Selatan Provinsi Daerah Istimewa Aceh Seluas 102.500 Hektar Menjadi Kawasan Suaka Alam Dengan Nama Suaka Margasatwa Rawa Singkil (SMRS). Kawasan ini merupakan perwakilan ekosistem lahan basah di hutan hujan tropis dataran rendah dan bagian dari Ekosistem Leuser serta menjadi habitat utama bagi satwa liar yang dilindungi dan terancam punah secara global, seperti Harimau Sumatera, Orangutan Sumatera, Gajah Sumatera dan Badak Sumatera. Tingginya nilai konservasi di kawasan tersebut, menjadikan kawasan ini telah disepakati oleh para pakar sebagai salah satu Kawasan Kunci Keanekaragaman Hayati (*key biodiversity area*) di Pulau Sumatera (Conservation International, 2007). Disamping itu, kawasan konservasi ini memiliki peranan penting dalam melindungi jasa lingkungan yang terkandung di dalamnya, khususnya sebagai pelindung keseimbangan sistem tata air dan gudang alam untuk penyimpanan karbon guna mitigasi dampak pemanasan global. Selanjutnya, salah satu upaya penting untuk mendukung mempertahankan eksistensi, peranan dan upaya konservasi SMRS tersebut adalah kajian tentang kandungan karbon serta potensi pengembangan produk jasa lingkungan dari kawasan tersebut.

## B. METODOLOGI PENELITIAN

Survey lapangan untuk menduga kandungan karbon dilakukan pada tanggal 20-30 April 2009 di kawasan Suaka Margasatwa Rawa Singkil. Selain itu, untuk analisis potensi pengembangan produk jasa lingkungan, dilakukan kajian pustaka terkait karakteristik dan fungsi kawasan rawa Singkil serta berbagai praktek dan ulasan terkait jasa lingkungan di berbagai tempat lainnya dalam kurun waktu Mei-Juli 2009.

Pendugaan kandungan karbon rawa Singkil mencakup kandungan karbon di dalam tanah (below ground) dan pada tegakan hutan (above ground). Berdasarkan kajian Giesen *et al.* (1992) terdapat tiga tipe tanah di kawasan rawa Singkil, yakni (1) tanah alluvial di sepanjang sungai, (2) tanah endapan dari laut di sepanjang pantai, dan (3) tanah gambut di bagian tengah. Hutan rawa gambut merupakan tipe hutan utama dan sebagian besar dari rawa Singkil. Selain itu juga terdapat hutan mangrove dan hutan pantai serta sedikit hutan riparian yang terletak di kiri kanan sungai dan sedikit hutan hujan dataran rendah (Gambar 1).



Gambar 1. Peta tipe hutan yang terdapat di SMRS

Pencuplikan data karbon tegakan dan karbon tanah hutan dilakukan pada petak contoh berukuran 30 m x 30 m sebanyak 30 buah. Mengingat sebaran dan karakteristik kawasan, pengambilan contoh disebar secara merata pada tiga tipe hutan utama, yakni hutan rawa gambut, hutan mangrove dan hutan pantai. Selain pengukuran tegakan dan pengambilan contoh tanah, pada setiap petak juga diukur suhu dan kelembaban udara (Tabel 1).

Seluruh pohon berdiameter 5 cm atau lebih di dalam petak ukur diidentifikasi, diukur diameter serta ditaksir tinggi total dan tinggi bebas cabang pohon. Diameter pohon yang diukur adalah diameter setinggi dada (*diameter at breast height; DBH*), yakni pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah untuk pohon tidak berbanir dan pada ketinggian 20 cm di atas banir tertinggi untuk pohon berbanir. Material herbarium diambil untuk keperluan identifikasi yang dilakukan di Herbarium USU dan Herbarium Bogoriense LIPI Bogor.

Pendugaan kandungan karbon tegakan dilakukan dengan menggunakan hubungan alometrik yang sudah ada untuk pendugaan biomassa hutan tropis, yakni Kattering *et al.* (2001) untuk hutan rawa gambut dan hutan pantai, dan Komiyama *et al.* (2005) untuk hutan mangrove. Kandungan karbon (C) biomassa pohon dihitung dengan menggunakan rumus  $C = 50\%$  biomassa tumbuhan (Brown, 1999, Delaney, 1999, Delaney & Roshetco, 1999, Powell, 1999 dan International Panel on Climate Change/IPCC, 2003). Jumlah  $CO_2$  yang diabsorpsi dihitung dengan rumus  $CO_2 = C \times 3,67$  (Mirbach, 2000).

**Tabel 1. Lokasi dan posisi geografis petak contoh pengukuran karbon tegakan dan karbon tanah**

<b>Petak Contoh Ke-</b>	<b>Tipe Hutan dan Lokasi</b>	<b>Posisi Geografis</b>
	<b>Hutan Pantai</b>	
1	Suak Merah	N2 22.401 E97 41.167
2	Suak Merah	N2 22.488 E97 41.077
3	Suak Merah	N2 22.569 E97 41.010
4	Suak Merah	N2 22.650 E97 40.933
5	Suak Merah	N2 22.732 E97 40.847
6	Suak Merah	N2 22.823 E97 40.754
7	Suak Merah	N2 22.902 E97 40.661
8	Suak Merah	N2 22.985 E97 40.574
9	Kuala Cangkul	N2 23.054 E97 40.506
10	Kuala Cangkul	N2 23.128 E97 40.421
	<b>Hutan Mangrove</b>	

11	1. Kuala Baru Sungai	N2 21.184 E97 42.555
12	2. Lhongali	N2 21.347 E97 42.662
13	3. Suak Buaya	N2 21.461 E97 42.564
14	4. Suak Buaya	N2 21.611 E97 42.531
15	5. Simukor-mukor	N2 21.400 E97 42.827
16	6. Simukor-mukor	N2 21.360 E97 43.077
17	7. Air putih	N2 20.745 E97 42.859
18	8. Bandar Sempit	N2 19.394 E97 44.035
19	9. Bandar Sempit	N2 19.421 E97 44.094
20	10. Bandar Sempit	N2 18.883 E97 44.637
	<b>Hutan Rawa Gambut</b>	
21	1. Kuala Baru Sungai	N2 21.070 E97 42.789
22	2. Padang Malaka	N2 23.014 E97 41.898
23	3. Padang Malaka	N2 23.066 E97 41.970
24	4. Padang Malaka	N2 23.159 E97 42.042
25	5. Padang Malaka	N2 23.146 E97 42.147
26	6. Padang Malaka	N2 23.244 E97 42.101
27	7. Padang Malaka	N2 23.309 E97 42.168
28	8. Lau Terep	N2 21.184 E97 47.343
29	9. Lau Terep	N2 21.268 E97 47.487
30	10. Lau Terep	N2 21.319 E97 47.142

**Tabel 2. Model alometrik yang digunakan untuk menduga biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground biomass*) tegakan hutan di Suaka Margasatwa Rawa Singkil**

<b>Tipe Hutan</b>	<b>Persamaan alometrik</b>	<b>Pustaka</b>
Hutan Rawa Gambut, Hutan Pantai	$W = 0,11 \rho D^{2+c}$	Katterings <i>et al.</i> (2001)
Hutan Mangrove	$W = 0,251\rho D^{2,46}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)

Ket.:  $W$  = biomassa per pohon (kg),  $D$  = DBH (cm),  $\rho$  = kerapatan kayu (wood density;  $g/cm^3$  atau  $t/m^3$ );  $c$  = koefisien yang menggambarkan hubungan antara diameter dan tinggi pohon ( $c$  yang digunakan = 0,62 berdasarkan Katterings *et al.*, [2001]). Nilai  $\rho$  mengacu pada Prosea (1994, 1995, 1996), Reyes *et al.* (1992), Newman *et al.* (1999), Katterings *et al.* (2001), Komiyama *et al.* (2005) dan website ICRAF SE Asia.

Pencuplikan contoh karbon tanah gambut mengacu pada metode yang digunakan oleh Wetland International-Indonesia Programme (Wahyunto *et al.* 2005). Secara garis besar prosedur pendugaan karbon tanah pada suatu lahan gambut memerlukan data (1) ketebalan gambut, (2) luas lahan gambut, (3) tingkat kematangan gambut, (4) bobot isi (*bulk density*) dan (5) proporsi C organik. Ketebalan gambut diketahui dengan pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan Bor Eijkelkamp, dan tingkat kematangan gambut didapatkan dari

pengamatan langsung di lapangan. Untuk mengetahui bobot isi tanah gambut digunakan ring sampler untuk mengambil contoh tanah sebanyak 2 buah pada setiap petak ukur dan kemudian dianalisis di Laboratorium Tanah FP USU. Sebanyak 0,5 kg contoh tanah gambut diambil kemudian dianalisis kandungan C organiknya di Laboratorium Tanah RISPA Medan dan Balai Penelitian Tanah Bogor. Luas lahan gambut menurut tingkat kematangan gambut dihitung dengan perangkat sistem informasi geografis dengan memadukan (overlay) peta sebaran gambut Sumatera (Wahyunto *et al.*, 2003) dengan peta kawasan SMRS menurut SK Menhut No. 166/Kpts-II/1998.

Pendugaan karbon tanah pada hutan mangrove dan hutan pantai secara prinsip sama dengan hutan rawa gambut, namun tidak mencakup ketebalan tanah dan kematangan tanah. Ketebalan tanah untuk pendugaan karbon pada hutan mangrove dan hutan pantai ditetapkan sedalam 30 cm. Analisis tanah lainnya sama dengan yang dilakukan pada hutan rawa gambut. Pendugaan cadangan karbon bawah permukaan (tanah) dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kandungan Karbon (KC)} = B \times A \times D \times C$$

dimana KC adalah kandungan karbon tanah (dalam ton), B adalah bobot isi tanah (dalam gr/cc atau ton/m<sup>3</sup>); A adalah luas tanah; D adalah ketebalan tanah (dalam meter; untuk tanah gambut sesuai hasil pengukuran di lapangan, sedangkan tanah selain gambut digunakan kedalaman 30 cm); dan C adalah kadar karbon (C-organik) tanah.

## **C. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **1. Kondisi Lingkungan**

Kawasan Singkil termasuk daerah tropis sangat basah. Hal ini terlihat dengan rata-rata curah hujan tahunan mencapai 4550 mm dan bulanan 379,2 mm dengan kisaran 267-551 mm/bulan (Oldeman *et al.*, 1979). Oleh karena itu, tidak terdapat bulan kering di kawasan tersebut. Berdasarkan pengukuran langsung di lapangan, suhu dan kelembaban udara (RH) di lokasi penelitian secara berturut-turut berkisar antara 27-32°C dan 68-93% (Gambar 2).

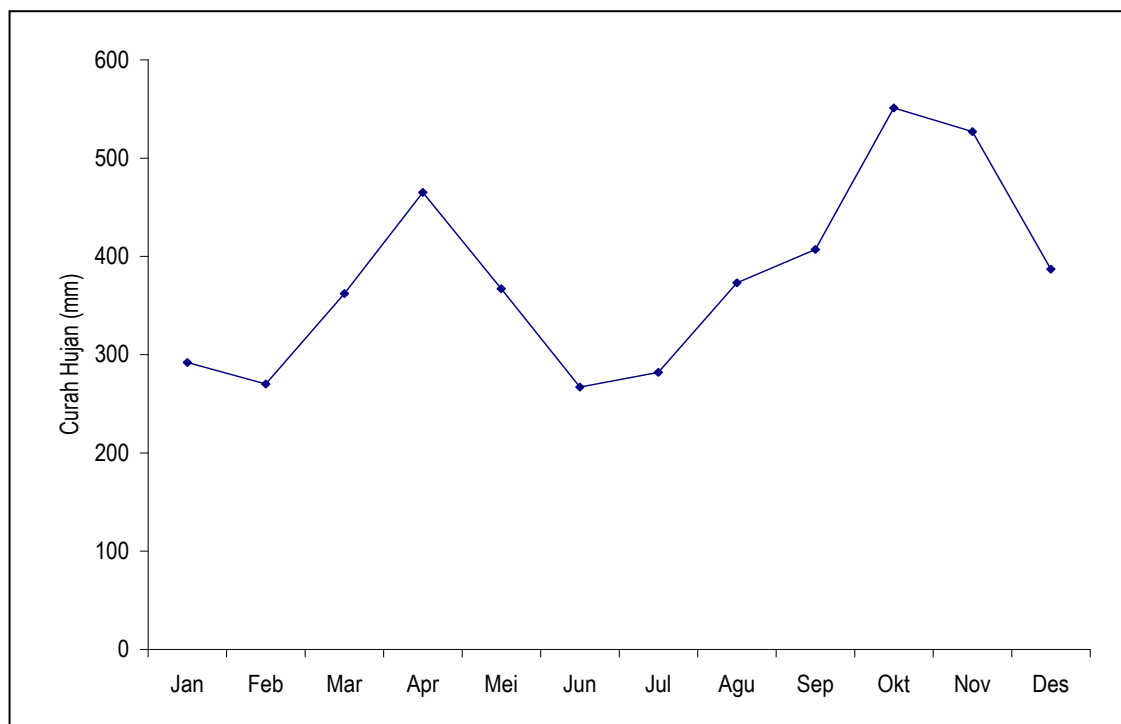
Hasil penelitian Giesen *et al.* (1992) menyatakan bahwa air Rawa Singkil didominasi oleh air hitam yang masam dengan derajat keasaman (pH) berkisar antara 4,1-4,2 dengan warna hitam yang sangat dipengaruhi oleh tanin dari gambut yang terdapat di kawasan tersebut. Air yang sangat masam dengan sedikit kandungan oksigen (1,0-1,5 mg/l) dan daya hantar listrik

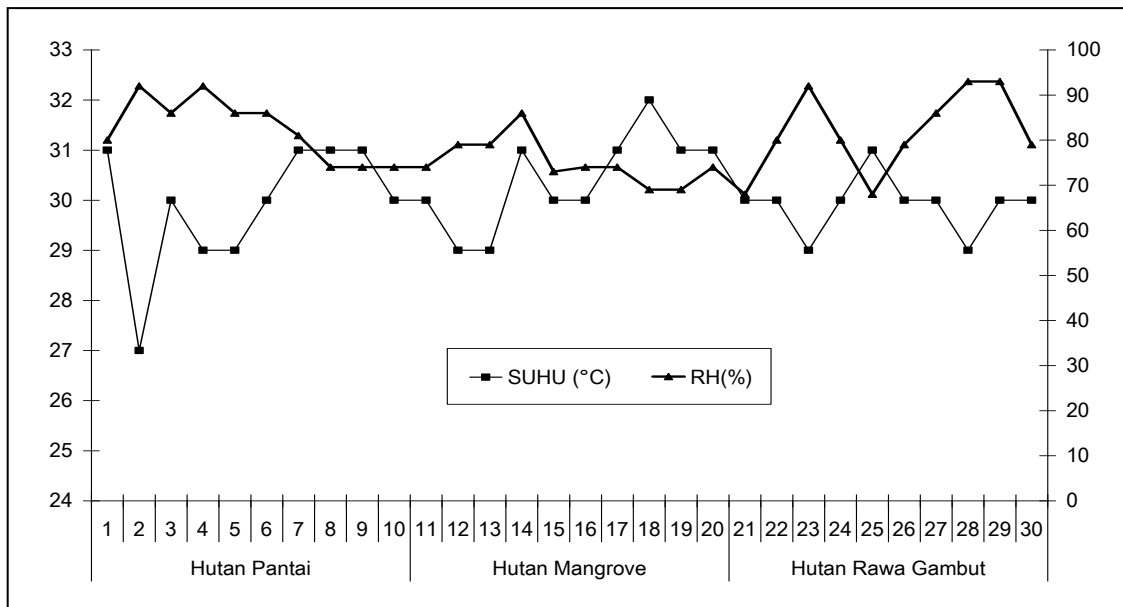


(*conductivity*) yang juga rendah (47  $\mu$ S). Hal ini mengindikasikan kekurangan larutan mineral. Sehingga lahan gambut di kawasan tersebut menurut kajian Rijksen *et al.* (1997) tidak sesuai untuk usaha pertanian dan perkebunan.

## 2. Kandungan Karbon

Berdasarkan pengamatan di lapangan, tingkat kematangan tanah gambut di SMRS tergolong sedang (*hemik*) dan matang (*saprik*) dengan kedalaman gambut berkisar 0,54 – 4,7 m. Bobot isi tanah gambut berkisar antara 0,169-0,394  $\text{ton/m}^3$  dengan kadar C-organik berkisar antara 18,78-74,16%. Pada tanah mangrove, bobot isi tanah berkisar antara 0,384-0,972  $\text{ton/m}^3$  dengan kadar C-organik berkisar antara 0,70-39,39%. Selanjutnya di hutan pantai, bobot isi tanah berkisar antara 1,134-1,365  $\text{ton/m}^3$  dengan kadar C-organik berkisar antara 0,06-0,57%. Data hasil analisis laboratorium tentang bobot isi tanah dan kandungan C-organik tanah selengkapnya pada Lampiran 1.





**Gambar 2. Sebaran curah hujan bulanan kawasan Singkil (atas); suhu dan kelembaban udara (RH) di setiap petak pengukuran di Suaka Margasatwa Rawa Singkil (bawah). Sumber: curah hujan (Oldeman *et al.*, 1979); suhu dan udara (pengukuran langsung saat penelitian)**

Dalam Keputusan Menteri Kehutanan No. 166/Kpts-II/1998 dinyatakan luas SMRS adalah  $\pm$  102.500 ha, namun setelah dijitasi ulang terhadap peta yang dilampirkan pada SK tersebut, luas SMRS hanya sekitar 84.156,56 ha. Perhitungan kandungan karbon SMRS yang disajikan dalam makalah ini berdasarkan luas sebesar 84.156,56 ha.

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, analisis laboratorium dan perhitungan luas setiap tipe hutan dan kedalaman gambut, kandungan karbon di bawah permukaan (karbon tanah) di SMRS mencapai 167,23 juta ton C (Tabel 2) dengan kisaran 166,75-167,72 juta ton C dengan sebaran pada setiap tipe hutan dan kedalaman gambut seperti disajikan pada Lampiran 2. Kandungan karbon tanah jauh lebih besar dibandingkan karbon di atas permukaan tanah (karbon tegakan) pada kawasan SMRS. Kandungan karbon tegakan mencapai 7,95 juta ton C (Tabel 3) dengan kisaran 6,55-9,35 juta ton C dengan sebaran pada setiap tipe hutan disajikan pada Lampiran 3. Dengan demikian, kandungan karbon di atas dan di bawah permukaan pada kawasan SMRS mencapai 175,18 juta ton C atau setara dengan 642,91 juta ton CO<sub>2</sub> yang diserap dari atmosfer. Hal ini menunjukkan bahwa eksistensi Rawa Singkil berkontribusi penting dalam mitigasi dampak pemanasan global. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian YLI & PanEco (2008) di Rawa Tripa seluas 61.803 ha, kandungan karbon Rawa Singkil jauh lebih besar. Kandungan karbon Rawa Tripa berkisar antara 50-100 juta ha (YLI & PanEco, 2008). Dan apabila

diasumsikan harga 1 ton CO<sub>2</sub> di pasar global adalah USD 10, maka nilai ekonomi Rawa Singkil sebagai penyerap CO<sub>2</sub> adalah Rp. 6,43 Trilyun (1 USD = Rp, 10.000). Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan atau kehilangan hutan alam di Rawa Singkil akan menimbulkan kerugian yang sangat besar.

Hutan gambut dengan luas mencapai 85,59% dari luas kawasan SMRS mengandung 98,84% karbon yang tersimpan di dalam kawasan SMRS dan sisanya tersebar pada tipe-tipe hutan lainnya. Berdasarkan letak simpanan karbon, bagian di bawah permukaan (tanah) mengandung 95,45% dari simpanan karbon kawasan tersebut dan hanya 4,54% yang terdapat dalam tegakan hutan (karbon di atas permukaan) (Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa tanah gambut merupakan gudang karbon yang baik secara alamiah dalam menyimpan cadangan karbon hasil serapan tegakan yang jatuh berupa serasah. Pembukaan lahan gambut, seperti untuk kepentingan perkebunan kelapa sawit akan memicu karbon yang terkandung di dalamnya lepas kembali ke atmosfer yang memicu pemanasan global.

**Tabel 3. Kandungan karbon di bawah permukaan (karbon tanah) di SMRS**

No	Tipe Hutan	Luas (ha)	Rata-rata Kandungan Karbon (ton C/ha)	Kandungan Karbon Total (ton C)
1	Hutan Gambut*			
	a. Hutan Gambut Dangkal (Saprik)	1.302,94	496,54	646.960,29
	b. Hutan Gambut Sedang (Hemik)	1.067,40	2.587,86	2.762.294,17
	c. Hutan Gambut Sedang (Saprik)	45.982,56	1.841,56	84.679.597,78
	d. Hutan Gambut Dalam (Hemik/Saprik)	23.677,50	3.325,65	78.742.975,40
2	Hutan Mangrove	1.659,10	183,90	305.112,77
3	Hutan Pantai	3.280,10	9,36	30.713,25
4	Hutan Hujan Dataran Rendah	1.594,99	9,36	14.934,73
5	Hutan Riparian	5.591,95	9,36	52.360,25
	<b>Total</b>	<b>84.156,56</b>		<b>167.234.948,64</b>

\* Kedalaman gambut: dangkal 50-100 cm; sedang 100-200 cm, dalam 200-400; tingkat kematangan gambut: hemik = sedang; saprik = matang. Tidak dijumpai tingkat kematangan mentah (fibrik)

**Tabel 4. Kandungan karbon di atas permukaan (karbon tegakan hutan) di SMRS**

No	Tipe Hutan	Luas (ha)	Rata-rata Kandungan Karbon (ton C/ha)	Kandungan Karbon Total (ton C)
1	Hutan Gambut			
	a. Hutan Gambut Dangkal (Saprik)	1.302,94	87,69	114.252,72
	b. Hutan Gambut Sedang (Hemik)	1.067,40	87,69	93.598,94
	c. Hutan Gambut Sedang (Saprik)	45.982,56	87,69	4.032.137,18
	d. Hutan Gambut Dalam (Hemik/Saprik)	23.677,50	87,69	2.076.241,64
2	Hutan Mangrove	1.659,10	27,39	45.443,14
3	Hutan Pantai	3.280,10	151,65	497.425,18
4	Hutan Hujan Dataran Rendah	1.594,99	151,65	241.879,58
5	Hutan Riparian	5.591,95	151,65	848.015,25
	<b>Total</b>	<b>84.156,56</b>		<b>7.948.993,63</b>

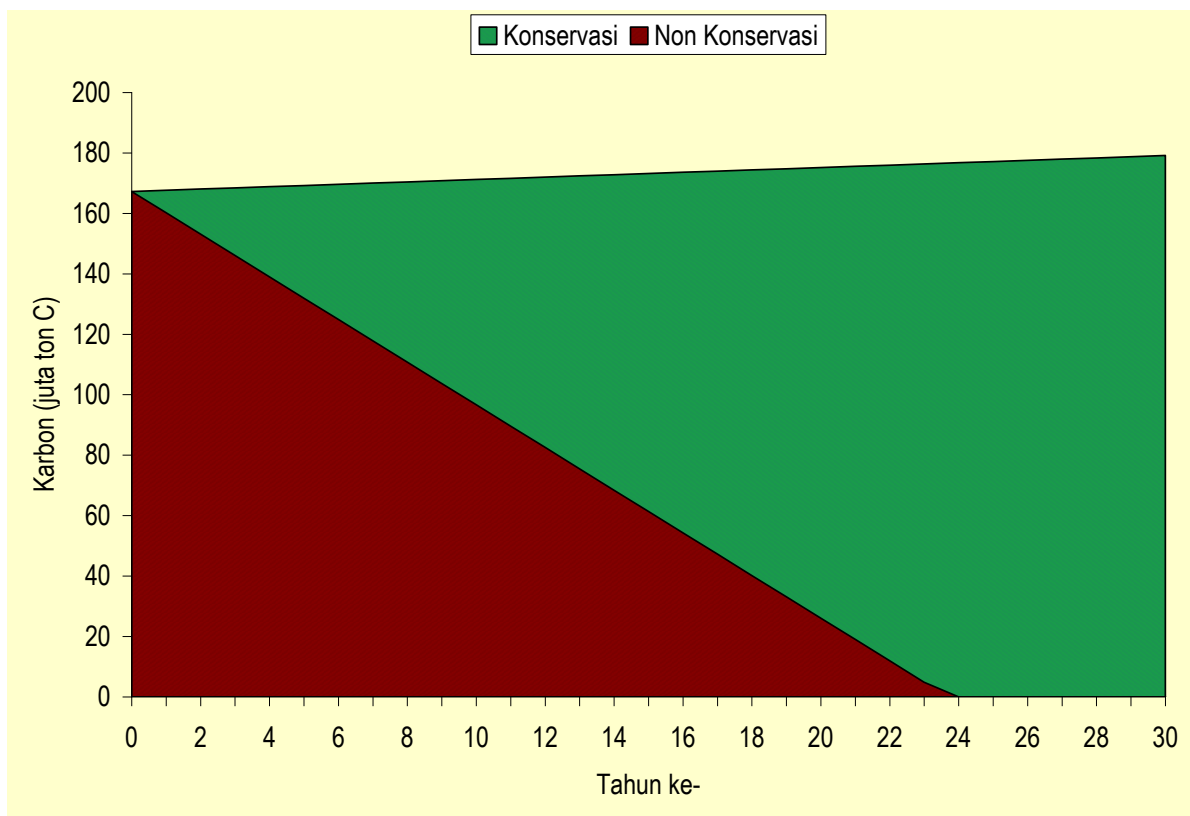
Ket: \* rata-rata kandungan karbon hutan mangrove rendah karena sebesar 56.6% biomassa hilang karena mati. Hal ini terjadi karena penurunan permukaan tanah sekitar 1-2 m sebagai akibat gempa dalam periode 2004-2005. Saat penelitian dilakukan, permudaan mangrove telah mulai pulih, namun dengan komposisi jenis yang berbeda sebagai respon terhadap kondisi habitat yang berubah.

**Tabel 5. Alokasi kandungan karbon di bawah permukaan (karbon tanah) dan di atas permukaan (karbon tegakan) menurut tipe hutan di SMRS**

Tipe Hutan	Luas		Karbon Tanah		Karbon Tegakan		Total Kandungan Karbon	
	ha	%	juta ton C	%	juta ton C	%	juta ton C	%
Hutan Gambut	72.030,40	85,59	166,83	99,76	6,32	79,46	173,15	98,84
Hutan Mangrove	1.659,10	1,97	0,31	0,18	0,05	0,57	0,35	0,20
Hutan Pantai, Riparian & Dataran Rendah	10.467,05	12,44	0,10	0,06	1,59	19,97	1,69	0,96
<b>Total</b>	<b>84.156,56</b>	<b>100,00</b>	<b>167,23</b>	<b>100,00</b>	<b>7,95</b>	<b>100,00</b>	<b>175,18</b>	<b>100,00</b>
<b>Proporsi (%)</b>			<b>95,46</b>		<b>4,54</b>			

Hutan-hutan di Rawa Singkil rata-rata memproduksi serasah sebesar 11 ton/ha/th (Diemont *et al.*, 1997). Jatuhan serasah tersebut secara kontinyu akan menambah simpanan karbon tanah gambut di kawasan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa hutan di rawa Singkil secara regional berperan sangat besar dalam menyerap dan menyimpan karbon di dalam tanah gambut dan tegakan hutan di atasnya.

Pada sisi lain, apabila hutan rawa Singkil tidak dilindungi, misalnya dibuat drainase sehingga airnya kering dan kemudian dijadikan areal budidaya, dengan asumsi terendah akan mengakibatkan hilangnya lapisan gambut sebesar 10 cm per tahun karena percepatan dekomposisi. Berdasarkan hasil penelitian ini, kehilangan lapisan gambut sebesar 10 cm/ha/th akan mengakibatkan hilangnya simpanan karbon di bawah permukaan (karbon tanah gambut) sebesar 98 ton C/ha/th<sup>2</sup> atau sekitar 7,06 juta ton C/th untuk seluruh hutan gambut di SMRS seluas 72.030,40 ha. Dengan asumsi faktor lain konstan, maka cadangan karbon di bawah permukaan pada hutan rawa gambut yang mencapai 99,76% dari keseluruhan cadangan karbon di bawah permukaan pada SMRS akan habis kurang dari 24 tahun. Sementara itu, apabila kawasan tersebut tetap terpelihara dengan status seperti saat ini, maka cadangan karbon di bawah permukaan pada hutan rawa gambut akan terus bertambah akibat jatuhnya serasah dan pada tahun ke 24 tersebut bertambah sekitar 5,69% dari kandungan karbon sekarang (Gambar 3).



**Gambar 3. Dinamika kandungan karbon hutan rawa gambut pada SMRS dengan dan tanpa konservasi. Penjelasan asumsi yang digunakan terdapat pada teks.**

<sup>2</sup> Angka ini jauh lebih rendah dibandingkan kehilangan karbon akibat kebakaran hutan dan gambut di Kalimantan tahun 1997, yakni sebesar 300 ton C/ha (Page *et al.*, 2002).

## **2. Potensi Produk Jasa Lingkungan**

Rawa Singkil merupakan bagian integral ekosistem Leuser, mengandung keanekaragaman dan habitat penting bagi berbagai satwa dan tumbuhan dilindungi serta diantaranya termasuk jenis-jenis yang terancam. Selain itu, kawasan ini mendukung kehidupan populasi di sekitarnya. Hutan rawa (gambut dan mangrove) di kawasan tersebut merupakan ekosistem yang berfungsi menjaga keberlangsungan kehidupan ekosistem, menyerap dan menyimpan karbon, gudang bagi air bersih, pengatur iklim dan siklus air bagi kawasan produksi intensif di sekitarnya, habitat utama bagi satwa terancam punah seperti Orangutan, Harimau, Gajah dan berbagai satwa lain yang dilindungi serta berbagai jenis ikan endemik. Mengingat kondisi lingkungannya yang atraktif, beberapa bagian dari rawa Singkil dapat dimanfaatkan dan dikembangkan untuk tujuan pendidikan dan ekowisata. Selain itu, keuntungan ekonomi dan kepuasan intelektual merupakan nilai lebih bagi pengguna lainnya (Rijksen *et al.*, 1997), sehingga akan kehilangan nilai panen sebesar Rp 1,08 triliun per tahun.

Rawa Singkil merupakan 50% habitat pemijahan bagi ikan-ikan yang ditangkap pada perairan laut dangkal di sekitar kawasan tersebut. Produktivitas hasil tangkap ikan di kawasan tersebut tidak kurang dari 360.000 ton setiap tahunnya (Rijksen *et al.*, 1997). Jika harga rata-rata Rp 10.000 per kg, nilai panen ikan setahun mencapai Rp. 3,6 triliun. Produktivitas cadangan ikan tersebut tidak mungkin berkelanjutan tanpa limpasan air tahunan dari hutan rawa alami tersebut. Luapan air tahunan tersebut menyediakan tempat memijah bagi ikan dan mengeluarkan hara yang cukup banyak bagi perairan pantai. Pembuatan drainase untuk pengeringan rawa akan menyebabkan menurunnya setidaknya 30% hasil tangkapan ikan laut (Rijksen *et al.*, 1997).

LDP (Leuser Development Program; 1995) dan Rijksen *et al.* (1997) menginformasikan bahwa secara spesifik, rawa Singkil memiliki beberapa nilai alamiah, yaitu (1) kaya jenis-jenis flora, (2) benteng perlindungan burung, (3) suaka terakhir burung unik dan langka, (4) habitat aman bagi satwa terancam punah, (5) tempat pemijahan berbagai jenis ikan dan udang. Selain itu, hasil kajian pasca tsunami 2004 menunjukkan bahwa hutan rawa pantai (mangrove dan hutan gambut), termasuk hutan rawa gambut Singkil (6) berperan sangat penting sebagai pelindung pantai dari gelombang tsunami sebagaimana terjadi pada 26 Desember 2004 (Cochard *et al.*,

2008, Dahdouh-Guebas, 2006, Dahdouh-Guebas *et al.*, 2005, Danielsen *et al.*, 2005, Duke *et al.*, 2007, Mazda *et al.*, 1997, Onrizal *et al.*, 2009, UNEP-WCMC, 2006, Wahyunto, 2009).

Giesen *et al.* (1992) menyatakan bahwa kepadatan burung yang tertinggi terdapat pada kawasan rawa pantai, khususnya rawa Singkil . Rawa Singkil juga merupakan salah satu tempat dimana jenis Rangkong (Great Hornbill) dapat dijumpai. Diperkirakan 80% populasi Mentok Rimba di dunia menggunakan rawa Singkil sebagai tempat berkembang biak. Mentok Rimba merupakan sejenis itik yang telah langka di dunia (LDP, 1995). Selain itu, rawa Singkil menurut LDP (1995) & Rijksen *et al.* (1997) merupakan satu-satunya suaka terakhir di dunia bagi beberapa jenis satwa yang terancam punak, termasuk Otter-civet, Buaya Muara, Kelabang Raksasa, dan Kura-kura Pesing yang beratnya bisa mencapai 70 kg. Selain itu, satwa langka lainnya juga dijumpai di kawasan ini, seperti Harimau, Orangutan, Gajah Sumatera dan Badak Sumatera.. Selanjutnya, diperkirakan Rawa Singkil yang meliputi Kawasan Rawa Trumon Singkil dan Rawa Singkil Barat merupakan tempat tinggal bagi 1.660 individu orangutan Sumatera, kawasan yang mempunyai populasi kedua tertinggi di dunia atau merupakan 25,06 % dari total populasi orangutan Sumatera yang masih tersisa di dunia (Wich, et al, 2008).

Beberapa produk jasa lingkungan dari rawa Singkil yang dapat dikembangkan pada Kabupaten Rawa Singkil dan Subulussalam terutama jasa lingkungan yang telah memiliki pasar, terutama jasa lingkungan seperti:

- (1) penyimpan karbon melalui skema *reducing emission from deforestation and degradation* (REDD) atau berbagai pasar karbon lainnya,
- (2) pengatur iklim mikro dan kelembaban udara lokal melalui dana kompensasi konservasi dari perusahaan besar yang membutuhkan ketersediaan air sepanjang tahun, seperti perkebunan kelapa sawit dan perusahaan air minum sebagai pengguna jasa,
- (3) pemelihara habitat flora fauna yang dilindungi melalui berbagai skema program konservasi baik pada tingkat global, regional maupun nasional, dan
- (4) habitat pemijahan bagi perikanan melalui dana kompensasi konservasi dari perusahaan industri perikanan tangkap sebagai penerima jasa.

Pengembangan produk jasa lingkungan dapat terlaksana dengan baik apabila syarat-syarat utamanya terpenuhi dengan baik (Ramdan, 2006), yaitu:

- (a) Adanya penyedia jasa lingkungan (*environmental services provider*) yang mampu mengelola dan menjamin kelestarian jasa lingkungan secara baik kepada pihak pengguna jasa lingkungan;
- (b) Adanya pengguna jasa lingkungan (*environmental services users*) yang memiliki pemahaman dan apresiasi yang memadai terhadap nilai jasa lingkungan, sehingga motivasi untuk memberikan dana kompensasi konservasi akan berjalan dengan baik;
- (c) Jasa lingkungan mampu diidentifikasi dengan baik oleh penyedia jasa lingkungan, sehingga pengguna jasa lingkungan memiliki persepsi dan pemahaman yang sama tentang jasa lingkungan yang dapat disediakan oleh penyedia jasa lingkungan.

Mengingat kawasan SMRS berada pada tiga wilayah kabupaten (Aceh Singkil, Subulussalam dan Aceh Selatan), pengembangan produk jasa lingkungan yang dihasilkan kawasan tersebut membutuhkan dukungan (a) peraturan-kebijakan baik pada tingkat kabupaten maupun tingkat di atasnya, (b) pembentukan kelembagaan yang sesuai, (c) identifikasi besarnya setiap jasa lingkungan, (d) identifikasi penerima jasa yang spesifik, dan (e) distribusi yang adil bagi penerima dana jasa lingkungan sebagai pihak penyedia jasa, serta (f) pemahaman yang sama antara penyedia dan penerima jasa. Hal yang tak kalah pentingnya adalah memastikan kawasan SMRS terkelola secara lestari.

#### **D. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI**

Kandungan karbon di atas dan di bawah permukaan pada kawasan SMRS mencapai 175,18 juta ton C atau setara dengan 642,91 juta ton CO<sub>2</sub> yang diserap dari atmosfer. Hal ini menunjukkan bahwa eksistensi Rawa Singkil mempunyai nilai konservasi tinggi dan member sumbangan penting dalam mitigasi dampak pemanasan global. Disamping itu, Rawa Singkil mempunyai nilai ekonomi sebagai penyerap CO<sub>2</sub> sebesar Rp. 6,43 Trilyun. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan atau kehilangan hutan alam di Rawa Singkil akan menimbulkan kerugian yang sangat besar dari sisi ekonomi.

Untuk itu direkomendasikan kepada pemerintah dan pelaku bisnis hal-hal sebagai berikut



1. Mencegah kerusakan dan melindungi keutuhan ekologi SMRS dan kawasan hutan rawa alamiah yang masih tersisa di luar SMRS dengan tidak melakukan perubahan bentang alam (konversi) untuk pembangunan infrastruktur fisik pembangunan atau kawasan budidaya pertanian, khususnya perkebunan kelapa sawit baik untuk kepentingan pangan dan pengembangan bahan bakar nabati, sehingga nilai konservasi dan nilai ekonomi kawasan tersebut dapat dipertahankan terus menerus.
2. Melakukan kegiatan restorasi di daerah aliran sungai dan koridor satwa serta rehabilitasi di kawasan rawa di SMRS dan di luar SMRS yang rusak dan musnah melalui pengelolaan hidrologi yang profesional.
3. Meningkatkan alokasi pendanaan perubahan iklim dan dana konservasi lainnya untuk mengelola lebih efektif kawasan SMRS, agar kawasan tersebut lebih terlindungi dan terhindar kegiatan-kegiatan deforestasi yang didorong oleh aktivitas ekonomi masyarakat. Dan segera memprakasai program '*reducing emission from deforestation and degradation*' (REED) untuk menghindari kerusakan dan deforetasi hutan alam, pembakaran dan dekomposisi hutan rawa Singkil.

Telah dapat teridentifikasi produk jasa lingkungan dari Rawa Singkil yang dapat dikembangkan pada Kabupaten Rawa Singkil dan Kodya Subulussalam terutama jasa lingkungan yang telah memiliki pasar. Pengembangan produk membutuhkan pra kondisi atau syarat serta serangkaian dukungan kebijakan, kelembagaan dan mekanisme kerja yang kuat.

## **E. DAFTAR PUSTAKA**

- Bishop, J., S. Kapila, F. Hicks, P. Mitchell, and F. Vorhies. 2008. *Building biodiversity business*. Shell International Limited and the International Union for Conservation of Nature: London, UK, and Gland, Switzerland. 164 pp.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Winrock International. Forest Carbon Monitoring Program, Winrock International, Arlington, VA, USA.
- Cochard, R., S.L. Ranamukhaarachchi, G.P. Shivakoti, O.V. Shipin, P.J. Edwards, and K.T. Seeland. 2008. The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: a review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 10: 3–40
- Conservation International Indonesia, Departemen Kehutanan Republik Indonesia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Universitas Andalas, Universitas Syiah Kuala, & Wildlife Conservation Society. 2007. *Priority sites for conservation in Sumatra: key biodiversity areas*. CII, Dephut RI, LIPI, Unand, Unsyiah, WCS. Jakarta, Indonesia.

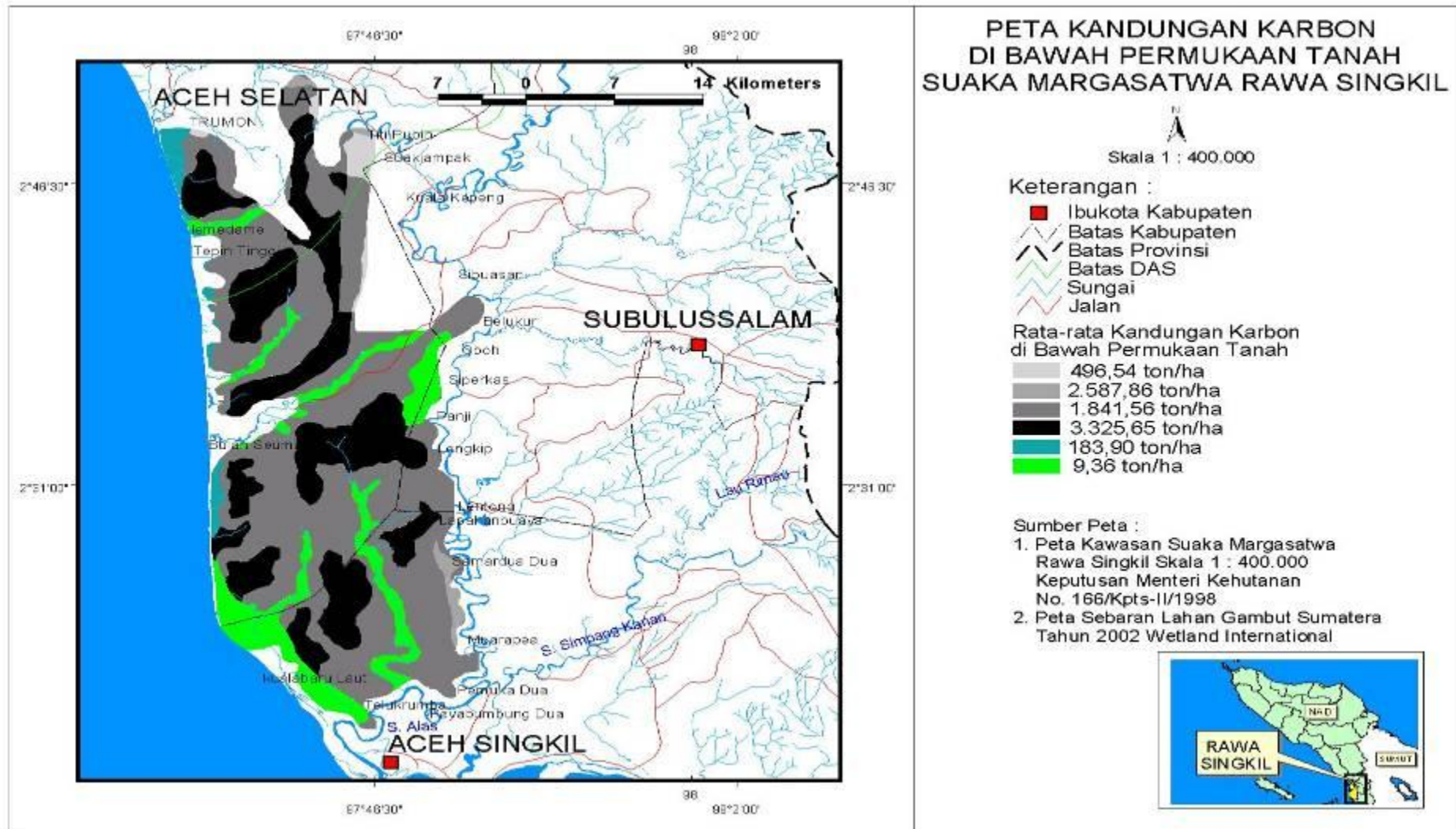
- Dahdouh-Guebas, F. 2006. Mangrove forests and tsunami protection. In *Ecological communities, forest management, mangrove, tsunami*. McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology. Pg. 187-191
- Dahdouh-Guebas, F., L.P. Jayatissa, D. Di Nitto, J.O. Bosire, D. Lo Seen, and N. Koedam. 2005. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? *Current Biology* 15(12): 443-447
- Danielsen, F., M.K. Sørensen, M.F. Olwig, V. Selvam, F. Farish, N.D. Burgess, T. Hiraishi, V.M. Kanuragan, M.S. Rasmussen, L.B. Hansen, A. Quarto, and N. Suryadiputra. 2005. The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation. *Science*; Oct 28, 2005; 310, 5748; ProQuest Science Journals pg. 643
- Diemont, W.H., G.J. Nabuurs, J.O. Rieley, & H.D. Rijksen. 1997. Climate change and management of tropical peatlands as a carbon reservoir. In: *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*. Eds: J.O. Rieley & S.E. Page. pp. 393-368
- Duke, N.C., J.O. Meynecke, S. Dittmann, A.M. Ellison, K. Anger, U. Berger, S. Cannicci, K. Diele, K.C. Ewel, C.D. Field, N. Koedam, S. Y. Lee, C. Marchand, I. Nordhaus, and F. Dahdouh-Guebas. 2007. A world without mangrove. *Science* 317: 41
- Eijk, P. van & R. Kumar. 2009. *Bio-rights dalam Teori dan Praktek. Sebuah Mekanisme Pembiayaan Pendanaan untuk Pengentasan Kemiskinan dan Konservasi Lingkungan*. Wetlands International, Wstafingen, the Netherlands.
- Engel, S., S. Pagiola, and S. Wunder. 2008. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics* 65, 663–675.
- Giesen, W., B. van Balen, Sukotjo, & P. Siregar. 1992. Singkil Barat Swamps (Aceh). In Giesen, W. & B. van Balen. 1992. Several short surveys of Sumatra wetland. Notes and observations. PHPA/AWB Sumatra Wetland Project Report No. 26. Bogor
- Hairiah, K., S.M. Sitompul, M. van Noordwijk and C. Palm. 2001. *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. ASB Lecture Note 4B. ICRAF. Bogor.
- ICRAF SE Asia. 2008. *Wood density database*.  
<http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/WD/> [10-15 Juni 2009]
- Ketterings, Q.M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau, & C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. & Manage* 146: 199-209
- Komiyama, A. S. Pongpan, & S. Kato. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology* 21:471–477
- Mazda Y., Magi, M., Kogo, M. and P. N. Hong. 1997. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King Delta, Viet Nam. *Mangroves and Salt Marshes* 1: 127-135.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis*. Washington, DC: Island Press and World Resources Institute.
- Mirbach, Mv. 2000. *Carbon budget accounting at the forest management unit level: an overview of issues and methods*. Canada's Model Forest Program, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. Ottawa.
- Oldeman, L.R., I. Las, & S.N. Darwis. 1979. An agroclimatic map of Sumatra. Central Research Institute for Agriculture. Bogor.
- Onrizal, C. Kusmana, & M. Mansor. The effect of tsunami in 2004 on mangrove forests, Nias Island, Indonesia. *Wetland Science* 7 (2): 130-134
- Page, S. E., F. Siegert, J.O. Rieley, H-D.V. Boehm, A. Jaya, & S. Limin. (2002) The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61 – 65.
- Prosea. 1994. *Plant resources of South-east Asia 5. (1) Timber trees: major commercial timbers*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia, 610 pp
- Prosea. 1995. *Plant resources of South-east Asia 5. (2) Timber trees: minor commercial timbers*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia, 655 pp

- Prosea. 1996. *Plant resources of South-east Asia 5. (3) Timber trees: lesser-know timbers*. Prosea Foundation, Bogor, Indonesia, 655 pp
- Ramdan, H. 2006. *Pengelolaan sumber air minum lintas wilayah di kawasan Gunung Ciremai Propinsi Jawa Barat*. Disertasi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Reyes, G., S. Brown, J. Chapman, & A. E. Lugo, 1992. *Wood densities of tropical tree species*. USDA Forest Service, General Technical Report SO-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA
- Rijksen, H.D., W.H. Diemont, & M. Griffith. 1997. The Singkil swamp: the kidneys of the Leuser ecosystem in Aceh, Sumatra, Indonesia. In: *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*. Eds: J.O. Rieley & S.E. Page. pp. 355-362
- UNEP-WCMC. 2006. *In the front line: shoreline protection and other ecosystem services from mangroves and coral reefs*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Wahyunto. 2009. *Ekosistem lahan rawa gambut pasca tsunami*. Balai Penelitian Tanah dan ICRAF. Bogor
- Wich, S, Meijaard, E, Marshall, J.A, Husson, S, Ancrenaz, M, Lacy, R.C, van Schaik, C.P, Sugardjito, J, Simorangkir, T, Traylor-Holzer, K, Doughty, M, Supriatna, J, Dennis, R, Gumal, M, Knott, C.D and Singleton, I. 2008. *Distribution and conservation status of the orang-utan (Pongo spp.) on Borneo and Sumatra: how many remain? Fauna & Flora International, Oryx, 42(3), 329–339.*
- YLI & PanEco. 2008. How palm-oil plantations at Tripa increase disaster risk, contribute to climate change and drive a unique Sumatran orangutan population to extinction: value of Tripa peat swamp forest, Aceh, Sumatra, Indonesia. YLI & PanEco. Medan

**Lampiran 1. Hasil analisis laboratorium kandungan karbon (C-org) dan bobot isi serta pengukuran lapangan untuk kedalaman dan tingkat kematangan gambut di SMRS**

Petak Ukur	C-org (%)	Bobot Isi (gr/cm <sup>3</sup> = ton/m <sup>3</sup> )			Kedalaman Rata-rata (m)	Tingkat Kematangan
		Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata		
<b>Hutan Pantai</b>						
C01	0,06	1,197	1,211	1,204	0,3	-
C02	0,57	1,205	1,188	1,197	0,3	-
C03	0,16	1,149	1,136	1,143	0,3	-
C04	0,41	1,217	1,208	1,213	0,3	-
C05	0,23	1,348	1,286	1,317	0,3	-
C06	0,29	1,365	1,269	1,317	0,3	-
C07	0,16	1,311	1,267	1,289	0,3	-
C08	0,23	1,181	1,225	1,203	0,3	-
C09	0,16	1,151	1,162	1,157	0,3	-
C10	0,29	1,171	1,134	1,152	0,3	-
<b>Hutan Mangrove</b>						
M01	15,97	0,403	0,395	0,399	0,3	-
M02	3,45	0,932	0,936	0,934	0,3	-
M03	24,43	0,384	0,390	0,387	0,3	-
M04	3,42	0,969	0,954	0,962	0,3	-
M05	18,12	0,402	0,399	0,400	0,3	-
M06	39,39	0,761	0,604	0,683	0,3	-
M07	0,70	0,903	0,928	0,916	0,3	-
M08	1,78	0,877	0,910	0,894	0,3	-
M09	1,02	0,972	0,953	0,962	0,3	-
M10	1,84	0,892	0,840	0,866	0,3	-
<b>Hutan Gambut</b>						
G01	22,87	0,208	0,207	0,207	0,54	Hemik
G02	22,83	0,388	0,399	0,394	0,82	Saprik
G03	39,22	0,359	0,380	0,369	1,43	Saprik
G04	50,48	0,361	0,273	0,317	4,70	Saprik
G05	74,16	0,278	0,156	0,217	1,61	Hemik
G06	35,61	0,165	0,173	0,169	1,92	Saprik
G07	37,74	0,323	0,336	0,330	1,74	Saprik
G08	22,07	0,283	0,251	0,267	3,40	Saprik
G09	18,78	0,338	0,355	0,346	2,50	Saprik
G10	23,60	0,303	0,294	0,299	3,20	Saprik

Lampiran 2. Rata-rata kandungan karbon di bawah permukaan (karbon tanah) pada kawasan SMRS



Lampiran 3. Rata-rata kandungan karbon di atas permukaan (karbon tegakan) pada kawasan SMRS

