

## POTENSI MITIGASI KARBON HUTAN MANGROVE DI INDONESIA

Muhamad Soimin<sup>1)</sup>, Antje Gaertner<sup>2)</sup>, Aina Tubau Comas<sup>3)</sup>, Coen van Tuijl<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup>Student of Master of Forest and Nature Conservation,

Wageningen University & Research, Netherlands

E-mail: soim\_ver89@yahoo.com (*correspondence author*)

### ABSTRAK

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem terpenting yang ada di bumi karena memberikan manfaat ekologis yang sangat besar. Salah satu peranan utama hutan mangrove yaitu fungsi sekuestrasi karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan hutan boreal, temperate (beriklim sedang), dan tropis. Berdasarkan kesepakatan yang tercantum dalam Paris *Climate Agreement* 2015, Indonesia yang memiliki hutan mangrove terluas di dunia telah menargetkan untuk mengurangi emisi karbon pada tahun 2020 dengan target pengurangan emisi tanpa syarat (unconditional) dan 2030 dengan syarat (conditional). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi mitigasi karbon restorasi hutan mangrove di Indonesia. Pemodelan dengan menggunakan CO<sub>2</sub>Fix Model digunakan untuk mensimulasikan empat skenario yang diinginkan untuk menginvestigasi apakah restorasi 1,8 juta hektar hutan mangrove yang telah hilang sejak tahun 1980 cukup untuk mencapai target, jumlah hutan mangrove harus direstorasi untuk mencapai target mitigasi Indonesia berdasarkan Paris *Climate Agreement*, dan tingkat penebangan hutan mangrove yang sesuai dengan target Indonesia. Hasil simulasi menunjukkan bahwa target pengurangan emisi tanpa syarat 2020 akan dicapai setelah 22 tahun dengan restorasi 1,8 juta hektar hutan mangrove, target tanpa syarat 2030 setelah 87 tahun, dan target bersyarat setelah 102 tahun. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa restorasi hutan mangrove memiliki potensi mitigasi karbon yang efektif dalam jangka waktu yang lama.

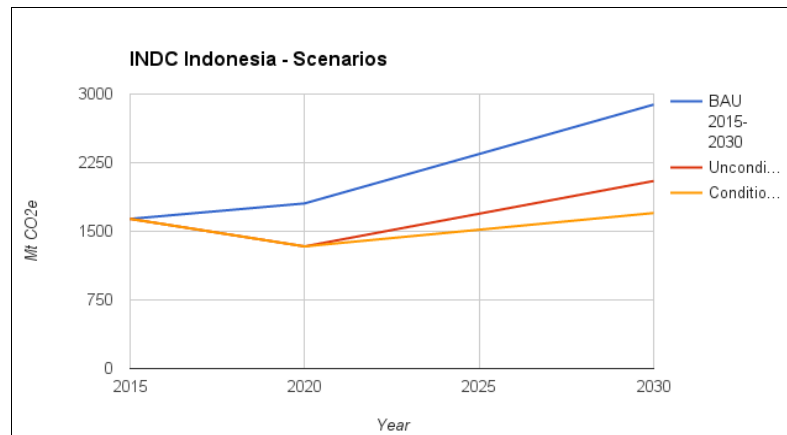
**Kata kunci:** mangrove, sekuestrasi, restorasi, CO<sub>2</sub>Fix,

### PENDAHULUAN

Mangrove merupakan vegetasi yang tumbuh pada zona intertidal sepanjang garis pantai wilayah tropis dan subtropis dengan perkiraan tutupan sebesar 20 juta hektar di dunia (English et al., 1997; Kathiresan dan Bingham, 2001; Kitamura et al., 1997). Vegetasi hutan mangrove dicirikan dengan karakteristik lingkungan abiotik yang sangat khusus dan berbeda dengan tumbuhan terrestrial pada umumnya, yaitu tumbuh pada lingkungan dengan salinitas tinggi, terpaan angin yang kencang, temperature tinggi, dan kondisi tanah yang anaerobik (Kathiresan & Bingham, 2001). Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem di muka bumi yang memiliki nilai manfaat yang sangat tinggi. Hutan mangrove memberikan manfaat ekologi dan social-ekonomi yang sangat besar terhadap manusia (Ashton & Macintosh, 2002; Feller & Sitnik, 1996; Kathiresan & Bingham, 2001; Sunaryanto, 2004). Salah satu peranan penting hutan mangrove yaitu memiliki kemampuan sekuestrasi karbon yang sangat tinggi (Alongi, 2014; Donato & Daniel, 2011; Kathiresan & Bingham, 2001).

Indonesia dengan garis pantai mencapai 81.000 km memiliki potensi mangrove terbesar di dunia (Sunaryanto, 2004), sekitar lebih dari 2 juta hektar (Giesen, 1993). Hal ini berarti bahwa Indonesia memiliki potensi mitigasi karbon dunia yang cukup besar.

Berdasarkan kesepakatan yang tercantum dalam Paris *Climate Agreement* 2015, negara-negara di dunia termasuk Indonesia harus mengurangi emisi karbon di masa datang dengan tujuan utama untuk mengurangi pemanasan global di bawah 2 °C dan untuk mengejar target pembatasan peningkatan suhu lebih dari 1,5 °C (UNFCCC, 2015). Masing-masing negara-negara menentukan mekanisme yang akan dilakukan, waktu, dan tempat di mana tindakan harus diterapkan untuk mengurangi emisi karbon tersebut. Indonesia telah menargetkan untuk mengurangi emisi carbon tanpa syarat (unconditional) pada tahun 2020 sebesar 26% dari BAU (Business as Usual Scenario) dan dengan syarat dan ketentuan (conditional) pada tahun 2030 sebesar 41% dari BAU (Gambar 1) (Republic of Indonesia, 2015).



Gambar 1. Skenario reduksi emisi INDC Indonesia: Business as usual scenario (BAU), unconditional target dan conditional target.

Berkaitan dengan uraian di atas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji potensi mitigasi karbon pada restorasi hutan mangrove yang ada di Indonesia melalui pendekatan pemodelan (modelling). Hutan mangrove memiliki potensi stok karbon tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan hutan boreal, hutan beriklim sedang (temperate), dan hutan tropis pada umumnya (Donato & Daniel, 2011). Secara global, tutupan hutan mangrove telah mengalami penurunan drastis sebesar 30-50% dalam kurun 50 tahun sebagai akibat dari pengembangan konversi daerah pesisir, ekspansi akuakultur, dan penebangan yang melebihi ambang batas (Duke, 2007). Di Indonesia, sekitar 1,8 juta hektar hutan mangrove hilang selama periode tahun 1980-2005 (FAO, 2007). Estimasi lainnya memperkirakan bahwa luasan hutan mangrove Indonesia yang hilang selama periode 2000-2012 sekitar 748,84 km<sup>2</sup> (Hamilton, 2005). Penyebabnya antara lain seperti penebangan untuk kayu bakar, bahan bangunan, bahan baku produksi kertas, dan pakan ternak (Spalding, 2013).

Simulasi menggunakan pemodelan matematika merupakan salah satu cara yang cocok untuk memprediksi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi di dalam suatu sistem. Oleh karena itu, pemodelan dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memprediksikan dampak restorasi mangrove sejak tahun 1980an di Indonesia dan potensi karbon untuk mitigasi pemanasan global. Selanjutnya, pemodelan juga dapat digunakan untuk menguji potensi mitigasi karbon dengan

siklus pemanfaatan mangrove (tingkat penebangan) yang berbeda-beda.

Untuk menjawab tujuan penelitian ini, maka perlu dikaji: 1) Apakah restorasi 1,8 juta hektar mangrove yang hilang sejak tahun 1980 bisa mencapai target mitigasi karbon Indonesia? 2) Berapa hektar luas hutan mangrove yang perlu direstorasi untuk mencapai target sesuai dengan Paris Climate Agreement?; dan 3) Berapa tingkat penebangan hutan mangrove yang diperbolehkan agar target mitigasi karbon Indonesia di bawah Paris Climate Agreement tetap bisa tercapai? Beberapa skenario dapat diterapkan dalam simulasi untuk menjawab beberapa permasalahan tersebut, antara lain: 1) Potensi stok karbon restorasi mangrove pada tahun 1980an tanpa penebangan; dan 2) Potensi stok karbon dengan tingkat penebangan rendah (nilai awal), tingkat penebangan medium (dua kali lebih besar dari nilai awal), dan tingkat penebangan tinggi (empat kali lebih besar dari nilai awal).

## METODE PENELITIAN

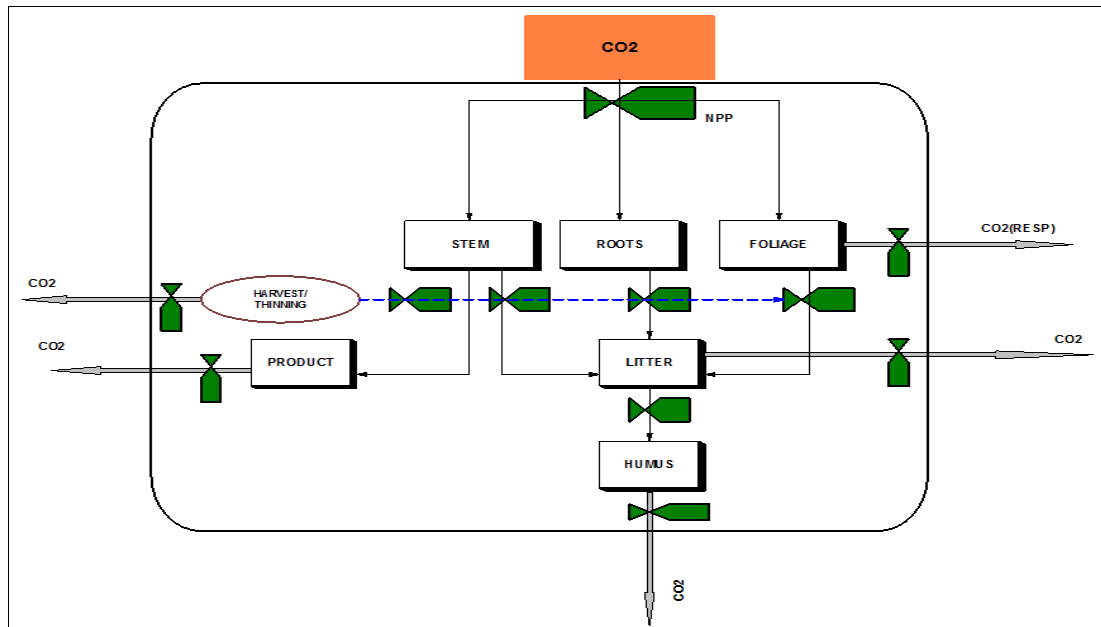
### CO<sub>2</sub>Fix Model

Simulasi mitigasi karbon hutan mangrove Indonesia dilakukan selama 7 hari pada bulan Januari 2017 menggunakan perangkat pemodelan CO<sub>2</sub>Fix Model. CO<sub>2</sub>Fix Model yang merupakan perangkat pemodelan matematika yang sudah divalidasi sehingga tidak perlu dilakukan analisis sensitivitas dan kalibrasi. CO<sub>2</sub>Fix Model kemudian dijalankan menggunakan program Smart (version 1.2) (Masera et al., in review Nabuurs et al., 2001).

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat konseptual model sekuestrasi

karbon pada hutan mangrove. Konseptual model mencakup semua variabel utama, proses, dan parameter yang berkaitan dengan

sekuestrasi karbon pada hutan mangrove (Gambar 2).



Gambar 2. Konseptual model sekuestrasi karbon pada hutan mangrove.

### Asumsi

Beberapa asumsi dibuat untuk menyederhanakan model dan mengatasi keterbatasan data, antara lain: 1) Sistem tidak dipengaruhi oleh tekanan dari luar (closed boundary system), kondisi lingkungan abiotik tidak menghambat pertumbuhan mangrove, seperti radiasi; 2) Kondisi lingkungan ekstrim, seperti badai, tsunami, kekeringan, kenaikan air laut ekstrim tidak mempengaruhi sistem; 3) Dengan tingkat penebangan yang relative, tutupan mangrove tidak pernah mencapai nilai 0; 4) Tidak ada perbedaan efektivitas sekuestrasi setiap spesies mangrove karena keterbatasan data untuk setiap spesies, misalnya yield tabel yang digunakan dalam simulasi yaitu untuk spesies *Rhizophora apiculata* yang merupakan spesies yang umum dan banyak dijumpai di Indonesia (Giesen, 2007; Hou, 1960); 5) Stok karbon pada tanah (below ground), diasumsikan bahwa tingkat dekomposisi adalah 0; 6) Variabel dead wood (DWOOD) diasumsikan tidak mengalami dekomposisi karena mengalami inundasi air laut; 7) Koefisien humifikasi yang digunakan dalam model adalah refraktori karbon yang terdapat pada IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2014); 8)

Pengurangan emisi dihitung dengan membagi target emisi tahunan dari BAU, dikonversi dari Mt CO<sub>2</sub> ke Mt C (karbon); 9) Data mangrove yang telah hilang yang digunakan untuk perhitungan yaitu 1,8 juta hektar (FAO, 2007) dengan laju kerusakan 50.000 hektar per tahun dalam kurun waktu 2000-2005, yang berarti estimasi hutan mangrove yang hilang sekitar 1,8 juta hektar dalam kurun waktu 1980-2005.

### Pendekatan pemodelan

Pemodelan dengan persamaan matematika yang digunakan berdasarkan CO<sub>2</sub>Fix Model dengan mengadaptasi beberapa parameter, proses, dan variabel turunan yang sesuai dengan sekuestrasi karbon pada mangrove. Total tutupan mangrove dan total potensi mangrove Indonesia dengan resolusi spasial hektar (ha). Skenario yang dirancang disimulasikan dalam kurun waktu 80 tahun dengan jarak waktu 1 tahun.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi pemodelan dengan empat skenario menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Oleh karena itu, sangat sulit untuk menyimpulkan hasil simulasi tersebut reslistis atau tidak. Murdiyarso (2015) memperkirakan

bahwa rata-rata sequestrasi karbon pada mangrove di Indonesia berkisar  $1.083 \pm 378$  (Mg C/ha) yang sesuai dengan hasil yang ditunjukkan pada skenario pertama, restorasi tanpa penebangan. Hal ini berarti bahwa model hanya cocok untuk mensimulasi stok karbon dalam jangka waktu 80 tahun. Setelah 80 tahun, model menunjukkan peningkatan sequestrasi tanpa batas (infinite increase). Hal yang perlu menjadi bahan diskusi yaitu apakah hasil simulasi tersebut realistis atau tidak, walaupun misalnya ekosistem peatland dapat mengakumulasi karbon dalam kurun waktu jutaan tahun.

Hasil simulasi tidak menunjukkan kejelasan apakah hasil tersebut di bawah atau di atas perkiraan sequestrasi karbon mangrove karena hanya menggunakan data satu spesies mangrove. Prediksi yang dibuat oleh model setelah 80 tahun tidak menunjukkan gambaran yang realistis karena terlalu banyak kemungkinan-kemungkinan yang dapat mempengaruhi sequestrasi karbon. Data yang dipaparkan oleh Alongi (2009) mengindikasikan jika ada kemungkinan hasil simulasi di bawah perkiraan total massa yang diproduksi oleh *Rhizophora apiculata*.

Tabel 1. Target reduksi emisi Indonesia untuk kurun waktu 2015-2020 dan 2015-2030 untuk skenario *conditional* dan *unconditional*.

Target reduksi emisi karbon Indonesia		Periode	
		2015-2020	2015-2030
Unconditional	(Mg C)	384.778.459	221.520.507
	(Mt C)	384,78	2.215,21
Conditional	(Mg C)	384.778.459,4	2.740.523.177
	(Mt C)	384,78	2.740,52

Target reduksi emisi Indonesia (Table 1) dibandingkan dengan hasil pemodelan (Table 2) untuk area 1.8 juta hektar mangrove yang direstorasi. Tidak ada target reduksi emisi yang dapat dicapai dalam kurun waktu 2015-2020 dan 2015-2030. Total sequestrasi karbon pada total 1.8 juta hektar hutan mangrove yang direstorasi tampak pada Tabel 2 dengan perkiraan reduksi emisi dapat dicapai dengan restorasi 1.8 juta hektar hutan mangrove tanpa

penebangan. Jadi, target reduksi emisi tanpa syarat (*unconditional*) tahun 2020 dapat dicapai setelah 22 tahun. Sedangkan, target reduksi emisi dengan syarat (*conditional*) tahun 2030 dapat dicapai setelah 87 dan 102 tahun.

Tabel 2. Stok karbon pada keseluruhan sistem (CCSYST) dengan skenario tanpa penebangan (*zero harvesting rate*) dalam rentang beberapa waktu.

Waktu (tahun)	CCSYST (Mg/ha)	Stok karbon 1.8 juta hektar mangrove yang direstorasi (Mt C)	Reduksi emisi dicapai pada
5	2,71	4,88	
15	119,14	214,46	
22	223,907	403,03	Unc 2020
22	223,907	403,03	C 2020
87	1232,66	2.218,78	Unc 2030
102	1538,93	2.770,07	C 2030

Mengingat skala simulasi yang besar, agak sulit untuk mengetahui apakah hasil simulasi masuk realistis atau tidak. Hasil yang jelas bahwa mangrove berpotensi menjadi metode yang efektif untuk mengurangi emisi karbon di Indonesia. Akan tetapi, beberapa faktor dapat menghambat potensi tersebut, misalnya tingkat degradasi hutan mangrove

seluas 50.000 hektar masih berlangsung (Alongi, 2014). Selain itu juga emisi karbon pembakaran lahan gambut dan pembukaan lahan yang baru kemungkinan menghasilkan emisi karbon yang lebih banyak daripada penebangan hutan mangrove.

Agar hutan mangrove dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap target

reduksi emisi karbon dan mendekati target 2020 dan 2030, hutan mangrove harus dipulihkan ke situasi tahun 1980. Akan tetapi hal tersebut tidak mungkin untuk dilakukan dalam kurun waktu yang relatif singkat. Jadi, restorasi dan konservasi hutan mangrove dalam jangka panjang dapat menjadi solusi sangat baik untuk mengurangi emisi karbon di Indonesia.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dalam pembahasan dapat disimpulkan bahwa restorasi hutan mangrove merupakan cara yang efektif untuk menyimpan karbon dalam jangka panjang. Pemanasan global yang terjadi saat ini perlu untuk segera ditanggulangi sesuai dengan yang tercantum di dalam Paris Climate Agreement, dimana Indonesia dengan sumber daya hutan yang dimilikinya juga hendaknya turut berpartisipasi secara proaktif tidak hanya dengan merestorasi hutan mangrove, tetapi juga menurunkan laju deforestasi. Climate Action tracker (2016) memperkirakan bahwa sekitar 60% emisi karbon Indonesia berasal dari deforestasi. Sementara itu laju deforestasi di Indonesia belum menunjukkan penurunan yang signifikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M., Murdiyarso, D., & Fourqurean, J. W. (2016). Indonesia's blue carbon: a globally significant and vulnerable sink for seagrass and mangrove carbon. *Wetlands Ecol Manage*, 24, 3.
- Alongi, D. M. (2014). Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 1-487.
- Alongi, D. M. (2009). *The energetics of mangrove forests*. Springer Science & Business Media.
- Ashton, E. C., & Macintosh, D. J. (2002). Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 166(1), 111-129.
- Climate Action Tracker. (2016). *INDC Rating Indonesia*. (Online). Diakses dari <http://climateactiontracker.org/countries/indonesia/2016.html>
- Donato, & Daniel C., (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4.5, 293-297.
- Duke, N. C. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317, 41-42.
- English, S., Wilkinson, C. and Baker, V. (1997). Survey manual for tropical marine resources, Chapter 3 Mangrove Survey, 119-196. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- FAO. (2007). The World's Mangroves 1980-2005 89 *FAO Forestry Paper* 153.
- Feller, I. C., & Sitnik, M. (1996). Mangrove ecology: a manual for a field course. *Smithsonian Institution, Washington, DC*, 1-135.
- Giesen, W. (2007). Mangrove guidebook for Southeast Asia. *Mangrove guidebook for Southeast Asia*.
- Hou, D. (1960). A review of the genus *Rhizophora*. *Blumea*, 10 (2): 625.
- IPCC. (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi.
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in marine biology*, 40, 81-251.
- Kitamura, S., Anwar, C., Chaniago, A., & Baba, S. (1997). Handbook of Mangroves in Indonesia; Bali & Lombok. The Development of Sustainable Mangrove Management Project. Jakarta: Ministry of Forestry Indonesia and Japan International Cooperation Agency.
- Masera, O., J. F. Garza-Caligaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, G.J. Nabuurs, A. Pussinen, & B. J. de Jong. (2001). *In review*. Modeling carbon sequestration in afforestation and forest management projects: the CO2FIX V2.0 approach. Submitted to Ecological Modeling.
- Murdiyarso D. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5, 1089-1092.
- Nabuurs, G. J., J.F. Garza-Caligaris, M. Kanninen, T. Karjalainen, T. Lapvetelainen, J. Putz, Francis E., and H. T. Chan. (1986). Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *Forest ecology and management*, 17(2-3), 211-230.

- Putz, F. E., & Chan, H. T. (1986). Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. *Forest ecology and management*, 17(2-3), 211-230.
- Republic of Indonesia 2015. Intended Nationally Determined contributions. UNFCCC. Diakses dari: [http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Indonesia/1/INDC\\_REPUBLIC%20OF%20INDONESIA.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Indonesia/1/INDC_REPUBLIC%20OF%20INDONESIA.pdf).
- Spalding, M. (2013). Science: Mangrove Forests as Incredible Carbon Stores. *Cool Green Science*. N.p., (Accessed online 01.02.2017).
- Sunaryanto, A. (2004). The use of mangroves for aquaculture: Indonesia.
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. Bonn Germany. Diakses dari [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php)