

CADANGAN KARBON EKOSISTEM MANGROVE DI SULAWESI UTARA DAN IMPLIKASINYA PADA AKSI MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

CARBON STORAGE OF MANGROVE ECOSYSTEM IN NORTH SULAWESI AND ITS IMPLICATIONS TO CLIMATE CHANGE MITIGATION ACTION

Terry Louise Kepel¹, Restu Nur Afi Ati¹, Agustin Rustam¹, Yusmiana Puspitaningsih Rahayu¹, Mariska Astrid Kusumaningtyas¹, August Daulat¹, Devi D. Suryono¹, Nasir Sudirman¹, Novi Susetyo Adi¹, Desy Maria Helena Mantiri² & Andreas Albertino Hutahaean^{1,3}

¹Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan
Kementerian Kelautan dan Perikanan,

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi Manado

³Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman

e-mail : kepel74@gmail.com

Diterima tanggal: 11 April 2019 ; diterima setelah perbaikan: 29 Mei 2019 ; Disetujui tanggal: 30 Mei 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v14i2.7711>

ABSTRAK

Sulawesi Utara adalah salah satu provinsi yang menerapkan kebijakan Rencana Aksi Nasional/daerah (RAN/RAD) gas rumah kaca sebagai bagian dari usaha nasional dalam mitigasi perubahan iklim. Salah satu kegiatan mitigasi berbasis lahan di Sulawesi Utara adalah pengukuran dan monitoring biomas dan stok karbon di hutan termasuk hutan pantai yang luasan pengukuran masih terbatas. Pada 2013-2015, Tim Penelitian Karbon Biru melakukan penelitian di empat lokasi di Sulawesi Utara yang bertujuan untuk menganalisis kondisi ekologis dan kemampuan ekosistem pesisir terutama mangrove dalam menyimpan karbon serta implikasi pada mitigasi gas rumah kaca. Lokasi penelitian terletak di Ratatotok - Kabupaten Minahasa Tenggara, Kema - Kabupaten Minahasa Utara, Pulau Lembeh - Kota Bitung dan Pulau Sangihe - Kabupaten Sangihe. Jenis mangrove yang teridentifikasi adalah 17 spesies dan 3 spesies diantaranya yaitu *B. gymnorrhiza*, *R. mucronata* dan *S. alba* ditemukan di semua lokasi. Keanekaragaman spesies berkisar dari rendah sampai sedang dan penyebaran spesies tidak merata. Kapasitas penyimpanan karbon adalah sebesar 343,85 Mg C ha⁻¹ di Ratatotok, 254,35 Mg C ha⁻¹ di Lembeh, 387,95 Mg C ha⁻¹ di Kema, dan 594,83 Mg C ha⁻¹ di Sangihe. Lebih dari 59% simpanan karbon berada pada sedimen. Nilai rata-rata simpanan karbon di keempat lokasi penelitian sebesar 456,86 Mg C ha⁻¹ atau 5,70 Tg C setelah dikonversi dengan luas total ekosistem mangrove Sulawesi Utara. Nilai ini setara dengan penyerapan CO₂ dari atmosfer sebesar 20,70 Tg CO_{2e}. Potensi emisi akibat perubahan lahan mangrove mencapai 0,42 Tg CO_{2e}. Upaya meningkatkan kontribusi penurunan emisi Sulawesi Utara dapat dicapai dengan melakukan intervensi pengurangan emisi melalui rehabilitasi dan konservasi ekosistem mangrove.

Kata kunci: Perubahan Iklim, Mitigasi, Sulawesi Utara, Karbon Biru.

ABSTRACT

*North Sulawesi is one of the provinces that implements national / regional action plan (RAN / RAD) policies as part of a national effort to climate change mitigation. One of the land-based mitigation activities in North Sulawesi is to measure and monitor biomass and carbon stocks in forests including coastal forests where the measurement area is still limited. In 2013-2015, Blue Carbon Research Group conducted research in four locations in North Sulawesi, which aims to analyze the ecological conditions and the ability of coastal ecosystems, especially mangrove in sequestering carbon. Study sites situated in Ratatotok - Southeast Minahasa Regency, Kema - North Minahasa Regency, Lembeh Island - Bitung City and Sangihe Island -Sangihe Regency. A total of 17 species identified where *B. gymnorrhiza*, *R. mucronata* and *S. alba* found in all locations. Species diversity ranges from low to moderate, where species distribution is uneven. Carbon storage capacity is equal to 343.85 Mg C ha⁻¹ in Ratatotok, 254,35 Mg C ha⁻¹ in Lembeh, 387,95 Mg C ha⁻¹ in Kema and 594,83 Mg C ha⁻¹ in Sangihe. More than 59% of carbon storage are in the sediment. The average value of carbon storage in the four research sites is 456,86 Mg C ha⁻¹ or 5,70 Tg C after converted to a total area of mangrove ecosystems in North Sulawesi. The value is equal to absorption of atmospheric CO₂ by 20.70 Tg CO_{2e}. Potential emission due to changes in mangrove conversion reach 0.42 Tg CO_{2e}.*

Efforts to increase the contribution of reducing North Sulawesi emissions can be achieved by implementing emission reduction interventions through the rehabilitation and conservation of mangrove ecosystems.

Keywords: *Climate Change, Mitigation, North Sulawesi, Blue Carbon.*

PENDAHULUAN

Keterlibatan Indonesia dalam isu perubahan iklim di tingkat internasional secara resmi dimulai dengan meratifikasi Deklarasi UNFCCC melalui UU No.6 tahun 1994 dan Kyoto Protokol pada UU No. 17 tahun 2004. Setelah meratifikasi kedua perjanjian internasional ini, maka Indonesia mengalami perkembangan kebijakan perubahan iklim sampai sekarang. Pada tahun 2011 dikeluarkan dua buah Peraturan Presiden yaitu No. 61 tentang Rencana Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan No. 71 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Pada prinsipnya, kebijakan-kebijakan ini dibuat sebagai upaya penurunan emisi gas rumah kaca dan upaya mengantisipasi serta mengatasi dampak perubahan iklim.

Sulawesi Utara adalah salah satu provinsi yang menerapkan kebijakan Rencana Aksi Nasional/Daerah (RAN/RAD) gas rumah kaca sebagaimana yang menjadi bagian dalam RPJMN/RPJMD. Bukti komitmen pemerintah daerah adalah dengan mengeluarkan Peraturan Gubernur No. 56/2012 tentang Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Sulawesi Utara (Roring, 2013). Di samping itu, Pemda melakukan total kegiatan mitigasi sebanyak 44 kegiatan dari bidang berbasis lahan (1 kegiatan), bidang energi dan transportasi (43 kegiatan) (Kementerian PPN/Bappenas, 2014a). Dana kegiatan berasal dari APBN, APBD dan internasional. Dengan kegiatan-kegiatan ini maka diharapkan Sulawesi Utara dapat menyumbang penurunan emisi secara nasional.

Pada kegiatan berbasis lahan, Kementerian Kehutanan sejak tahun 2012 melalui kerjasama dengan *Forest Carbon Partnership Facility* (FCPF) telah membangun petak ukur permanen (*Permanent Sampling Plot/PSP*) di lima provinsi salah satunya adalah Sulawesi Utara (Ginoga *et al.*, eds, 2013). Tujuannya adalah untuk melakukan pengukuran dan monitoring data biomas dan stok karbon di beberapa ekosistem hutan mulai dari hutan pantai, hutan dataran rendah, hutan dataran tinggi dan hutan lumut. Sampai dengan tahun 2013, total plot yang terpasang di Sulawesi Utara adalah sebanyak 108 plot. Data pengukuran biomas dan

karbon dari PSP ini dipakai untuk pengayaan faktor emisi lokal Sulawesi (Rochmayanto *et al.*, 2014). Nilai simpanan karbon yang dihitung secara lokal ini penting sebagai masukan untuk nilai Tingkat Rujukan Hutan (TRH) dan Tingkat Rujukan Emisi Hutan (TREH) nasional (Sidik *et al.*, 2017).

Dari total PSP yang ada di Sulawesi Utara tersebut, ternyata total PSP terpasang di wilayah hutan pantai hanyalah sebanyak 3 patok pada tahun 2012, dimana total hasil pengukuran biomas adalah sebesar 222,10 ton/ha (Mahfudz, 2013). Data karbon yang tersedia berasal dari 4 kolam karbon yaitu biomas atas permukaan, biomas bawah permukaan, serasah dan nekromas, belum termasuk sedimen. Data yang ada ini tentunya masih kurang apalagi bila dibandingkan dengan total panjang garis pantai Sulawesi Utara sebesar 2.395,99 km. Dengan demikian, potensi ekosistem mangrove di Sulawesi Utara masih perlu untuk digali terutama dalam hal penyimpanan karbon yang berkaitan erat dengan strategi mitigasi perubahan iklim.

Sejak 2013 - 2015, Puslitbang Sumberdaya Laut dan Pesisir melaksanakan kegiatan penelitian yang bertujuan untuk mengukur kapasitas ekosistem mangrove di Indonesia dalam menyerap dan menyimpan karbon. Salah satu daerah yang menjadi tujuan penelitian adalah Sulawesi Utara. Penghitungan stok karbon tersimpan di sedimen dilakukan disamping karbon pada biomas pohon mangrove. Mengestimasi nilai biomas dan penyimpanan karbon di ekosistem mangrove ini selain akan menambah informasi terkait mitigasi perubahan iklim di Sulawesi Utara juga dapat memberikan masukan bagi kegiatan pengelolaan pesisir (Medeiros & Sampaio, 2008).

BAHAN DAN METODE

Lokasi Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di empat ekosistem mangrove Sulawesi yang berada pada pesisir daratan dan pulau kecil selang tahun 2013-2015. Pengambilan data di ekosistem mangrove pulau kecil dilakukan di Pulau Lembeh - Kota Bitung dan Pulau Sangihe - Kabupaten Sangihe. Sedangkan untuk ekosistem mangrove pesisir daratan dilakukan di Ratatotok -

Kabupaten Minahasa Tenggara dan Kema - Kabupaten Minahasa Utara (Gambar 1).

Pengukuran dan Pengambilan Sampel

Metode pengukuran dan pengambilan sampel di ekosistem mangrove mengikuti Bengen (2003), Kauffman & Donato (2012) dan Sutaryo (2009). Transek garis sepanjang 100 meter ditarik dari kumpulan mangrove terluar (di pantai) ke arah dalam secara tegak lurus garis pantai. Sepanjang garis transek, dibuat kuadrat 100 m² dari tali dengan jarak antar kuadrat sepanjang 10 m. Mangrove yang ada di dalam transek kemudian diidentifikasi, dihitung jumlah tegakan pohon, jumlah anakan, jumlah semai serta dilakukan pengukuran diameter *breast high* (dbh) pohon. Sampel batang dan daun diambil untuk dianalisis prosentasi karbon-nitrogen (CN).

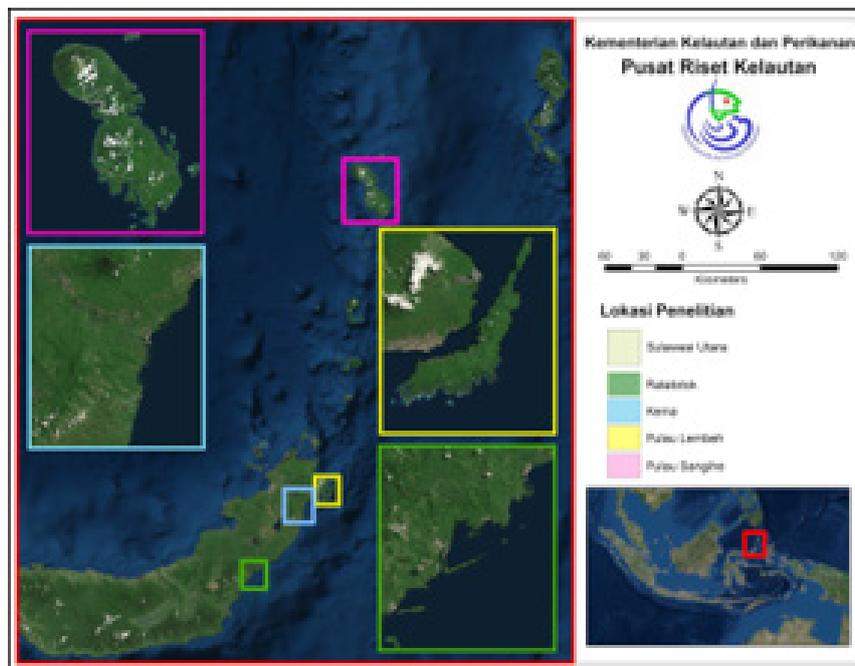
Sampel sedimen diambil di salah satu titik di sepanjang garis transek yang telah diletakkan. Pengambilan dilakukan dengan menggunakan *sediment core (auger)* sedalam 1 meter yang dapat diberi tambahan 1 meter lagi jika kedalaman substrat di atas 1 meter. Sampel sedimen yang telah diambil kemudian dibagi setiap 5 cm yang ditentukan dari permukaan sedimen sampai ke lapisan sedimen yang paling dalam. Analisis C dan N untuk sampel biomas (batang dan daun) dan sedimen dilakukan di laboratorium Bioteknologi Tanah, Institut Pertanian Bogor menggunakan alat *elemental analyzer (Truspect analysis CHNS)*.

Analisis Data

Masing-masing lokasi dihitung jumlah spesies, jumlah tegakan, kepadatan per satuan luas (N/ha) dan basal area (m²/ha). Kondisi ekologi vegetasi mangrove dianalisis dengan menggunakan indeks kekayaan jenis Margalef (D), indeks keragaman Shannon Wiener (H') serta indeks keseragaman/kemerataan (J').

Biomass mangrove bagian atas dihitung dengan metode non-destruktif yaitu dengan pendekatan persamaan alometrik spesies-spesifik (Fromard *et al.*, 1998; Dharmawan & Siregar, 2008; Amira, 2008; Kauffman & Cole, 2010; Kauffman & Donato, 2012). Apabila persamaan alometrik untuk suatu spesies tertentu tidak ada maka digunakan persamaan alometrik umum (Komiya *et al.* 2005). Perhitungan biomass bagian bawah mengikuti persamaan umum kecuali untuk species *Avicennia marina*. Hasil yang diperoleh dari biomass adalah nilai simpanan karbon pada biomass, yaitu nilai biomass yang dihitung dikalikan dengan nilai konsentrasi karbon yang terukur di laboratorium. Pengukuran nilai konsentrasi karbon biomass mangrove di Sangihe menggunakan nilai 50% karena tidak ada analisis biomass.

Perhitungan karbon di sedimen berdasarkan Kauffman & Donato (2012) dan (Howard *et al.*, 2014). Analisis dimulai dengan perhitungan *Bulk Density*, selanjutnya dilakukan penghitungan jumlah karbon sedimen.



Gambar 1. Lokasi Penelitian a) Ratatotok, b) Kema, c) Pulau Lembeh, d) Pulau Sangihe.

Figure 1. Study Sites a) Ratatotok, b) Kema, c) Pulau Lembeh, d) Pulau Sangihe.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Komunitas dan Ekologi

Berdasarkan hasil pengamatan ditemui sebanyak 17 species mangrove teridentifikasi di lokasi penelitian yaitu Ratatotok dan Pulau Lembeh memiliki jumlah species yang lebih tinggi dibandingkan dengan Kema (8 species) dan Pulau Sangihe (4 species) (Tabel 1). Species mangrove yang ditemukan di semua lokasi adalah *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia alba*.

Jenis *Rhizophora mucronata* memiliki jumlah tegakan terbesar pada semua lokasi. Jenis *Avicennia eucalyptifolia* dan *Scyphiphora hydrophyllacea* hanya ditemukan di Ratatotok sedangkan *Avicennia officinalis* hanya teridentifikasi di Kema.

Jumlah species mangrove yang teridentifikasi di Ratatotok, Kema dan Pulau Lembeh tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lain di Sulawesi Utara, seperti Taman Nasional Laut Bunaken. Hasil penelitian Kaunang & Kimbal (2009) melaporkan adanya 8 species mangrove di Teling, Sondaken dan Popareng. Sedangkan jenis mangrove di Tongkaina, Molas dan Meras terdapat lima species (Karauwan, 2011).

Vegetasi mangrove di Ratatotok menunjukkan nilai dominasi, keanekaragaman, keseragaman dan jumlah species yang lebih tinggi dari 3 lokasi lainnya. Nilai kerapatan tertinggi ditemui pada vegetasi mangrove di Lembeh sedangkan rata-rata basal area tertinggi berada pada vegetasi mangrove di Kema (Tabel 2). Namun demikian, secara umum keanekaragaman species di semua lokasi cenderung bernilai rendah sampai sedang dengan nilai indeks pada kisaran 0,71-1,94. Nilai indeks keseragaman menunjukkan bahwa penyebaran individu setiap species cenderung tidak merata. Kerapatan individu di lokasi penelitian menunjukkan bahwa semua lokasi dalam kondisi baik (padat) dimana kerapatan berkisar antara 1.510 - 2.288 individu per hektar (Tabel 2).

Potensi Simpanan Karbon Mangrove Sulawesi Utara

Persentase karbon biomas terukur pada kisaran 42 - 52%. Nilai persentase karbon terendah terukur pada species *R. mucronata* di Kema sedangkan yang tertinggi pada species *S. hydrophyllacea* di Ratatotok. Persentase karbon *R. mucronata* di lokasi lain adalah sebesar 47% di Lembeh dan 50% di Ratatotok. Perbedaan nilai ini menunjukkan bahwa nilai karbon adalah spesifik baik pada species maupun lokasi. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh IPCC (2014), bahwa kandungan karbon pada mangrove berbeda menurut species. Beberapa penulis juga melaporkan

Tabel 1. Species mangrove yang teridentifikasi
Table 1. Identified species

No	Species	Ratatotok	Kema	P. Lembeh	P. Sangihe
1	<i>Avicennia alba</i>	v	v		
2	<i>Avicennia eucalyptifolia</i>	v			
3	<i>Avicennia marina</i>	v		v	
4	<i>Avicennia officinalis</i>		v		
5	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	v	v	v	v
6	<i>Bruguiera hainesii</i>	v			
7	<i>Bruguiera parviflora</i>			v	
8	<i>Ceriops decandra</i>			v	
9	<i>Ceriops tagal</i>	v	v	v	
10	<i>Lumnitzera littorea</i>	v	v		
11	<i>Lumnitzera racemosa</i>			v	
12	<i>Rhizophora apiculata</i>	v	v	v	v
13	<i>Rhizophora mucronata</i>	v	v	v	v
14	<i>Sonneratia alba</i>	v	v	v	v
15	<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>	v			
16	<i>Xylocarpus granatum</i>	v		v	
17	<i>Xylocarpus mekongensis</i>			v	

Tabel 2. Kondisi vegetasi mangrove di lokasi penelitian
Table 2. Mangrove vegetation condition in study site

Indeks Vegetasi	Ratatotok	Kema	P. Lembeh	P. Sangihe
Jumlah Species	12	8	11	4
Indeks kekayaan jenis (D)	1,59	1,15	1,52	0,49
Indeks Keragaman (H')	1,94	1,05	1,75	0,71
H' max	2,48	2,08	2,40	1,39
Indeks Keseragaman (J')	0,78	0,51	0,73	0,52
Kerapatan (N/ha)	2.081	1.510	2.288	1.926
Rata-Rata Basal area (m ² /ha)	17,31	30,17	19,85	26,38

bahwa kandungan karbon pada mangrove bervariasi menurut spesies dan bagian-bagian tanamannya (Khan *et al.*, 2007; Ren *et al.*, 2010; Ray *et al.*, 2011). Hal ini diduga sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal (kondisi lingkungan) juga oleh faktor internal (sistem metabolisme).

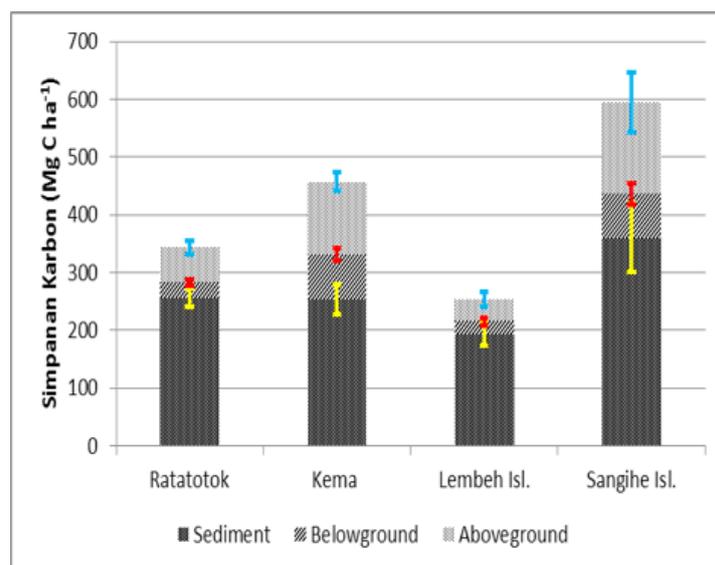
Nilai simpanan karbon total adalah sebesar 343,85 - 594,83 Mg C ha⁻¹ (Gambar 2). Simpanan total karbon berturut-turut adalah Ratatotok 343,85 Mg C ha⁻¹, Lembeh 254,35 Mg C ha⁻¹, Kema 387,95 Mg C ha⁻¹ dan Tahuna 594,83 Mg C ha⁻¹. Total simpanan karbon ini berasal dari tiga komponen (*carbon pool*) yaitu biomasa atas, biomasa bawah dan sedimen.

Dari tiga komponen tersebut, sedimen menyimpan karbon lebih tinggi dibandingkan dengan biomasa baik bagian atas maupun bawah. Kisaran persentase karbon di setiap komponen terhadap jumlah total berturut-turut adalah 8 - 17% di biomasa bawah, 17-40% di biomasa atas dan 45 - 75% di sedimen. Secara rata-rata,

59% simpanan karbon di seluruh lokasi penelitian berada di sedimen. Besarnya proporsi simpanan karbon di sedimen juga ditunjukkan oleh Murdiyarso *et al.* (2015) di delapan daerah di Indonesia yaitu Sembilang, Cilacap, Kubu Raya, Tanjung Puting, Bunaken, Teminabuan, Bintuni dan Timika.

Simpanan karbon di biomasa atas, biomasa bawah dan sedimen (Mg C ha⁻¹±SE) pada setiap lokasi berturut-turut adalah 61,00±20,33; 26,63±8,88; 256,23±55,93 di Ratatotok (n=9), 38,56±13,37; 23,18±6,37; 192,60±40,47 di P. Lembeh (n=7); 83,87±14,51; 49,88±9,57; 254,19±100,49 di Kema (n=7) serta 157,94±51,53 ; 77,11±18,28 ; 359,78±52,87 di P. Sangihe (n=5).

Nilai simpanan karbon di Ratatotok pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai simpanan karbon di Teluk Totok - Ratatotok yang dilaporkan oleh Rumengan *et al.* (2018) yaitu hanya sebesar 193,28 Mg C ha⁻¹. Apabila perbandingan hanya pada



Gambar 2. Simpanan karbon (Mg C ha⁻¹) di setiap komponen dengan standar error.
Figure 2. Carbon stocks (Mg C ha⁻¹) in each component with a standard error.

karbn sedimen maka hasilnya sedikit lebih tinggi dengan pengukuran saat ini yaitu sebesar 286,18 Mg C ha⁻¹. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh jumlah transek/plot pengukuran dan pengambilan data, titik koordinat plot serta perbedaan struktur komunitas mangrove. Rumengan *et al.* (2018) melakukan penelitian pada 3 transek (n=3) sedangkan pada penelitian ini menggunakan 9 transek (n=9).

Sementara itu, hasil perhitungan simpanan karbon di kawasan TNL Bunaken – Sulawesi Utara adalah sebesar 11,9±30,3 Mg C ha⁻¹ di biomas atas, 14,9±10,8 Mg C ha⁻¹ di biomas bawah dan 811,7±630,1 Mg C ha⁻¹ di sedimen (Murdiyarto *et al.* 2015). Untuk biomas baik bagian atas maupun bawah, simpanan karbon di keempat lokasi penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan TNL Bunaken. Namun demikian, jumlah simpanan karbon di sedimen lebih rendah daripada TNL Bunaken.

Rata-rata simpanan karbon di beberapa lokasi di Indonesia adalah sebesar 191,2±20,3 Mg C ha⁻¹ di biomas atas, 21,1±2,7 Mg C ha⁻¹ di biomas bawah dan 761,3±73,6 Mg C ha⁻¹ di sedimen (Alongi *et al.* 2015). Apabila simpanan karbon setiap komponen dibandingkan dengan rata-rata Indonesia maka simpanan biomas atas dan sedimen di semua lokasi lebih rendah, sedangkan untuk simpanan biomas bagian bawah lebih tinggi.

Potensi Emisi CO₂ Akibat Perubahan Lahan Mangrove Kapasitas penyerapan dan penyimpanan karbon di ekosistem mangrove ini tentunya dapat mengalami peningkatan atau penurunan. Pada ekosistem mangrove yang sehat dimana faktor lingkungan tidak menjadi faktor pembatas pertumbuhan, maka simpanan karbon dapat dipertahankan. Sebaliknya penurunan simpanan karbon yang disebabkan oleh adanya alih fungsi lahan ataupun perusakan karena sebab-sebab domestik lainnya akan berakibat pada kembalinya karbon di atmosfer (emisi).

Data tutupan lahan mangrove di Sulawesi Utara selang tahun 2010 - 2013 adalah sebesar 12.466,22 ha yang terdiri dari 10.769,96 ha mangrove primer dan 1.696,26 ha mangrove sekunder (Christita & Wihariso, 2014). Dari total lahan mangrove tersebut, 42,33% atau 5.276,99 ha merupakan areal penggunaan lainnya atau bukan merupakan kawasan hutan. Sementara 5.652,92 (45,35%) ha dan 1.536,31 (12,32%) masuk pada hutan lindung dan kawasan perlindungan alam.

Nilai rata-rata simpanan karbon di keempat lokasi

penelitian adalah sebesar 456,86 Mg C ha⁻¹. Apabila nilai ini dikonversikan pada total luasan mangrove di Sulawesi Utara maka nilai simpanan karbon total adalah sebesar 5,70 Tg C. Estimasi konsentrasi CO₂ yang diserap oleh ekosistem mangrove di Sulawesi Utara adalah sebesar 20,90 Tg CO_{2e}.

Dengan membandingkan data perubahan luas, ekosistem mangrove Sulawesi Utara cenderung terus turun. Penurunan luasan terlihat dengan membandingkan data tahun 2010-2013 (Christita & Wihariso, 2014) dengan tahun 2000-2009 yang dipakai oleh Wahyuni dan Suryawan (2012) untuk menghitung stok karbon. Penurunan ekosistem mangrove primer sebesar 78,31 ha sedangkan mangrove sekunder 170,81 ha. Dengan demikian, penurunan sebesar 249,12 ha ini mengakibatkan pelepasan karbon dari perubahan lahan mangrove selang 2009-2013 sebesar 113.814 Mg C atau setara dengan 0,42 Tg CO_{2e}.

Berdasarkan laporan sekretariat RAN GRK, pada tahun 2010 Provinsi Sulawesi Utara menyumbang 5,3 Tg CO_{2e} (Kementerian PPN/Bappenas, 2014). Sektor berbasis lahan menjadi penyumbang terbesar emisi sebesar 4,45 Tg CO_{2e} (84%) dibandingkan dua sektor lain yaitu energi 0,64 Tg CO_{2e} (2%) dan limbah 0,21 Tg CO_{2e} (4%). Nilai emisi sektor berbasis lahan ini berpotensi untuk bertambah apabila memperhitungkan emisi CO₂ akibat perubahan lahan mangrove yang nilainya lebih besar dari emisi sektor limbah.

Implikasi Aksi Mitigasi Perubahan Iklim di Sulawesi Utara

Diprediksi bahwa sampai dengan tahun 2020 kontribusi Sulawesi Utara hanya sebesar 0,46% (18.892.216 MgCO_{2e}) dari total target penurunan emisi nasional melalui skenario tanpa rencana aksi (*Business as Usual*) (Ginoga et al eds., 2013). Upaya meningkatkan kontribusi penurunan emisi Sulawesi Utara dapat dicapai dengan melakukan intervensi pengurangan emisi. Salah satu bentuk intervensi yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan emisi akibat perubahan lahan mangrove dengan cara rehabilitasi atau penanaman mangrove yang dapat meningkatkan penyerapan dan penyimpanan karbon. Selain itu, konservasi ekosistem mangrove juga untuk mencegah peningkatan emisi pada sektor berbasis lahan. Upaya ini dapat diperhitungkan ke dalam aksi mitigasi Provinsi Sulawesi Utara.

Pemprov Sulut melalui Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah sudah melakukan rehabilitasi mangrove dengan melakukan penanaman bibit mangrove di beberapa

wilayah seperti Kabupaten Sangihe, Sitaro, Minahasa Tenggara, Minahasa Selatan, Minahasa Utara, Minahasa dan Bolaang Mongondow. Selang tahun 2015-2018 telah dilakukan penanaman sebanyak 28.420 batang bibit mangrove di daerah-daerah tersebut (DKPD Prov. Sulawesi Utara, 2019). Selain itu, di beberapa daerah seperti Desa Bahoi Kecamatan Likupang Barat, Kabupaten Minahasa Utara, masyarakat telah aktif melakukan penanaman mangrove dengan inisiatif sendiri dan dibantu oleh Pemda.

KESIMPULAN DAN SARAN

Secara ekologi, kondisi ekosistem mangrove di Sulawesi Utara masih sangat baik sehingga mampu memberikan layanan ekosistem secara optimal, terutama dalam hal mitigasi perubahan iklim, dengan nilai stok karbonnya yang terukur sebesar 456,86 Mg C ha⁻¹ atau 5,70 Tg C. Namun demikian, potensi emisi akibat perubahan lahan mangrove mencapai 0,42 Tg CO_{2e}. Melalui skenario penurunan GRK tanpa aksi (Business as usual), upaya mitigasi yang ada di Sulawesi Utara diprediksi hanya dapat memberikan kontribusi sebesar 0,46 % dari total target penurunan emisi nasional. Nilai tersebut akan terus bertambah ada intervensi mitigasi terkait dengan penurunan emisi akibat perubahan lahan mangrove serta konservasi ekosistem mangrove. Dengan demikian, pengelolaan ekosistem pesisir mangrove yang ada di Sulawesi Utara seharusnya dapat dimasukkan ke dalam bagian/sektor pengurang emisi karena mampu memberikan kontribusi yang besar dalam mitigasi perubahan iklim. Kondisi ekologis yang baik perlu dijaga kebelanjutannya, dan perlunya upaya penyadartahuan masyarakat dalam memahami layanan ekosistem mangrove yang tidak hanya untuk sumber daya perikanan, tapi juga berperan serta dalam menjaga bumi secara global dalam mitigasi perubahan iklim. Upaya penurunan emisi melalui pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan ini juga selaras dengan rencana Pembangunan Rendah Karbon (PRK) yang saat ini menjadi platform baru pembangunan dan masuk dalam penyusunan RPJMN 2020-2024 yang lebih hijau dan rendah karbon (Medrilzam, 2018).

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini memuat bagian dari hasil penelitian Tim Keltibang Karbon Biru Puslitbang Sumberdaya Laut dan Pesisir di Sulawesi Utara pada tahun anggaran 2013-2015. Khusus di lokasi Ratatotok, Tim Keltibang Karbon Biru bekerjasama dengan Yayasan Pembangunan Berkelanjutan Sulawesi Utara dan PT.

Newmont Minahasa Raya (Surat No. 02a/SP/YPBSU/KET/VI-2013 Tanggal 11 Juni 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Amira, S. (2008). *Pendugaan biomassa jenis Rhizophora apiculata BI di hutan mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Bengen, D. G. (2003). *Teknik pedoman teknis pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove*. PKSPL. Bogor.
- Clough, B. F., & Scott, K. (1989). Allometric Relationships for Estimating Above-Ground Biomass in Six Mangrove Species. *Forest Ecology and Management*, 27(2), 117-127.
- Christita, M. & Wiharsono, J. (2014). *Kiprah Kehutanan. 50 tahun Sulawesi Utara 1964-2014*. Balai Penelitian Kehutanan Manado. 132 hal. ISBN : 978-602-96800-7-2
- Dharmawan, I. W. S., & Siregar, C. H. 2008. Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. Di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(4), 317-328.
- DKPD Provinsi Sulawesi Utara. (2019). Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah tahun 2019. Dinas Kelautan dan Perikanan Daerah Provinsi Sulawesi Utara.
- Donato, D.C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, 4(5), 293-297.
- Enriquez, S., Duarte, C. M., & Sand-Jensen, K. (1993). Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia*94, 457-471.
- Formard, F., H. Puig., E. Mouglin., G. Marty., J.L. Betoulle and L. Cadamuro. 1998. Structure, above-ground Biomass and dynamics of mangrove ecosystems: New data from French Guiana. *Toecologia*: 39-53. Springer-Verlag.
- Ginoga, K. L., Pribadi, A., Muttaqin, M. Z., Arifanti, V. B., & Lugina, M. (eds). (2013). *Prosiding Workshop Strategi Monitoring dan Pelaporan PSP di Provinsi Sulawesi Utara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Hogart, P. (2007). *The biology of mangroves and seagrasses. Biology of Habitats*. Second edition. Oxford university Press: 273 p.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (eds). (2014). Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. *Conservational International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature*,

- Arlington. <http://www.thebluecarboninitiative.org/manual/>.
- IPCC. (2014). Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Switzerland.
- Kementerian PPN/ Bappenas. (2014a). Laporan dua tahun pelaksanaan RAN-GRK dan RAD GRK. Januari 2014.
- Kementerian PPN/ Bappenas. (2014b). Potret rencana aksi daerah penurunan emisi gas rumah kaca (RAD-GRK). Januari 2014.
- Karauwan, M. A. J. (2011). Kondisi ekosistem mangrove di Kecamatan Bunaken Sulawesi Utara. *Jurnal Ekowisata*, Edisi I. Politeknik Negeri Manado.
- Kauffman, J. B. & Cole, T. G. (2010). Effects of a severe typhoon on Micronesian mangrove forest structure. *Wetlands*. In Press.
- Kaufman, J. B. & Donato, D. C. (2012). *Protocol for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forest*. Working paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia. 40 pp.
- Kaunang, T. D. & Kimbal, J. D. (2009). Komposisi dan struktur vegetasi hutan mangrove di Taman Nasional Bunaken Sulawesi Utara. *Agritek*, 17(6), 1163-1171.
- Khan, N. I., Suwa, R., & Hagihara, A. (2007). Carbon and nitrogen pools in a mangrove stand of *Kandelia obovata* (S., L.) Yong: vertical distribution in the soil-vegetation system. *Wetlands Ecol. Manage.* 15, 141-153.
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), 471-477. DOI 10.1017/S0266467405002476.
- Mahfudz. (2013). *Program dan kegiatan daerah untuk mencapai target penurunan emisi: pengalaman pembangunan permanent sampling plot (PSP) dan rancangan pengelolaan PSP pasca 2014 di provinsi Sulawesi Utara*. Prosiding Workshop Strategi Monitoring dan Pelaporan PSP di Provinsi Sulawesi Utara. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Medeiros T. C. C., & Sampaio, E. (2008). Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, 16(4), 323-330.
- Medrilzam. (2018). Kebijakan nasional pertumbuhan ekonomi hijau dalam kerangka pembangunan rendah karbon (PRK) RPJMN 2020-2024 dan SDG Roadmap 2030. Presentasi.
- Mitra, M., Sengupta, K., & Banerjee. (2011). Standing biomass and carbon storage of above-ground structures in dominant mangrove trees in the Sundarbans. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1325-1335.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 1089-1092.
- Ray, R., Ganguly, D., Choudhury, C., Dey, M., Das, S., Dutta, M.K., Mandal, S.K., Majumdar, N., De, T.K., Mukhopadhyay, S.K., & Jana, T.K. (2011). Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest. *Atmos. Environ.* 45(28), 5016-5024.
- Ren, H., Chen, H., Li, Z., & Han, W. (2010). Biomass accumulation and carbon storage of four different aged *Sonneratia apetala* plantations in Southern China. *Plant Soil*, 327(1), 279-291.
- Rochmayanto, Y., Wibowo, A., Lugina, M., Butarbutar, T., Mulyadin, Rm., Hanurawati, W., & Dharmawan, IWS. (2014). *Pengembangan perhitungan emisi gas rumah kaca kehutanan (inventory)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. 138 hal. ISBN: 978-602-7672-60-4.
- Roring, R. O. (2013). Strategi dan kebijakan provinsi Sulawesi Utara untuk mencapai target penurunan emisi : pengalaman dari penyusunan rencana aksi daerah (RAD). *Prosiding Workshop Strategi Monitoring dan Pelaporan PSP di Provinsi Sulawesi Utara*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Rumengan A. P., D. M.H. Mantiri, R. Rompas, A. Hutahaean, T.L. Kepel, C. P. Paruntu, R. C. Kepel, G. S. Gerung. 2018 Carbon stock assessment of mangrove ecosystem in Totok Bay, Southeast Minahasa Regency, North Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux* 11(4), 1280-1288.
- Sidik, F., Supriyanto, B., & Lugina, M. (2017). Tingkat rujukan emisi hutan mangrove delta Mahakam. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 14(2), 93-104.
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa (Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon)*, Wetlands International Indonesia Programme, Bogor.