

## Proporsional Alih Fungsi Lahan Mangrove untuk Kawasan Budidaya dalam Perspektif Mitigasi Perubahan Iklim

### *Proportional Conversion of Mangrove Land to Cultivation Areas in the Perspective of Climate Change Mitigation*

Rahman<sup>1</sup>, Sophia NM Fendjalang<sup>2</sup>, Krisye<sup>1</sup>, Nur Tasmiah Sirajuddin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Ilmu Kelautan Pattimura University. Jl. Mr. Chr. Soplanit, Poka, Tlk Ambon, Ambon, Maluku.

<sup>2</sup>Jurusan Budidaya Perairan Pattimura University Jl. Mr. Chr. Soplanit, Poka, Tlk Ambon, Ambon, Maluku.

<sup>3</sup>Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan Pattimura University Jl. Mr. Chr. Soplanit, Poka, Tlk Ambon, Ambon, Maluku

\* Corresponding Author: [sophiafendjalang@gmail.com](mailto:sophiafendjalang@gmail.com)

#### ABSTRAK

Pemanfaatan ekosistem mangrove umumnya terdiri dari pemanfaatan untuk pengelolaan konservatif dan pemanfaatan destruktif. Salah satu pemanfaatan destruktif yang paling berpengaruh terhadap degradasi mangrove adalah alih fungsi lahan menjadi tambak. Penyerapan karbon mangrove menurun dan emisi gas rumah kaca meningkat seiring dengan konversi mangrove. Disisi lain, manfaat ekonomi dari kegiatan tambak sangat menjanjikan bagi pelaku usaha. Perdebatan antara mempertahankan ekologi atau mengutamakan keuntungan ekonomi terus bergulir. Analisis ini bertujuan untuk menentukan proporsional alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak dalam perspektif mitigasi perubahan iklim. Hasil analisis menunjukkan bahwa alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak pada proporsi tersebut dapat dilakukan pertimbangan keuntungan ekonomi dengan tetap menjaga optimasi fungsi penyerapan karbon. Stok karbon yang hilang akibat konversi dapat diperoleh melalui budidaya tambak udang. Kegiatan budidaya mampu menyerap CO<sub>2</sub> hingga 25% dari serapan karbon mangrove melalui penyerapan fitoplankton. Selain itu, emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan tambak tradisional, semi intensif, dan intensif juga relatif rendah yaitu berkisar 0.0009 – 0.0264 mg/m<sup>2</sup>/hari. Stok karbon mangrove yang dapat dikonversi menjadi tambak yang memiliki nilai karbon awal sebesar 261,9-490,12 tonC/ha adalah 99,82-227,03 tonC/ha. Konversi tersebut dapat dilakukan untuk pembukaan lahan atau pengembangan kawasan budidaya. Namun apabila nilai stok karbon pada suatu ekosistem lebih rendah dari nilai stok karbon minimal (<261,9 tonC/ha) maka kegiatan budidaya dapat dilakukan pada lahan eksisting dan tidak melakukan konversi mangrove, sebaliknya harus dilakukan rehabilitasi mangrove sehingga stok karbon dapat meningkat. Jenis spesies mangrove yang direkomendasikan untuk direhabilitasi adalah *R. stylosa*, *R. apiculata*. dan *R. mucronata*.

**Kata kunci:** Stok karbon, Budidaya, Manajemen Ekosistem Mangrove, Mitigasi Perubahan Iklim.

#### ABSTRACT

*The utilization of mangrove ecosystems generally consists of utilization for conservative management and destructive use. One of the most influential destructive utilizations of mangrove degradation is converting land into ponds. Mangrove carbon sequestration decreases, and greenhouse gas emissions increase along with mangrove conversion. On the other hand, the economic benefits of pond activities are auspicious for business actors. The debate between maintaining ecology or prioritizing economic gain continues. This analysis aims to determine the proportional conversion of mangrove land into ponds from the perspective of climate change mitigation. The analysis results show that converting*

*mangrove land into ponds at this proportion can be considered for economic benefits while maintaining the optimization of the carbon sequestration function. Carbon stocks lost due to conversion can be obtained through shrimp pond cultivation. Aquaculture activities can absorb CO<sub>2</sub> up to 25% of mangrove carbon through phytoplankton absorption. In addition, CH<sub>4</sub> gas emissions produced by traditional, semi-intensive, and intensive ponds are also relatively low, ranging from 0.0009 – 0.0264 mg/m<sup>2</sup>/day. Mangrove carbon stocks that can be converted into ponds with an initial carbon value of 261.9-490.12 tonnes C/ha are 99.82-227.03 tonnes C/ha. The conversion can be done for land clearing or the development of cultivated areas. However, if the value of carbon stock in an ecosystem is lower than the minimum carbon stock value (<261.9 tonnes C/ha), then cultivation activities can be carried out on existing land and do not convert mangroves, mangrove rehabilitation must be carried out so that carbon stocks can increase. The mangrove species recommended for rehabilitation are *R. stylosa*, *R. apiculata*. and *R. mucronata*.*

**Keywords:** : Carbon Stocks, Climate Change Mitigation, Cultivation, Mangrove Ecosystem Management..

## PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem pesisir yang sangat penting bagi manusia karena memiliki fungsi ekonomi, fisik, dan ekologi. Fungsi ekonomi yaitu melalui pemanfaatannya sebagai kayu bakar, bahan bangunan, pewarna batik, dan obat-obatan. Fungsi fisik sebagai perangkap sedimen dan penahan ombak (Bengen, 2004; Martuti et al., 2018), dan fungsi ekologi yaitu sebagai *nursery ground*, *spawning ground*, dan *feeding ground*, serta mendukung kehidupan berbagai biota seperti ikan, udang, kepiting, kerang, dan biota lainnya (Woodroffe, 1982; Nordhaus et al., 2006; Hogarth, 2007; Abrantes and Sheaves, 2009).

Selain fungsi – fungsi tersebut, ekosistem mangrove juga memiliki fungsi dalam upaya mereduksi karbon (CO<sub>2</sub>) di atmosfer yaitu melalui mekanisme sekuestrasi (Eong, 1993; Brown and Gatson, 1996; Komiyama et al., 2000; Jenkins et al., 2003; IPCC, 2005; Giesen et al., 2006; Hilmi and Sahri 2006; Alongi, 2008; Krauss et al., 2008; Amaral et al., 2009; Mandala et al., 2012; Charoenjit, 2013; Abino et al., 2014; Alongi and Mukhopadhyay, 2015; Barni et al., 2016) dan empat kali lebih besar dibandingkan ekosistem lainnya (Donato et al., 2012).

DeFries et al. (2002); Hilmi (2003); Siddique et al. (2012); Alemahayu et al. (2014); Adame et al. (2013; 2015); Dung et al. (2016); Benson et al. (2017) dan Rahman et al. (2017) melaporkan bahwa kemampuan simpanan karbon mangrove yaitu berkisar 102 Mg C ha<sup>-1</sup> hingga 454.92 Mg C ha<sup>-1</sup>. Berdasarkan nilai stok karbon tersebut, ekosistem mangrove dinilai sangat

berpotensi dalam mitigasi perubahan iklim global (Murdiyarto et al., 2015).

Pengelolaan ekosistem mangrove umumnya terdiri dari pengelolaan konservatif dan pengelolaan destruktif. Pengelolaan konservatif bertujuan untuk menjaga nilai optimal fungsi sosial – ekologi mangrove sehingga dapat menunjang manfaat ekonomi, misalnya ekowisata (Yulianda 2007). Pengelolaan destruktif adalah pengelolaan yang bertujuan memperoleh keuntungan ekonomi dengan melakukan pengerusakan ekosistem mangrove baik dengan penebangan skala kecil seperti timber, maupun penebangan skala besar seperti alih fungsi lahan menjadi tambak.

Menurut Ilman et al. (2016), bahwa periode pertama alih fungsi mangrove menjadi tambak di Indonesia, sudah dilakukan sejak era kerajaan Majapahit yaitu tahun 1800-1900. Konversi mangrove pada era tersebut terjadi di wilayah Jawa yang luasnya mencapai 50.000 ha, dan 16.000 ha digunakan untuk kawasan tambak di Jawa Timur (Schuster, 1952). Selanjutnya, periode konversi mangrove terbesar menjadi tambak terjadi pada periode kedua yaitu tahun 1980 – 2003. Selama periode tersebut, total ekosistem mangrove yang berkisar 900.000–1.000.000 ha (Ilman et al., 2016).

Konversi mangrove menjadi tambak sangat berdampak pada sistem ekologi di wilayah pesisir. Menurut Witomo (2018) bahwa konversi mangrove menjadi tambak menyebabkan terjadinya erosi pantai, sedimentasi, pencemaran, menurunnya fungsi ekologi, dan intrusi air laut. Selanjutnya, menurut Sidik dan Lovelock (2013) bahwa konversi mangrove

menyebabkan menurunnya stok karbon pada mangrove serta memicu peningkatan emisi gas rumah kaca hingga mencapai  $4.99 \text{ Mg CO}_2\text{-e ha}^{-1}$ . Berbagai upaya pengendalian konversi mangrove pun mulai digaungkan misalnya di kawasan Segara Anakan (Yulianti dan Ariastita, 2012). Di sisi lain, nilai ekonomi tambak udang masih menjadi pertimbangan dalam melakukan konversi mangrove. Purnamasari et al. (2022) melaporkan bahwa nilai ekonomi dari produksi tambak udang mencapai Rp. 44.675.705, 00 per hektar. Hal ini kemudian menimbulkan perdebatan antara mempertahankan ekologi atau mengutamakan ekonomi. Berdasarkan hal tersebut, maka analisis proporsional pengelolaan ekosistem mangrove dengan pendekatan mitigasi perubahan iklim perlu untuk dilakukan sehingga fungsi mangrove sebagai penyimpan karbon tetap terjaga tanpa mengesampingkan manfaat ekonomi dari aktivitas budidaya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui studi literatur terhadap beberapa parameter yang secara kerangka pemikiran logis memiliki hubungan dalam upaya pengelolaan budidaya berbasis mitigasi perubahan iklim. Pada pengelolaan dengan perspektif mitigasi perubahan iklim, proporsional antara jumlah mangrove yang harus dipertahankan dan yang akan dikonversi akan sangat ditentukan oleh jenis spesies dan rata-rata diameter at breast height (DBH) mangrove. Menurut Rahman et al. (2019), terdapat sepuluh spesies mangrove utama di Indonesia terdiri dari enam spesies diantaranya merupakan spesies dominan. Spesies mangrove dominan tersebut adalah *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Sonneratia alba*.

## Literatur Review

Informasi yang diperlukan untuk menentukan proporsional mangrove yang dapat dikonversi dalam perspektif perubahan iklim meliputi model penduga estimasi biomassa dan estimasi stok karbon tegakan mangrove, rasio produksi semai, fluks gas rumah kaca di kawasan ekosistem mangrove dan budidaya, serta proporsional konversi mangrove dengan pendekatan kerapatan mangrove.

## Model Penduga Biomassa Mangrove dan Estimasi Stok Karbon

Penelitian tentang model allometrik pendugaan biomassa mangrove telah banyak dilakukan pada berbagai spesies mangrove. Tabel 1. menunjukkan beberapa model terbaik dalam pendugaan biomassa tegakan mangrove (above ground biomass) pada beberapa spesies mangrove.

Stok karbon diperoleh dari hasil perkalian model penduga biomassa dengan nilai fraksi karbon. Nilai fraksi karbon mengacu adalah sebesar 46,82% (Rahman et al. 2023). Estimasi nilai stok karbon mangrove pada masing – masing spesies mangrove akan disimulasikan pada beberapa ukuran DBH dengan kriteria kerapatan antara 2,000 – 4,550 trees  $\text{ha}^{-1}$  (Bessie et al., 2013; Rahman et al., 2019). Besaran kerapatan mangrove yang akan dikonversi mengacu pada skenario terbaik budidaya yang optimum menurut Asbar (2007) yaitu sebesar 33,3% dari kerapatan mangrove. Konversi kerapatan sebesar 33,3% akan diuquialenkan dengan besaran stok karbon yang hilang pada nilai tengah rata – rata DBH yaitu 25 cm.

Tabel 2 menunjukkan nilai fluks gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{N}_2\text{O}$ ) di lahan ekosistem mangrove dan tambak dari berbagai lokasi. Fluks gas  $\text{CO}_2$  terbesar terdapat di ekosistem mangrove Twin Bays-Central Belize dengan nilai masing-masing 332.63 – 1203.84  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$ , (Lovelock et al., 2011), sedangkan fluks gas  $\text{CO}_2$  terendah terdapat di mangrove China Selatan dengan nilai 0.0304 – 0.0946  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$  (Chen et al., 2010a).

Fluks gas  $\text{CH}_4$  terbesar terdapat di mangrove Honda Bay-Philippines dengan nilai 354.24  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$  (Castillo et al. 2017), sedangkan fluks  $\text{CH}_4$  terendah terdapat di mangrove NE coast of India dengan nilai 0.0003 – 0.0004  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$   $\text{CH}_4$  (Dutta et al., 2003). Fluks gas  $\text{N}_2\text{O}$  terbesar terdapat di mangrove Cienaga Grande de Santa Marta - Colombia dengan nilai fluks mencapai 31.570  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$  (Konnerup et al., 2014), sedangkan fluks  $\text{N}_2\text{O}$  terendah terdapat di mangrove Zangjiang River Estuary dengan nilai 0.00045 – 0.00073  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$  untuk gas  $\text{N}_2\text{O}$  (Chen et al., 2010b).

Menurut Rifqi et al. (2020a), bahwa fluks gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$ ) pada berbagai teknologi budidaya tidak berbeda nyata. Fluks gas  $\text{CO}_2$  terbesar terdapat pada tambak semi intensif dengan nilai 14.5914  $\text{mg/m}^2/\text{jam}$ , dan terendah terdapat pada tambak tradisional dengan fluks sebesar 8.1552

mg/m<sup>2</sup>/jam. Fluks gas CH<sub>4</sub> terbesar terdapat pada tambak tradisional dengan nilai fluks sebesar 0.0264 mg/m<sup>2</sup>/jam, dan fluks terendah terdapat pada tambak intensif dengan nilai 0.0009 mg/m<sup>2</sup>/jam. Meski demikian, besar fluks gas CO<sub>2</sub> akibat alih fungsi lahan

mangrove menjadi tambak udang mencapai 182.16-498.96 mg/m<sup>2</sup>/jam (Sidik dan Lovelock, 2013).

**Tabel 1.** Model Estimasi Above-Ground Biomass (AGB) Beberapa Spesies Mangrove

Spesies	Model Estimasi Biomassa	Sumber
<i>B. cylindrica</i>	$B = 0.168 (D)^{2.42}$	Komiyama et al. (2005)
<i>B. gymnorrhiza</i>	$B = 0.186 (D)^{2.31}$	Clough dan Scout (1989)
<i>R. apiculata</i>	$B = 0.235(D)^{2.42}$	Ong et al. (2004)
<i>R. mucronata</i>	$B = 0.128(D)^{2.60}$	Fromard et al. (1998)
<i>R. stylosa</i>	$B = 0.178(D)^{2.586}$	Gevana dan IM (2016)
<i>S. alba</i>	$B = 0.299(D)^{2.30}$	Kusmana et al (2018)

SM = Sedimen Mangrove, TT = Tambak Tradisional, TSI = Tambak Semi Intensif, TI = Tambak Intensif, SP = Tambak Udang, (-) = Tidak diteliti, GWP = Global Warming Potential (IPCC 2001; 2003)

**Tabel 2.** Variasi Emisi Gas Rumah Kaca Pada Sedimen Mangrove di Beberapa Lokasi di Dunia

Site	Fluks Gas Rumah Kaca (mg/m <sup>2</sup> /jam)			Sumber
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
SM – Australia	-	0,02 – 0,3467	-	Kreuzwieser et al. (2003)
SM – Pesisir Teluk Bengal, India	-	0,0013 – 0,0897	-	Biswas et al. (2007)
SM – China Selatan	0,0304 – 0,0946	0,1904 – 82,6976	0,0062 – 1,0455	Chen et al. (2010a; 2012)
SM – Sungai Zhangjiang, China	-	-	0,00045 – 0,00073	Chen et al. (2010b)
SM – Queensland Tenggara, Australia	-	0,003 – 17,4	0,004 – 0,065	Allen et al. (2011)
SM – Teluk Kembar, Belize Pusat	332,63 – 1203,84	-	-	Lovelock et al. (2011)
SM – NE coast of India	-	0,0003 – 0,0004	-	Dutta et al. (2013)
SM – Cienaga Grande Colombia	-	0,035 – 1,180	0 – 31,570	Konnerup et al. (2014)
SM – Southwest Florida	-	0,01 – 0,07	-	Cabezaz et al. (2017)
SM – Teluk Honda, Philippines	459,36	354,24	1,584	Castillo et al. (2017)
SM – Sungai Tallo, Makassar – Indonesia	193,07	6,68	0,143	Rahman et al. (2018)
TU – Bali Indonesia	182,16 – 498,96	-	-	Sidik and Lovelock, (2013)
TT – Karawang, Jawa Barat, Indonesia	8,1552	0,0264	-	Rifqi et al. (2020a)
TSI – Karawang, Jawa Barat, Indonesia	14,5914	0,0102	-	Rifqi et al. (2020a)
TI – Karawang, Jawa Barat, Indonesia	9,2352	0,0009	-	Rifqi et. (2020a)

## HASIL PENELITIAN

### Proporsional Konversi Mangrove

Berdasarkan hasil analisis skenario konversi sebesar 33.3% (Asbar, 2007) terhadap kerapatan mangrove dengan kisaran kriteria sangat padat sebesar 2000 pohon/ha (Rahman et al., 2019) sampai 4550 pohon/ha (Bessie et al., 2013), maka kisaran stok karbon yang dapat dikonversi adalah 99,82 - 227,03 tonC/ha. Mengacu pada kisaran stok karbon tersebut, maka nilai kerapatan mangrove yang dapat dikonversi akan sangat ditentukan oleh diameter pohon. Semakin besar ukuran rata – rata diameter pohon maka

kerapatan mangrove serta yang akan dikonversi akan semakin kecil.

Tabel 3 menunjukkan hasil simulasi kisaran kerapatan mangrove yang dapat dikonversi pada beberapa ukuran diameter. Jumlah spesies mangrove yang dapat dikonversi untuk kegiatan budidaya pada masing – masing spesies mangrove akan berbeda pada tiap ukuran diameter yang sama. Meski demikian, nilai stok karbon yang dikonversi tetap sama yaitu berkisar 99,82-227,03 tonC/ha. Spesies mangrove terbesar yang dapat dikonversi pada tiap diameter yang sama adalah *B. gymnorrhiza*, *B.*

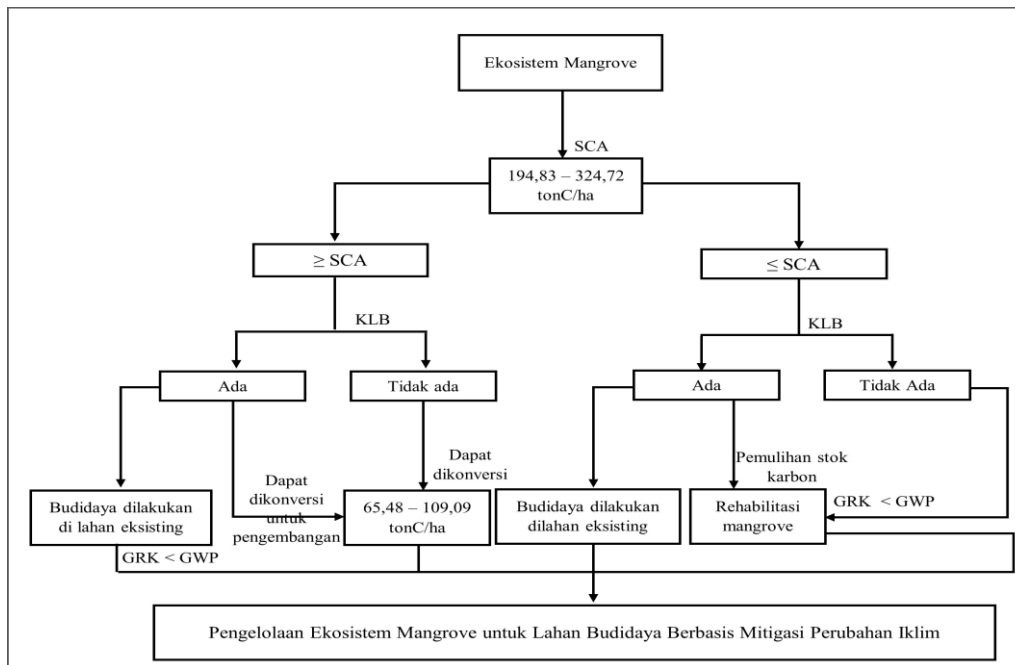
*cylindrica* dan *S. alba*, sedangkan yang terendah adalah *R. stylosa*, *R. apiculata*. dan *R. mucronata*. Sebagai contoh, pada ukuran diameter 15 cm, jumlah pohon *B. gymnorrhiza*, *B. cylindrica* dan *S. alba* yang dapat dikonversi masing-masing berkisar 1030 - 2343 pohon/ha, 847 - 1926 pohon/ha, dan 689 - 1568 pohon/ha.

Sementara jumlah pohon yang dapat dikonversi pada *R. stylosa*, *R. apiculata*. dan *R. mucronata* masing – masing sebesar 504-1147 pohon/ha, 683-1552 pohon/ha, dan 687-1563 pohon/ha.

**Tabel 3.** Kisaran Kerapatan Mangrove Yang Dapat Dikonversi Pada Beberapa Ukuran Diameter Pohon.

Rerata DBH (cm)	Kisaran kerapatan yang dapat dikonversi pada beberapa kelas diameter											
	<i>B. cylindrica</i>		<i>B. gymnorrhiza</i>		<i>R. apiculata</i>		<i>R. mucronata</i>		<i>R. stylosa</i>		<i>S. alba</i>	
	D0	Dt	D0	Dt	D0	Dt	D0	Dt	D0	Dt	D0	Dt
15	2222-4158	847-1926	2703-4358	1030-2343	1791-3352	683-1552	1803-3375	687-1563	1323-2476	504-1147	1808-3384	689-1568
17	1641-3071	625-1423	2024-3788	772-1755	1293-2421	493-1121	1325-2480	505-1149	957-1791	365-829	1343-2513	512-1164
19	1254-2346	478-1087	1566-2930	597-1357	969-1813	369-840	1008-1887	384-874	717-1342	273-622	1030-1928	393-893
21	984-1842	375-853	1242-2325	474-1077	747-1397	285-647	788-1475	300-683	554-1036	211-480	812-1519	309-704
23	790-1478	301-685	1007-1885	384-873	589-1103	225-511	630-1179	240-546	437-818	167-379	654-1224	249-567
25	645-1208	246-559	831-1554	317-720	475-888	181-411	513-960	196-445	352-660	134-805	536-1003	204-465
27	536-1003	204-464	695-1301	265-603	388-727	148-337	425-795	162-368	289-540	110-250	446-835	170-387
29	451-843	172-391	589-1103	225-511	323-604	123-280	356-667	136-309	240-449	91-208	377-705	144-326
31	383-718	146-332	505-946	193-438	271-508	103-235	302-566	115-262	202-378	77-175	321-601	122-279
33	330-617	126-286	437-819	167-379	231-431	88-200	259-485	99-225	172-321	65-149	277-518	106-240
35	286-535	109-248	382-714	146-331	198-370	75-172	224420	85-194	147-276	56-128	241-450	92-209

Keterangan dan catatan: D0 adalah kerapatan awal (pohon/ha), Dt adalah kerapatan mangrove yang dapat dikonversi (pohon/ha), bila pada suatu ekosistem terdapat beberapa spesies dengan kisaran stok karbon optimum, maka besaran stok karbon yang dapat dikonversi adalah 33,3% dari stok karbon masing-masing spesies.



**Gambar 1.** Kerangka Pengelolaan Ekosistem Mangrove untuk Lahan Budidaya Berbasis Mitigasi Perubahan Iklim; SCA = Stok C Awal, KLB = Keberadaan Tambak Eksisting, GRK = Gas Rumah Kaca, GWP = Global Warming Potential.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dalam merencanakan pengelolaan ekosistem mangrove untuk kegiatan budidaya harus dilakukan estimasi nilai stok karbon. Pada kerangka model pengelolaan ekosistem mangrove sebagai kawasan budidaya dijelaskan bahwa apabila suatu ekosistem mangrove memiliki stok karbon lebih kecil atau sama dengan stok maksimum ( $\geq 261,9 - 490,12$  tonC/ha) maka kegiatan budidaya dapat dilakukan pada lahan eksisting atau dapat dikembangkan dengan mengkonversi mangrove dengan nilai total stok yang dikonversi sebesar  $99,82 - 227,03$  tonC/ha. Kisaran mangrove yang dapat dikonversi dapat mengacu pada Tabel 3.

Alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak pada proporsi tersebut dapat dilakukan pertimbangan keuntungan ekonomi. Stok karbon yang hilang akibat konversi dapat diperoleh melalui budidaya tambak udang. Menurut Rifqi *et al.* (2020a), bahwa kegiatan budidaya mampu menyerap CO<sub>2</sub> hingga 25% dari serapan karbon mangrove melalui penyerapan fitoplankton. Selain itu, emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan tambak tradisional, semi intensif, dan intensif juga relatif rendah yaitu berkisar  $0.0009 - 0.0264$  mg/m<sup>2</sup>/hari (Rifqi *et al.*, 2020b).

Namun, apabila nilai stok karbon pada suatu ekosistem lebih rendah dari nilai stok karbon minimal ( $< 261,9$  tonC/ha) maka kegiatan budidaya dapat dilakukan pada lahan eksisting dan tidak dilakukan konversi mangrove, sebaliknya harus dilakukan rehabilitasi mangrove sehingga stok karbon dapat meningkat (Gambar 1). Jenis spesies mangrove yang direkomendasikan untuk direhabilitasi adalah *R. stylosa*, *R. apiculata*, dan *R. mucronata*. Hal ini karena spesies tersebut memiliki rasio produksi semai yang lebih besar dibandingkan spesies lainnya (Rahman *et al.*, 2019).

Stok karbon mangrove yang dapat dikonversi menjadi tambak yang memiliki nilai karbon awal sebesar  $261.9-490.12$  Mg C ha<sup>-1</sup> adalah  $99.82-227.03$  tonC/ha. Konversi tersebut dapat dilakukan untuk pembukaan lahan atau pengembangan kawasan budidaya. Namun apabila nilai stok karbon pada suatu ekosistem lebih rendah dari nilai stok karbon minimal ( $< 261,9$  tonC/ha) maka kegiatan budidaya dapat dilakukan pada lahan eksisting dan tidak melakukan konversi mangrove, sebaliknya harus dilakukan rehabilitasi mangrove sehingga stok karbon dapat meningkat (Gambar 1). Jenis spesies mangrove yang direkomendasikan untuk

direhabilitasi adalah *R. stylosa*, *R. apiculata*, dan *R. mucronata*.

Menurut Ilman *et al.* (2016), bahwa dalam rentang tahun 2002-2011 terdapat 253,789 ha tambak yang tidak aktif dan sebesar 40.34% terdapat di Kalimantan (102,377 ha) serta 39.58% terdapat di Sumatera (100,461 ha). Berdasarkan hal tersebut, implementasi kebijakan untuk peningkatan produksi budidaya adalah dengan mengoptimalkan kegiatan budidaya pada lahan eksisting tanpa harus melakukan konversi mangrove lagi. Selain itu, pemilihan teknologi budidaya dan jenis komoditas yang tepat juga sangat berperan dalam meningkatkan nilai produktifitas budidaya (Juarno *et al.*, 2011).

## KESIMPULAN

Alih fungsi lahan mangrove menjadi tambak pada proporsi tersebut dapat dilakukan dengan pertimbangan keuntungan ekonomi. Stok karbon yang hilang akibat konversi dapat diperoleh melalui budidaya tambak udang. Kegiatan budidaya mampu menyerap CO<sub>2</sub> hingga 25% dari serapan karbon mangrove melalui penyerapan fitoplankton. Selain itu, emisi gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan tambak tradisional, semi intensif, dan intensif juga relatif rendah yaitu berkisar  $0.0009 - 0.0264$  mg/m<sup>2</sup>/hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abino, A.C., Castillo, J.A.A., Lee, Y., 2014. Assessment of species diversity, biomass, and carbon sequestration potential of a natural mangrove stand in Samar, the Philippines. *For. Scie. Techno.* 10: 1-8.
- Abrantes, K., Sheaves, M., 2009. Food web structure in a near-pristine mangrove area of the Australia Wet Tropics. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 82(4): 597-607.
- Adame, M.F., Santini, N.S., Tovilla, C., Lule, A.V., Castro, L., Guevara, M., 2015. Carbon stock and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosci.* 12: 3805-3818. doi:10.5194/bg-12-3805-2015
- Adame, M.F., Cherian, S., Reef, R., Stewart, K.B., 2017. Mangrove root biomass and the uncertainty of belowground carbon estimations. *For. Ecol. Manage.* 403: 52-60.
- Alemaheyu, F., Richard, O., Wasonga, M.K., 2014. Assessment of mangroves covers change and

- biomass in Mide Creek, Kenya. *Open J of For*, (4):398-413.
- Allen, D.E., Dalal, R.C., Rennenberg, H., Schmidt, S., 2011. Seasonal variation in nitrous oxide and methane emissions from subtropical estuary and coastal mangrove sediments, Australia. *Plant Biol*. 13: 126 – 33.
- Alongi, D.M., 2008. Mangrove forests: resilienci, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. 76: 1-13.
- Alongi, D.M., Mukhopadhyay, S.K., 2015. Contribution of mangrove to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricul. For. Meteorol*. 213: 266-272
- Amaral, V., Penha, L.G., Paula, J., 2009. Effects of vegetation and sewage load on mangrove crab condition using experimental mesocosms. *Estuar. Coast. Shelf Sci*.84: 300–304.
- Asbar, 2007. Optimalization of coastal area utilization for sustainable brackfish water ponds in Sinjai Regency, South East Sulawesi. Bogor (ID) [PhD Dissertation] IPB University: 195p.
- Barnes J, R. Ramesh, R. Purvaja, A.N. Rajkumar, B.S. Kumar, K. Krithika, K. Ravichandran, G. Uher, R. Upstill-Goddard., 2006. Tidal dynamics and rainfall control N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from a pristine mangrove creek. *Geophys Res. Lett*: 33, L15405.
- Barni, P.E., Manzi, A.O., Conde, T.M., Barbosa, R.I., Fearnside, P.M., 2016. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. *For. Ecol. Manage*. 377: 170–181.
- Bengen, D.G., 2004. Guidelines of introducing and management of mangrove ecosystem. Bogor (ID): PKSPL-IPB. pp 4-10.
- Benson, L., Glass, L., Jones, T.G., Ravaoarinosihoarana, L., Rakotomahazo, C., 2017. Mangrove carbon stocks and ecosystem cover dynamics in Southwest Madagascar and the implications for local management. *Forests*. 8: 2-21. doi:10.3390/f8060190.
- Bessie, D.M., Schaduw, J.N., Reppie, E., Lasut, M.T., 2013. Community structure of mangrove at Marine Tourism Park of Kupang Bay, East Nusa Tenggara. *Aqua. Scie. Manage*. 1: 3-9.
- Biswas, H., Mukhopadhyay, S.K., Sen, S., Jana, T.K., 2007. Spatial and temporal pattern of methane dynamics in the tropical mangrove dominated estuary, NE coast of Bay of Bengal, India. *Journal of Marine Systems*. 68: 55-64.
- Brown, S., Gatson, G., 1996. Estimates of biomass density for tropical forests. *Biom. Burn. Glob Change* 1 (1): 133–139.
- Cabezaz, A., Mitsch, W.J., MacDonnel, C., Zhang, L., Bydalek, F., Lasso, A., 2007. Methane emissions from mangrove soils in hydrologically disturbed and reference mangrove tidal creeks in southwest Florida. *Ecol Engine* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.041>
- Castillo, J.A.A., Apan, A.A., Maraseni, T.N., Salmo III, S.G., 2017. Soil greenhouse gas fluxes in tropical mangrove forests and in land use on deforested mangrove lands. *Catena* 159: 60 – 69.
- Charoenjit, K., Zuddas, P., Allem, P., 2013. Estimation of natural carbon sequestration in eastern Thailand: preliminary results. *Proce. Earth. Planet Sci*. 7: 139–142.
- Chen, G.C., Tam, N.F.Y., Ye, Y., 2010a. Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from mangrove soil in South China. *Scie Tot Environ*. 408: 2761 –2767.
- Chen, J. Wu, F.H., Xiao, Q., Yang, Z.H., Huang, S.H., Wang, J., Wu, Y.G., Dong, X.J., Pei, Z.M., Zheng, H.L., 2010b. Diurnal variation of nitrit oxide emission flux from a mangrove wetland in Zhangjiang River Estuary, China. *Estuar. Coast. Shelf Scie*. 90:212–220.
- Chen, G.C., Tam N.F.Y., Ye, Y., 2012. Spatial and seasonal variations of atmospheric N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry*. 48: 175-181.
- Clough, B.F., Scott, K., 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *For. Ecol. Manage*. 27: 117–127.
- Comley, B.W.T., McGuinness, K.A., 2005. Above- and below-ground biomass, and allometry of four common northern Australian mangroves. *Australia. J Botany*. 53: 431–436.
- DeFries, R.S., Richard, A.H, Mattew, C.H., Christopher, B.F., David, S., John, T., 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observation for the 1980s. *PNAS* 99 (22):14256-14261.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Mackenzie, R.A., Ainsworth, A., Pflieger, A.Z., 2012. Whole-island carbon stock in tropical pasific: Implications for



- mangrove conservation and upland restoration. *J. Environ. Manage.* 97:89-96.
- Dung, L.V., Tue, N.T., Nhuan, M.T., Omori, K., 2016. Carbon storage in a restored mangrove forest in Can Gio Mangrove Forest Park, Mekong Delta, Vietnam. *For. Ecol. Manage.* 380: 31–40
- Dutta M.K, C. Chowdhury, T.K. Jana, and S.K. Mukhopadhyay., 2013 Dynamics and exchange fluxes of methane in the estuarine mangrove environment of the Sundarbans, NE coast of India. *Atmos Environ* 77: 631 – 639.
- Eong, O.J., 1993. Mangroves – a carbon source and sink. *Chemosphere.* 27(6): 1097-1107.
- Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Betoulle, J.L., Cadamuro, L., 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia.* 23: 39-53.
- Gevana, D.T., IM, AND. S., 2016. Allometric models for *Rhizophora stylosa* Grief. in dense monoculture plantation in the Philipinnes. *Malay Forest.* 79(1 & 2): 39-53.
- Giesen, W., Wullffraat, S., Zieren, M., Scholten, L., 2006. Mangrove guide book for Southeast Asia. Thailand (TH): FAO and Wetlands International. pp 24-26.
- Hilmi, E., 2003. Model of carbon estimate of *Rhizophora spp* and *Bruguiera spp* in mangrove forest (case study: Indragiri Hilir Riau) [Dissertation]. Bogor (ID): IPB University.
- Hilmi, E., Sahri, A.S., 2006. Estimation biomass model of mangrove vegetation in Indragiri Hilir Regency, Riau. *Biosfera.* 23 (2): 20–29.
- Hogarth, P.J., 2007. *The Biologis of Mangroves and Seagrasses.* America (US). Oxford University Press. pp 124-128.
- Ilman M.P, P. Dargusch, P. Dart, Onrizal., 2016. A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia’s mangroves. *Land Use Pol* 54: 448 – 459.
- International Panel on Climate Change. 2005. Simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale afforestation and reforestation (A/R) CDM project activity categories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Cambridge (US): Cambridge University Pr. pp 76-89.
- Jenkins C.J., Chojnacky, D.C., Heath, L.S., Birdsey, R.A., 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forests Science.* 49 (1): 12–30.
- Juarno, O., Oktaviani, R., Fauzi, A., Nuryatono, N., 2011. Kinerja produktivitas dan faktor yang berpengaruh terhadap total factor produktivity (TFP) Tambak Udang di Indonesia. *J Sosek.* 6(2): 149-168.
- Komiyama, A., Havanond, S., Srisawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S., Miyagi, T., 2000. Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (*Ceriops tagal* (Perr.) C.B Rob.) forest. *For. Ecol. Manage.* 139: 127-134.
- Komiyama, A., Pongpam, S., Kato, S., 2005. Coomon allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *J. Trop. Ecol.* 21:471-477.
- Komiyama, A., Ong, J.E., Pongpam, S., 2008. Allometry, biomass and productivity of mangrove forest: A review. *Aqua. Bot.* 89:128-137.
- Konnerup, D, Portela, J.M.B., Villamil, C., Parra, J.P., 2014. Nitrous oxide and methane emissions from the restored mangrove ecosystem of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Estuar Coast Shelf Scie* 30: 1 – 9.
- Krauss, K.W., Lovelock, C.E., McKee, K., Hoffman, L.L., Ewe, S.L., Sousa, W.O., 2008. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. *Aqua. Bot.* 89: 105–127.
- Kreuswieser J, J. Buchholz J, and H. Rennenberg (2003) Emission of methane and nitrous oxyde by Australian mangrove ecosystems. *Plant Biol* 5: 423 – 431.
- Kristensen, E., Bouillon, S., Dittmar, T., Marchand, C., 2008. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems: A review. *Aqua. Bot.* 89: 201–219
- Kusmana, C., Hidayat, T., Tiryana, T., Rusdiana, O., Istomo., 2018. Allometric models for above – and bellow – ground biomass of *Sonneratia spp.* *Glob. Ecol. Conserv.* 15:e00417
- Lovelock, C.E., Ruess, R.W., Feller, I.C., 2011. CO<sub>2</sub> efflux from cleared mangrove peat. *PLoS ONE* 6 (6), e21279.
- Mandala, S., Rayb, S., Ghosh, P.B., 2012. Comparative study of mangrove litter nitrogen cycling to the adjacent estuary through modelling in pristine and reclaimed islands of Sundarban mangrove ecosystem, India. *Environ. Sci.* 13: 340–362.



- Martuti, N.K.T., Hidayah, I., Margunani., 2018. The role of mangroves in the development of Batik in the coast of Semarang City. National seminar proceeding of conservation and using of natural diversity to national welfare: 45-52.
- Murdiyarto, 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 Clim. Change* 5 (12), 1089–1092.
- Nordhaus, I., Wolff, M., Diele, K., 2006. Litter processing and food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 67(1-2): 239 -250.
- Ong, J.E., Gong, W.K., Wong, C.H., 2004. Allometry and partitioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *For. Ecol. Manage.* 188: 395–408
- Purnamasari, I., Ali, M., Habibullah, A.F. 2022. Analisis pendapatan dan risiko usaha budidaya udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Desa Galah Kecamatan Glagah Kabupaten Lamongan. *Grouper*. 13(1): 94 – 99.
- Rahman., Efendi, H., Rusmana, I., 2017. Stock estimation and carbon absorpton of mangrove in Tallo River, Makassar. *J. For. Sci.* 11: 19-28.
- Rahman, F. Yulianda, I. Rusmana, and Y. Wardiatno (2018) Fluxes of greenhouse gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from mangrove soil in Tallo River, Makassar. *J Trop Biol* 18: 149 – 158.
- Rahman., Yulianda, F., Rusmana, I., Wardiatno, Y.. 2019. Production ratio of seedlings and density status of mangrove ecosystem in coastal areas of Indonesia. *Advan. Environ. Biol.* 13(6): 13-20. DOI:10.22587/aeb.2019.13.6.3
- Rahman., Maryono, Sigiro, ON. 2023. What is the true carbon fraction value of mangrove biomass?. *Malaysian Journal of Science.* 42(2): 67 – 72.
- Rifqi M, Widigdo B, Wardiatno Y, Mashar A, Adianto W. 2020a. The daily variance of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emmission from shrimp ponds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 1-10. doi:10.1088/1755-1315/420/1/012026.
- Rifqi M, Widigdo B, Wardiatno Y, Mashar A, Adianto W. 2020b. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> flux from the water interface of three shrimp culture technologies. *AACL Bioflux.* 13(2): 605-617.
- Sidik, F., Lovelock, C.E., 2013. CO<sub>2</sub> efflux from shrimp ponds in Indonesia. *PLoS ONE* 8 (6), e66329.
- Siddique, H.R.M., Hossain. M., Chowdhury, K.R.M., 2012. Allometric relationship for estimating above-ground biomass of aegialitis rotundifolia roxb of sundarbans mangrove forest, in Bangladesh. *J For. Res.* 23(1):23-28.
- Witomo, C.M., 2018. Impact of shrimp fish ponds towards to mangrove ecosystem. *Buletin Ilmiah Marina.* 4(2): 75-85.
- Woodroffe, C.D., 1982. Litter production and decomposition in the New Zealand mangrove, *Avicennia marina* var. *resinifera*, New Zealand. *J. Mar. Freshwater. Res.* 16 (2): 170-188
- Yulianda, F., 2007. Ekowisata bahari sebagai alternatif pemanfaatan sumberdaya pesisir berbasis konservasi. Seminar Sains ke-21 Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan. IPB University. Bogor. 10p.
- Yulianti, R.A., Ariastita, P.G., 2012. Arahan pengendalian konversi hutan mangrove menjadi lahan budidaya di kawasan Segara Anakan. *Jurnal Teknik ITS.* 1(1): 1-5.