

## ANALISIS KERENTANAN PERIKANAN TANGKAP AKIBAT PERUBAHAN IKLIM PADA SKALA PROVINSI

### *Province Scaled Fisheries Vulnerability on Climate Change*

Oleh:

Allasay Kitsash Addifisyuka Cintra<sup>1\*</sup>, Isdradjad Setyobudiandi<sup>2</sup>, Achmad Fahrudin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Magister Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Lautan, Departemen Manajemen Sumber daya Perairan, FPIK-IPB

<sup>2</sup>Dosen Departemen Manajemen Sumber daya Perairan, FPIK-IPB

\*Korespondensi: [allsay.cintra@gmail.com](mailto:allsay.cintra@gmail.com)

Diterima: 11 April 2017; Disetujui: 17 Oktober 2017

### ABSTRACT

Fisheries has significant roles for the Indonesian economy. Climate change influences Indonesian fisheries through a range of direct and indirect pathway. A scientific based approach such as vulnerability is needed to determine the risks of climate change and adaptation strategies. Therefore, this study was conducted to analyze the vulnerability of fisheries to climate change on province scaled in Indonesia. Vulnerability index (VI) is obtained with composite index of exposure (EI), sensitivity (SI) and adaptive capacity (ACI) of ten provinces representing the eastern and western parts of Indonesia by using purposive sampling method. Source of data for indices variables were using recorded datas from relevant institutions. The results showed that fisheries status of North Sulawesi (VI = 0.78), Central Sulawesi (VI = 0.72) and Gorontalo (VI = 0.61) were very vulnerable despite the composition of constituent vulnerability index was different. This difference determined the specific policies to be taken to each province to reduce vulnerability. Short term policies are taken to reduce the vulnerability of the most vulnerable areas on Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, and Gorontalo. Medium term policy is carried out in high sensitivity areas, namely Kepulauan Riau, Sulawesi Utara, and Kalimantan Timur and in low adaptive capacity areas such as Jambi, Gorontalo and Bangka Belitung. Long term policy is conducted for areas with high exposure such as Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara and Kalimantan Timur.

**Keywords:** Climate change, fisheries, vulnerability, province

### ABSTRAK

Perikanan tangkap memiliki peranan penting bagi perekonomian Indonesia. Adanya perubahan iklim akan berdampak merugikan secara langsung maupun tidak langsung pada perikanan tangkap Indonesia. Suatu pendekatan ilmiah diperlukan untuk menentukan risiko perubahan iklim dan strategi adaptasi perikanan tangkap, salah satunya adalah analisis kerentanan (*Vulnerability*). Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kerentanan perikanan tangkap akibat perubahan iklim pada skala provinsi di Indonesia. Indeks kerentanan (VI) didapatkan dengan mengkompositkan indeks keterpaparan (EI), kepekaan (SI) dan kapasitas adaptif (ACI) dari sepuluh provinsi yang mewakili bagian timur dan barat Indonesia dengan metode *purposive sampling*. Sumber variabel penyusun indeks variabel menggunakan rekaman data dari instansi terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa provinsi Sulawesi Utara (VI=0,78), Sulawesi Tengah (VI=0,72) dan Gorontalo (VI=0,61) berstatus sangat rentan walaupun komposisi penyusun indeks kerentanannya tidak sama. Perbedaan ini menentukan bahwa jenis kebijakan yang diambil menjadi spesifik pada tiap provinsi untuk mengurangi kerentanan. *Short term policy* diambil untuk

mengurangi dampak di daerah yang paling rentan yaitu Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo. *Medium term policy* dilakukan pada daerah yang kepekaannya tinggi yaitu Kepulauan Riau, Sulawesi Utara, dan Kalimantan Timur dan kapasitas adaptifnya rendah yaitu Jambi, Gorontalo dan Bangka Belitung. *Long term policy* dilakukan untuk daerah yang keterpaparannya tinggi yaitu Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur.

**Kata kunci:** kerentanan, perikanan tangkap, perubahan iklim, provinsi

## PENDAHULUAN

Perikanan tangkap memiliki peranan yang sangat penting bagi perekonomian dan kesejahteraan masyarakat baik dalam skala lokal maupun nasional. Perikanan tangkap di laut merupakan penghasil utama komoditas ikan karena 84,7% ikan tangkapan diperoleh dari jenis usaha perikanan tangkap ini (KKP 2011). Selain itu tingginya ketergantungan masyarakat terhadap sektor perikanan dapat dilihat bahwa sektor perikanan tahun 2013 menyumbang PDB nasional sebesar 2,09-2,34% sepanjang 2010-2014 (KKP 2015).

Perubahan iklim menambah ancaman bagi perikanan tangkap selain faktor manusia (Feely *et al.* 2004; Halpern *et al.* 2008), *overfishing*, perusakan habitat dan polusi (Pitcher dan Cheung 2013). Lautan mengalami perubahan karena emisi rumah kaca akibat aktivitas manusia sejak awal abad 20 (Stocker *et al.* 2013). Lautan mengalami kenaikan suhu, pengasaman (Doney *et al.* 2009), pengurangan oksigen dan berkurangnya tutupan es di daerah kutub (Gattuso *et al.* 2015). Sehingga perubahan iklim akan mempengaruhi produksi perikanan secara langsung maupun tidak langsung (Badjeck 2010; Brander *et al.* 2010).

Dampak perubahan iklim terhadap perikanan dapat dianalisis dengan analisis kerentanan (*Vulnerability*). Kerentanan merupakan suatu tingkatan dimana perubahan iklim mampu merusak atau membahayakan sistem, tergantung pada kepekaan sistem dan kemampuan sistem dalam beradaptasi pada kondisi iklim yang baru (IPCC 2007). Kerentanan (*vulnerability*) sangat dipengaruhi oleh tingkat bahaya yang terjadi, keterpaparan (*exposure*), kepekaan (*sensitivity*), dan kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*). Analisis kerentanan dapat dijadikan dasar ilmiah untuk menentukan risiko perubahan iklim dan strategi adaptasi yang diperlukan untuk mengurangi risiko tersebut.

Penelitian kerentanan perikanan tangkap di mancanegara telah mencakup pada pembahasan skala komunitas pesisir (Islam *et al.* 2014) hingga skala nasional (Allison *et al.* 2009). Namun sayangnya Indonesia belum banyak melakukan penelitian kerentanan perikanan tangkap. Di Indonesia penelitian ini masih berkisar di pulau-pulau kecil (Tahir 2010), jenis

spesies hewan tertentu (Runtuboi 2012), ataupun kerentanan akibat perubahan iklim pada skala desa (KLHK 2015). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kerentanan perikanan tangkap akibat perubahan iklim pada skala provinsi di Indonesia.

## METODE

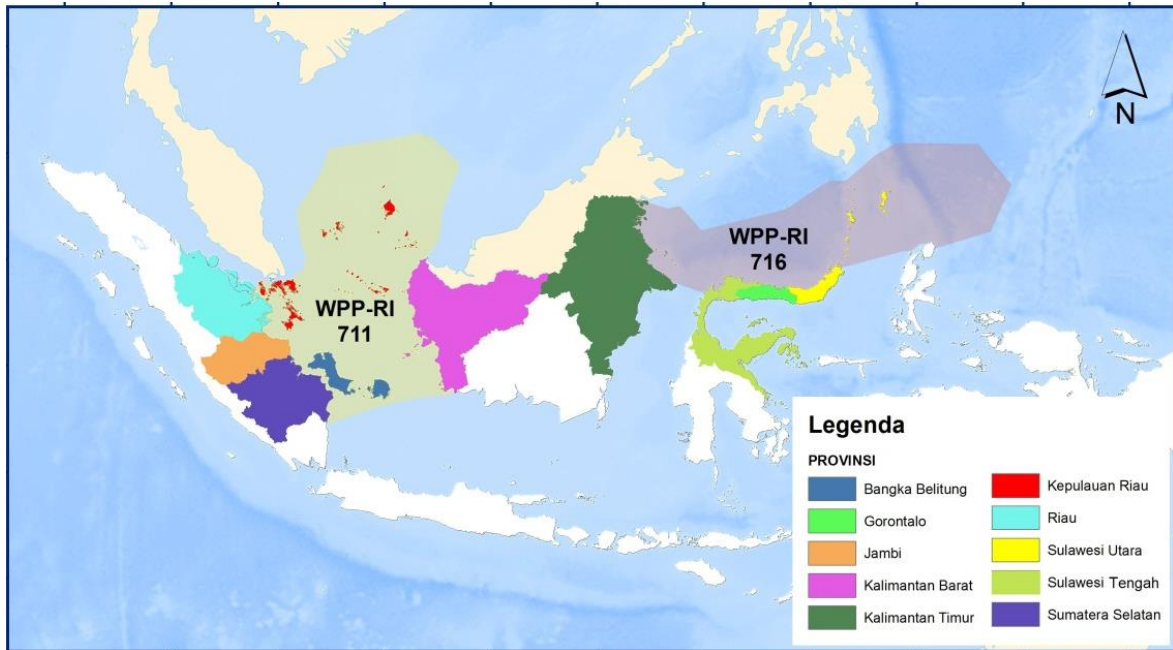
Pengambilan data dilaksanakan pada bulan Juli 2016 hingga Januari 2017. Lokasi penelitian yang dipilih pada skala provinsi karena kebijakan yang terkait sebagian besar diformulasikan dan diimplementasikan pada skala provinsi, dan juga karena sebagian besar data hanya tersedia pada skala ini (mengacu pada Allison *et al.* 2009). Lokasi penelitian berada pada 10 provinsi di WPP 711 (Kepulauan Riau, Kalimantan Barat, Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Jambi dan Riau) dan WPP 716 (Kalimantan Timur, Sulawesi Tengah, Gorontalo dan Sulawesi Utara). Pro-vinsi di WPP 711 dan WPP 716 dipilih untuk mewakili bagian barat dan timur Indonesia (Gambar 1).

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari instansi terkait. Pengambilan data menggunakan metode *purposive sampling* dengan variabel yang diamati adalah kerentanan (*vulnerability*) meliputi keterpaparan (*exposure*), kepekaan (*sensitivity*) dan kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*).

Analisis data dilakukan terhadap keterpaparan (*exposure*), Kepekaan/ Sensitivitas (*Sensitivity*), Kapasitas Adaptif (*Adaptive Capacity*) dan Indeks Kerentanan.

### Keterpaparan (*exposure*)

Keterpaparan dalam konteks penelitian ini adalah tingkat perikanan tangkap terkena dampak perubahan iklim (dimodifikasi dari IPCC 2007). Suhu Permukaan Laut (SPL) dipilih sebagai variabel keterpaparan karena perubahannya memiliki dampak yang sangat berpengaruh terhadap perikanan tangkap baik langsung (Brander 2007; Dulvy *et al.* 2008) maupun tidak langsung (Hoegh-Guldberg 2005, 2007; Lehodey *et al.* 2006). Data suhu permukaan laut bersumber dari *National Centers for*



Gambar 1 Lokasi penelitian analisis kerentanan

*Environmental Prediction, National Weather Service* (NOAA) selama 10 tahun terakhir (2003-2013) karena sudah cukup mewakili bila terjadi perubahan suhu. Data dalam bentuk grid format ASCII dengan skala spasial  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  geografis dan skala temporal harian. Lalu dilakukan analisis temporal untuk melihat tren suhu permukaan laut merata beberapa wilayah tertentu (Syarifullah 2015).

Tahapan perhitungan indeks keterpaparan (EI):

1. Regresi linear SPL untuk mendapatkan nilai koefisien regresi linear per provinsi
2. Standarisasi nilai koefisien regresi linear provinsi

$$EI_i = Sb_i = \frac{b_i - \min b}{\max b - \min b}$$

dengan:

- y : Suhu permukaan laut pada daerah i
- x : Tahun
- a : Intersep
- b : Nilai koefisien regresi suhu permukaan laut
- $b_i$  : Nilai koefisien regresi suhu permukaan laut pada daerah i
- $Sb_i$  : Standarisasi koefisien regresi suhu permukaan laut pada daerah i
- $EI_i$  : Indeks keterpaparan pada daerah i

Nilai akhir indeks keterpaparan adalah 0-1 (nilai 0 menunjukkan keterpaparan rendah dan 1 keterpaparan tinggi).

### Kepekaan/Sensitivitas (*Sensitivity*)

Kepekaan didefinisikan sebagai kondisi intrinsik baik biofisik, sosial dan ekonomi yang dipengaruhi oleh tekanan ekstrinsik (IPCC 2007). Pada penelitian ini, kepekaan perikanan terhadap perubahan iklim adalah hasil tangkapan yang didaratkan dan jumlah nelayan. Asumsinya bahwa besar jumlah nelayan atau hasil tangkapan di suatu kawasan maka semakin besar perubahan iklim berpengaruh pada kegiatan perikanan yang dilakukan nelayan tersebut. Data hasil tangkapan provinsi dari tahun 2005 sampai tahun 2013 dan data jumlah nelayan per provinsi dari 2003 sampai 2012 didapat dari data statistik dari Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.

Indeks kepekaan bernilai dari 0 hingga 1, nilai 0 menunjukkan kepekaan rendah dan 1 kepekaan tinggi. Formulasi indeks kepekaan pada skala provinsi berdasarkan modifikasi dari Allison *et al.* (2009) adalah sebagai berikut:

1. Merata ratakan tiap variabel per provinsi
2. Standarisasi nilai tiap variabel per provinsi
3. Menjumlahkan variabel variabel

$$S_{itotal} = S_{JNi} + S_{HTi}$$

4. Menstandarisasi hasil penjumlahan dua variabel untuk menghasilkan indeks kepekaan

$$SI_i = SS_{itotal} = \frac{S_{itotal} - \min S_{total}}{\max S_{total} - \min S_{total}}$$

dengan:

- $S_{i\text{total}}$  : Kepekaan total pada daerah i  
 $S_{JNi}$  : Standarisasi jumlah nelayan pada daerah i  
 $S_{HTi}$  : Standarisasi hasil tangkapan pada daerah i  
 $SS_{i\text{total}}$  : Standarisasi kepekaan total pada daerah i  
 $SI_i$  : Indeks kepekaan pada daerah i

### Kapasitas Adaptif (*Adaptive Capacity*)

Menurut Luers (2005), kapasitas adaptif/ daya adaptasi merujuk pada potensi untuk beradaptasi dan mengurangi kerentanan suatu sistem, sedangkan menurut Smith (2000) adalah penyesuaian ekologi, sosial dan ekonomi suatu sistem dalam merespon iklim yang seka-rang ataupun akan datang. Variabel yang dipilih untuk kapasitas adaptif terdiri dari mangrove, terumbu karang, tempat pendaratan ikan (TPI), penyuluh perikanan dan Dana Alokasi Khusus (DAK) perikanan tiap provinsi.

Data luasan mangrove dan luasan terumbu karang masing masing per provinsi pada tahun 2015, data jumlah tempat pendaratan ikan per provinsi tahun 2014, data jumlah penyuluh perikanan per provinsi tahun 2008 hingga 2013 dan data dana alokasi khusus per provinsi tahun 2011 hingga 2013 didapat dari data statistik dari Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia.

Indeks kapasitas adaptif bernilai dari 0 hingga 1, nilai 0 menunjukkan kapasitas adaptif dan 1 kapasitas adaptif. Indeks kapasitas adaptif (AC) pada skala provinsi diformulasikan berdasarkan modifikasi dari Allison *et al.* (2009) sebagai berikut:

1. Merata ratakan tiap variabel per provinsi
2. Standarisasi nilai tiap variabel per provinsi
3. Menjumlahkan variabel variabel

$$AC_{i\text{total}} = S_{Mi} + S_{TKi} + S_{TPIi} + S_{JPPi} + S_{DAKi}$$

4. Menstandarisasi hasil penjumlahan dua variabel untuk menghasilkan indeks kepekaan

$$ACI_i = SAC_{i\text{total}} = \frac{AC_{i\text{total}} - \min AC_{total}}{\max AC_{total} - \min AC_{total}}$$

dengan:

- $AC_{i\text{total}}$  : Kapasitas adaptif total pada daerah i  
 $S_{Mi}$  : Standarisasi luas mangrove pada daerah i  
 $S_{TKi}$  : Standarisasi luas terumbu karang pada daerah i  
 $S_{TPIi}$  : Standarisasi jumlah tempat pendaratan ikan pada daerah i

- $S_{JPPi}$  : Standarisasi jumlah penyuluh perikanan pada daerah i  
 $S_{DAKi}$  : Standarisasi dana alokasi khusus pada daerah i  
 $SAC_{i\text{total}}$  : Standarisasi kapasitas adaptif total pada daerah i  
 $ACI_i$  : Indeks kapasitas adaptif pada daerah i

Berbeda dengan keterpaparan dan kepekaan, kapasitas adaptif memiliki perbandingan terbalik dengan kerentanan sehingga nilai indeks kapasitas adaptif harus disamakan dengan dua indeks lainnya. Nilai indeks kapasitas adaptif yang dimasukkan dalam perhitungan kerentanan adalah:

$$AC_{i\text{Inverted}} = 1 - ACI_i$$

dengan:

- $AC_{i\text{Inverted}}$  : Indeks kapasitas adaptif yang dimasukkan dalam perhitungan kerentanan pada daerah i.  
 $ACI_i$  : Indeks kapasitas adaptif pada daerah i

### Indeks Kerentanan

Turner *et al.* (2003) menjelaskan bahwa ketiga dimensi (E, S, dan AC) dapat dikombinasikan dengan beberapa cara, dimana bentuk hubungan ketiganya sangat tergantung oleh konteksnya. Dalam penyusunan indeks kerentanan terdapat dua hal yang menjadi pertimbangan (Allison *et al.* 2009). Pertama adalah pembobotan dari E, S dan AC. Menurut Bruggio (1995) metode yang paling sederhana adalah dengan mengkombinasikan subindeks dimensi tersebut dengan bobot yang sama. Alternatif lain adalah dengan memberikan bobot yang berbeda beda pada masing masing subindeks dengan mengasumsikan bahwa tiap subindeks memberikan dampak yang berbeda pada kerentanan. Namun hal ini harus memiliki landasan apriori atau statistika yang kuat. Penelitian ini menggunakan dua metode dalam mengkombinasikan E, S dan AC menjadi indeks komposit yang mengacu pada Allison *et al.* (2009) yaitu tanpa pembobotan dan dengan pembobotan (setengah AC, seperempat E dan seperempat S). Hasil keduanya dibandingkan untuk mengetahui metode yang terbaik.

Selanjutnya dalam penyusunan indeks kerentanan mempertimbangkan penghitungannya, yaitu melalui pendekatan *additive* (dirata-rata) atau *multiplicative*. Villa dan McLeod (2002) menyebutkan bahwa apabila komponen yang saling berinteraksi, maka hubungan antara sub indikator atau parameter akan lebih sesuai jika menggunakan perkalian (*multiplicative*), sedangkan komponen yang tidak berin-

teraksi lebih sesuai menggunakan penjumlahan (*additive*). Namun dijelaskan pula pada pendekatan *multiplicative* lebih sensitif terhadap nilai ekstrim yang membuatnya sulit untuk diaplikasikan pada kondisi banyak data yang tidak lengkap atau dengan ketidakpastiaan yang tinggi. Hajkowicz (2006) dalam Allison *et al.* (2009) menjelaskan bahwa dengan menggunakan pendekatan *additive* nilai akhir kerentanan bergantung pada ketiga komponen (E, S dan AC) masing masing secara berimbang, sedangkan pada pendekatan *multiplicative* komponen yang memiliki nilai rendah memiliki kemungkinan kecil berperan pada nilai akhir kerentanan. Berdasarkan pertimbangan di atas, maka pada penelitian ini menggunakan *additive*, dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan pertama (tanpa pembobotan)

$$VI = \frac{EI+SI+ACI}{3}$$

Persamaan kedua (dengan pembobotan)

$$VI = \frac{1}{4}EI + \frac{1}{4}SI + \frac{1}{2}ACI$$

Setelah itu ditentukan tingkat kerentanannya. Penentuan tingkat kerentanan mengacu pada Doukakis (2005) membagi menjadi empat bagian berdasarkan kuartil yaitu rendah-sedang-tinggi-sangat tinggi.

## HASIL

### Keterpaparan

Hasil pengolahan menunjukkan indeks keterpaparan terbesar berada di Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur (Tabel 1) yang ketiganya terletak pada WPP 716 di daerah timur Indonesia. Selanjutnya yang paling rendah di Bangka Belitung, Sumatera Selatan, Jambi, Kalimantan Barat dan Kepulauan Riau, yang terletak pada WPP 711 di daerah Indonesia sebelah barat.

Tabel 1 Indeks keterpaparan (EI) perikanan tangkap skala provinsi

Provinsi	EI	Status Keterpaparan
Sulawesi Tengah	1,00	Sangat Tinggi
Sulawesi Utara	0,91	Sangat Tinggi
Kalimantan Timur	0,75	Sangat Tinggi
Gorontalo	0,73	Tinggi
Riau	0,15	Tinggi
Bangka Belitung	0,09	Rendah
Sumatera Selatan	0,09	Rendah
Jambi	0,09	Rendah
Kalimantan Barat	0,07	Rendah
Kepulauan Riau	0,00	Rendah

### Kepekaan

Hasil analisis kepekaan terdiri dari jumlah nelayan dan hasil tangkapan. Berdasarkan analisis beberapa provinsi dengan jumlah nelayan paling tinggi adalah Kalimantan Timur, Kepulauan Riau dan Sulawesi Tengah (Tabel 2). Adapun yang terendah adalah Jambi, Gorontalo dan Sumatera Selatan. Provinsi dengan hasil tangkapan tertinggi adalah Sulawesi Utara. Provinsi dengan hasil tangkapan terendah adalah Jambi, Gorontalo dan Sumatera Selatan (Tabel 2). Kombinasi tanpa pembobotan dari dua variabel menghasilkan indeks kepekaan (SI). Provinsi dengan status kepekaan tertinggi yakni Kepulauan Riau, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur. Selanjutnya provinsi dengan status kepekaan rendah yakni Jambi, Gorontalo dan Sumatera Selatan.

### Kemampuan Adaptasi

Provinsi dengan kemampuan adaptasi paling tinggi adalah Kalimantan Barat, Kalimantan Timur dan Riau (Tabel 3). Adapun yang masuk dalam kategori sangat rendah adalah Jambi diikuti Gorontalo dan Bangka Belitung.

### Kerentanan

Berdasarkan hasil analisis indeks kerentanan (VI) dengan pembobotan dan tanpa pembobotan menghasilkan perbedaan pada urutan/ranking VI (Tabel 4). Status kerentanan perikanan tangkap menggunakan dua metode tersebut berbeda pada provinsi Jambi dan Kalimantan Timur. Meskipun begitu kedua nilai VI (dengan dan tanpa pembobotan) sangat bekorrelasi ( $r$  Pearson = 0,929). Sehingga pada penelitian ini menitik-beratkan pada metode tanpa pembobotan yang lebih sederhana. Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah termasuk dalam kuartil atas kerentanan. Provinsi yang termasuk dalam kuartil bawah kerentanan adalah Kalimantan Barat, Sumatera Selatan dan Riau.

Tabel 2 Indeks kepekaan (SI) perikanan tangkap skala provinsi

Provinsi	Variabel S		S Total	SI	Status Kepekaan
	Jumlah Nelayan	Hasil Tangkapan			
Kepulauan Riau	0,76	0,83	1,59	1,00	Sangat tinggi
Sulawesi Utara	0,40	1,00	1,40	0,88	Sangat tinggi
Kalimantan Timur	1,00	0,33	1,33	0,84	Sangat tinggi
Sulawesi Tengah	0,61	0,64	1,25	0,78	Tinggi
Bangka Belitung	0,44	0,64	1,09	0,68	Tinggi
Riau	0,24	0,28	0,53	0,33	Sedang
Kalimantan Barat	0,28	0,21	0,49	0,31	Sedang
Sumatera Selatan	0,14	0,12	0,26	0,17	Rendah
Gorontalo	0,06	0,12	0,17	0,11	Rendah
Jambi	0,00	0,00	0,00	0,00	Rendah

Tabel 3 Indeks kapasitas adaptif (ACI) perikanan tangkap skala provinsi

Provinsi	Variabel AC					AC Total	ACI	Status Kapasitas Adaptif
	Luas Mangrove	Luas Terumbu Karang	Tempat Pend. Ikan	Jumlah Penyuluh Perikanan	Dana Alokasi Khusus			
Kalimantan Barat	0,67	0,03	1,00	0,59	0,56	2,85	1,00	Sangat tinggi
Kalimantan Timur	0,82	0,30	0,00	0,53	0,94	2,58	0,89	Sangat tinggi
Riau	1,00	0,00	0,04	0,49	1,00	2,52	0,86	Sangat tinggi
Kepulauan Riau	0,22	1,00	0,13	0,17	0,85	2,36	0,79	Tinggi
Sumatera Selatan	0,69	0,00	0,02	1,00	0,56	2,27	0,76	Tinggi
Sulawesi Tengah	0,15	0,70	0,02	0,59	0,54	1,99	0,63	Sedang
Sulawesi Utara	0,00	0,17	0,20	0,73	0,49	1,59	0,46	Sedang
Bangka Belitung	0,26	0,11	0,18	0,00	0,57	1,11	0,26	Rendah
Gorontalo	0,00	0,09	0,02	0,23	0,22	0,55	0,02	Rendah
Jambi	0,01	0,00	0,04	0,46	0,00	0,51	0,00	Rendah

Tabel 4 Indeks kerentanan (VI) perikanan tangkap skala provinsi

No.	Provinsi	EI	SI	ACI	Tanpa Pembobotan		Dengan Pembobotan	
					VI	Status Kerentanan	VI	Status Kerentanan
1.	Sulawesi Utara	0,91	0,88	0,46	0,78	Sangat Tinggi	0,72 (1)*	Sangat Tinggi
2.	Sulawesi Tengah	1,00	0,78	0,63	0,72	Sangat Tinggi	0,63 (3)	Sangat Tinggi
3.	Gorontalo	0,73	0,11	0,02	0,61	Sangat Tinggi	0,70 (2)	Sangat Tinggi
4.	Kalimantan Timur	0,75	0,84	0,89	0,57	Tinggi	0,45 (6)	Sedang
5.	Bangka Belitung	0,09	0,68	0,26	0,51	Tinggi	0,57 (4)	Tinggi
6.	Kepulauan Riau	0,00	1,00	0,79	0,40	Sedang	0,35 (7)	Sedang
7.	Jambi	0,09	0,00	0,00	0,36	Sedang	0,52 (5)	Tinggi
8.	Riau	0,15	0,33	0,86	0,21	Rendah	0,19 (8)	Rendah
9.	Sumatera Selatan	0,09	0,17	0,76	0,17	Rendah	0,19 (9)	Rendah
10.	Kalimantan Barat	0,07	0,31	1,00	0,13	Rendah	0,10 (10)	Rendah

\*angka dalam kurung merupakan urutan VI dengan perhitungan menggunakan pembobotan.

## PEMBAHASAN

Penelitian ini sebagai suatu pionir dalam membentuk *framework* awal untuk menduga kerentanan suatu sistem yaitu perikanan tangkap akibat perubahan iklim pada skala provinsi. Pemahaman mengenai kombinasi komponen yang mempengaruhi kerentanan perikanan

tangkap memberi suatu titik awal untuk penelitian selanjutnya dan untuk adaptasi dan mitigasi perikanan tangkap terhadap perubahan iklim.

Penelitian ini memetakan status keterpaparan dari provinsi yang diamati, meski belum secara mendetail menjelaskan seberapa

besar kenaikan suhu permukaan lautnya. Status keterpaparan yang sangat tinggi terjadi provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur yang ketiga provinsi tersebut perairannya berhubungan dengan Selat Makassar. Menurut Habibie dan Nuraeni (2014) jalur yang dilalui Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) seperti Selat Makassa terindikasi mengalami tren SPL meningkat. Daerah lain yang terletak dekat Selat Makassar yaitu Gorontalo juga memiliki nilai keterpaparan yang tinggi, namun masuk dalam status keterpaparan tinggi.

Keterpaparan terhadap suhu permukaan laut harus dipertimbangkan sebagai ancaman yang serius terhadap kegiatan perikanan tangkap. Pengaruh suhu berdampak pada sumberdaya perikanan melewati beberapa aspek. Perubahan suhu mempengaruhi perubahan struktur komunitas plankton yang mengakibatkan *mismatch* waktu ekologi yang berhubungan dengan *survival* juvenil ikan yang menyebabkan turunnya populasi ikan (Ji *et al.* 2010). Adapun secara fisiologis, sumber daya perikanan sangat bergantung pada suhu lingkungan terutama ikan-ikan di daerah tropis yang memiliki rentang toleransi suhu yang sempit. Peningkatan suhu perairan akan direspon dengan perubahan distribusi ikan ke daerah yang suhunya lebih cocok (Cheung dan Pauly 2016). Misalnya dengan bermigrasi ke daerah di posisi lintang tinggi atau ke perairan yang lebih dalam (Nye *et al.* 2009). Hal ini akan menyebabkan berkurangnya spesies tangkapan (Cheung *et al.* 2009) dan mempengaruhi kelimpahan dan distribusi ikan (Perry *et al.* 2005; Dulvy *et al.* 2009). Indonesia diramalkan akan mengalami penurunan hasil tangkapan potensial di atas 20% pada tahun 2055 (Cheung *et al.* 2010).

Kepekaan perikanan tangkap terhadap perubahan iklim direpresentasikan dengan kombinasi dari jumlah nelayan dan hasil tangkapan. Nelayan dan hasil tangkapan merupakan suatu variabel yang paling pertama terkena dampak perubahan iklim. Peningkatan suhu permukaan laut akan mengakibatkan pergeseran pola distribusi, pola reproduksi ikan tangkapan yang akan meningkatkan biaya operasional penangkapan (Sumaila *et al.* 2011), kapal, bahan bakar, alat tangkap yang lebih sesuai. Adanya perubahan tersebut akan mempengaruhi jumlah nelayan dan hasil tangkapan. Nelayan akan beralih mata pencaharian dan hasil tangkapan akan berkurang. Hasil analisis SI menunjukkan bahwa perikanan tangkap yang terkena dampak perubahan iklim paling besar adalah Kepulauan Riau, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur.

Kapasitas adaptif tersusun dari lima variabel yang mewakili aset alam, fisik, finansial

dan sumber daya manusia (Hughes *et al.* 2012). Luasan mangrove dan luasan terumbu karang adalah aset alami yang memberikan manfaat ekologis pada perikanan tangkap. Kedua ekosistem ini memegang peranan penting dalam kelanjutan produktivitas perikanan *inshore* dan *offshore*. Keduanya berkontribusi sebagai penyumbang nutrient dan sumber makanan bagi detritivor, sebagai tempat perlindungan, pemijahan dan pengasuhan berbagai biota (ikan, udang), dan memelihara keseimbangan ekologi (Brander *et al.* 2012; Faunce dan Serafy 2006). Besarnya nilai kedua variabel ini menunjukkan bahwa perikanan tangkap di provinsi tersebut akan memiliki suatu perlindungan alami dari perubahan iklim. Luasan mangrove terbesar dimiliki Riau, sedangkan luas terumbu karang terbesar dimiliki oleh Kepulauan Riau.

Variabel lain yang merupakan aset adalah tempat pendaratan ikan yaitu aset fisik (*man-made*) dan Dana Alokasi Khusus (DAK) bidang kelautan dan perikanan yaitu aset finansial untuk membantu mendanai kegiatan pembangunan fisik bidang kelautan dan perikanan. Provinsi dengan jumlah tempat pendaratan ikan terbanyak adalah Kalimantan Barat, sedangkan untuk nilai DAK tertinggi adalah provinsi Riau. Variabel penyuluh perikanan merupakan salah satu usaha dari pihak pemerintah untuk meningkatkan sumber daya manusia nelayan, besaran variabel ini menunjukkan bahwa adanya *information sharing* dalam kegiatan perikanan tangkap untuk menghadapi perubahan iklim. Provinsi dengan jumlah penyuluh perikanan terbanyak adalah Sumatera Selatan. Komposit dari kelima variabel tersebut membentuk indeks kapasitas adaptif (ACI), provinsi dengan ACI tertinggi adalah Kalimantan Barat, Kalimantan Timur dan Riau. Tingginya nilai ACI menunjukkan bahwa perikanan tangkap di provinsi tersebut memiliki kemampuan dalam merespon dan mengurangi dampak dari perubahan iklim.

Kombinasi ketiga subindeks mempengaruhi kerentanan perikanan tangkap dengan beberapa cara. Provinsi yang kurang mampu beradaptasi belum tentu menjadi daerah yang paling rentan, dikarenakan pengaruh dari rendahnya keterpaparan ataupun rendahnya kepekaannya, misal Provinsi Jambi. Hal ini berarti perubahan iklim memiliki dampak yang tidak sama pada tiap provinsi (Islam *et al.* 2014). Namun di provinsi yang keterpaparannya tinggi disertai dengan tingginya kepekaan dan rendahnya kapasitas adaptif akan menghasilkan kerentanan yang tinggi, misal Gorontalo.

Provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Gorontalo memiliki status kerentanan sangat tinggi, namun memiliki perbedaan kom-

binasi subindeks penyusunnya. Sulawesi Utara dan Sulawesi Tengah menghadapi kombinasi dari terkena kenaikan SPL, besarnya jumlah nelayan yang terkena dampak dan acuan berkurangnya hasil tangkapan serta kemampuan beradaptasi yang sedang. Gorontalo juga menghadapi kenaikan SPL namun tidak sebesar kedua provinsi tersebut, dan ancamannya terhadap jumlah nelayan dan hasil tangkapan rendah, namun kemampuan beradaptasi sangat rendah. Pada kategori kerentanan rendah, Riau meskipun memiliki keterpaparan yang tinggi terhadap kenaikan SPL namun dikompensasi dengan tingginya kemampuan beradaptasi terhadap perubahan iklim baik secara finansial, ekologis maupun infrastruktur. Sumatera selatan dan Kalimantan Barat memiliki profil penyusun kerentanan yang hampir mirip yaitu rendahnya keterpaparan dan kemampuan adaptasi yang sangat tinggi. Perbedaan ini akan menentukan jenis kebijakan yang diambil untuk mengurangi kerentanan.

Perbedaan dalam penyusunan kerentanan menentukan kebijakan khusus berdasarkan perbedaan dimensi dari kerentanan tersebut. Misalnya suatu kebijakan khusus diambil untuk mengurangi keterpaparan akan berbeda dengan kebijakan untuk membangun kemampuan beradaptasi. Cinner *et al.* (2012) menjelaskan beberapa kebijakan untuk mengurangi kerentanan, i) *Short term policy* (kurang dari 1 tahun), kebijakan yang ditekankan pada pengurangan dampak di daerah yang paling rentan ii) *Medium term policy* (kurang dari 5 tahun), kebijakan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi dan mengurangi kepekaan dan iii) *Long term policy*, mengurangi keterpaparan dengan cara mitigasi perubahan iklim. Ketiga kebijakan tersebut menurut Cinner *et al.* (2012) terbagi atas skala lokal dan skala nasional. Berdasarkan penelitian ini skala lokal dapat disamakan dengan skala provinsi.

Beberapa contoh *short term policy* pada skala lokal yang bisa dilakukan adalah peningkatan sistem informasi perkiraan cuaca untuk melaut, berpindah daerah penangkapan, dan penambahan atau modifikasi alat penangkapan ikan. Kebijakan khususnya ini dapat diterapkan pada provinsi Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo yang berstatus sangat rentan. Pada skala nasional contohnya pemberian pinjaman tanpa bunga dan subsidi bagi nelayan.

Tindakan pada *medium term policy* misalnya memperkuat komunitas lokal dalam mengatur sumber daya perikanan dan ekosistem, dan perbaikan dan pembangunan infrastruktur kegiatan perikanan tangkap. Provinsi yang diprioritaskan untuk menerapkan kebij-

kan ini adalah provinsi yang memiliki kepekaan yang tinggi, yaitu kepulauan Riau, Sulawesi Utara, dan Kalimantan Timur dan yang memiliki kapasitas adaptif rendah yaitu Jambi, Gorontalo dan Bangka Belitung. Pada skala nasional, melakukan investasi di *early warning system* untuk mengurangi keterpaparan dari bahaya cuaca buruk, melakukan perencanaan adaptasi (contohnya *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap* di Sektor Kelautan dan Perikanan) dan investasi dalam pembangunan infrastruktur.

*Long term policy* pada skala lokal yaitu memberlakukan kawasan preservasi atau *marine protected area* dan melakukan sosialisasi, pendidikan, dan pembentukan komunitas yang menekankan keberlanjutan ekologi lingkungan pesisir dan laut. Berdasarkan penelitian ini kebijakan ini ditekankan pada provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur. Pada skala nasional yaitu melakukan investasi di bidang energi alternatif untuk mengurangi pemanasan global, investasi pada pendidikan, keterampilan dan pengetahuan pada nelayan dan peningkatan kualitas kerja pemerintahan di bidang yang mampu pada perikanan, kelautan dan lingkungan hidup.

Sebagai suatu studi awalan dalam menyajikan kerangka untuk menduga kerentanan perikanan tangkap akibat perubahan iklim, terdapat banyak limitasi dan ruang untuk meningkatkan penelitian di bidang ini di masa mendatang, terutama dalam variabel penyusun indeks maupun formulasi model indeks kerentanan perikanan tangkap. Pada analisis ini pengaruh perubahan iklim terhadap perikanan tangkap hanya diwakili oleh satu variabel yaitu SPL. Beberapa penelitian menyarankan penambahan variabel yang lebih spesifik mempengaruhi perikanan tangkap misalnya intensitas kejadian alam ekstrem (ombak/badai) (Islam *et al.* 2014), radiasi ultraviolet (UV), klorofil, arus permukaan, kecepatan angin, *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) (Cinner *et al.* 2012), dan produksi primer (Allison *et al.* 2009).

Kesulitan dalam pengumpulan data juga mempengaruhi penentuan variabel, misalnya variabel pendidikan nelayan akan mampu menjelaskan kondisi sumber daya manusia nelayan, dan juga variabel ekologis lain yaitu padang lamun. Ketidaksediaan data tersebut dalam skala provinsi maka tidak diikutsertakan dalam variabel. Selain itu diperlukan suatu studi untuk menentukan jenis sumber daya perikanan tangkap yang dipengaruhi oleh suhu permukaan laut. Pada penelitian ini sumber daya perikanan meliputi semua jenis tangkapan laut berdasarkan pengertian UU No 31 tahun 2004 tentang perikanan. Berdasarkan Westernhagen



dan Schanck (2001) perubahan suhu tidak selalu berakibat sama pada tiap stok ikan, juga berbeda pada jenis organisme lainnya, sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dipisahkan kerentanan pada tiap jenis hasil tangkapan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini kesimpulan yang bisa diambil adalah sebagai berikut:

- Indeks kerentanan didapat dengan mengkombinasikan subs indeks keterpaparan (EI), kepekaan (SI) dan kapasitas adaptif (ACI). Status kerentanan perikanan tangkap sangat tinggi pada Sulawesi Utara (VI= 0,78), Sulawesi Tengah (VI=0,72) dan Gorontalo (VI=0,61). Meskipun memiliki status kerentanan yang sama namun komposisi subindeks penyusunnya berbeda.
- Sulawesi Utara memiliki keterpaparan dan kepekaan yang sangat tinggi dan kapasitas adaptif yang sedang. Sedangkan Gorontalo memiliki keterpaparan yang tinggi, kepekaan dan kapasitas adaptif yang rendah. Perbedaan ini akan berpengaruh pada strategi kebijakan yang diambil.
- Strategi kebijakan terbagi atas *Short term policy* yaitu kebijakan yang ditekankan pada pengurangan dampak di daerah yang paling rentan terutama di provinsi Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Gorontalo, *Medium term policy* yaitu kebijakan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terutama di provinsi Jambi, Gorontalo dan Bangka Belitung dan mengurangi kepekaan yaitu di Kepulauan Riau, Sulawesi Utara, dan Kalimantan Timur dan *Long term policy* yaitu mengurangi keterpaparan dengan cara mitigasi perubahan iklim terutama di provinsi Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara dan Kalimantan Timur

## SARAN

Dalam pengembangan lebih lanjut penelitian ini, beberapa variabel perlu ditambahkan. Seperti intensitas kejadian alam ekstrim (ombak/badai), radiasi ultraviolet (UV), klorofil, arus permukaan, kecepatan angin, *Photosynthetically Active Radiation* (PAR), produksi primer, luasan padang lamun dan pendidikan nelayan. Untuk penelitian selanjutnya disarankan melakukan pemisahan kerentanan per jenis sumber daya ikan untuk mengetahui dampak perubahan iklim pada jenis ikan secara mendetail.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adger WN. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change Journal*. 16(3): 268-281.
- Allison EH, Perry AL, Badjeck MC, Adger WN, Brown K, Conway D, Halls AS, Pilling GM, Reynold JD, Andrew JD. 2009. Vulnerability of National Economies to the Impact of Climate Change on Fisheries. *Fish and Fisheries Journal Compilation*. 10(2): 173-196.
- Badjeck MC, Allison EH, Halls AS, Dulvy NK. 2010. Impacts of Climate Variability and Change on Fishery-Based Livelihoods. *Marine Policy*. 34: 375-383.
- Brander K. 2007. Global Fish Production and Climate Change. *Proceeding of the National Academy of Sciences*. 104: 19709-19714.
- Brander K, Jennings S. 2010. Predicting the Effects of Climate Change on Marine Communities and the Consequences for Fisheries. *Journal of Marine Systems*. 79: 418-426.
- Brander LM, Wagtendonk AK, Hussain SS, McVittie A, Verburg PH, de Groot R, Van der Ploeg S. 2012. Ecosystem Service Values for Mangrove in Southeast Asia: A Meta-Analysis and Value Transfer Application. *Ecosystem Services*. 1: 62-69.
- Bruguglio L. 1995. Small Islands State and Their Economic Vulnerabilities. *World Development* 23: 1615-1632.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Zeller D, Pauly D. 2009. Projecting Global Marine Biodiversity Impacts Under Climate Change Scenarios. *Fish Fish*. 10: 235-251.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Zeller D, Pauly D. 2010. Large Scale Distribution of Maximum Fisheries Catch Potential on the Global Ocean Under Climate Change. *Global Change Biology*. 16: 24-35.
- Cheung WWL, Pauly D. 2016. Impacts and Effects of Ocean Warming on Marine Fishes. Di dalam: Laffoley D, dan Baxter JM, editor. *Explaining Ocean Warming: Causes, scale, Effects and Consequences*. Gland (CH): IUCN. hlm 239-253.
- Cinner JE, McClanahan TT, Graham NAJ, Daw TM, Maina J, Stead SS, Wamukota A, Brown K, Bodin O. 2012. Vulnerability of

- Coastal Communities to Key Impacts of Climate Change on Coral Reef Fisheries. *Global Environmental Change*. 22: 12-20.
- Doney SC, Fabry VJ, Feely RA, Kleypas JA. 2009. Ocean Acidification: The Other CO<sub>2</sub> Problem. *Annual Review of Marine Science*. 1: 169–192.
- Doukakis E. 2005. Coastal Vulnerability and Risk Parameter. *European Water*. 11(12): 3-7.
- Dulvy NK, Rogers SI, Jennings S, Stelzenmuller V, Dye SR, Skjoldal HR. 2008. Climate Change and Deepening of the North Sea Fish Assemblage: A Biotic Indicator of Regional Warming. *Journal of Applied Ecology*. 45: 1029–1039.
- Dulvy NK, Hyde K, Heymans JJ, Chassot E, Platt T, Sherman K. 2009. *Climate Change, Ecosystem Variability and Fisheries Productivity*. In: *Remote Sensing in Fisheries and Aquaculture: The Societal Benefits*. T. Platt, M.-H. Forget dan V. Stuart, editor. Dartmouth: International Ocean Colour Coordinating Group.
- Faunce CH, Serafy JE. 2006. Mangrove as Fish Habitat: 50 Years of Field Studies. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 21: 1-16.
- Feely RA, Sabine CL, Lee K, Berelson W, Kleypas J, Fabry VJ. 2004. Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans. *Science*. 305(5682): 362.
- Gattuso JP, Magnan A, Billé R, Cheung WWL, Howes E, Joos F, Allemand D, Bopp L, Cooley S, Eakin C. 2015. Contrasting Futures for Ocean and Society From Different Anthropogenic CO<sub>2</sub> Emissions Scenarios. *Science*. 349: 4722.
- Habibie MN, Nuraeni TA. 2014. Karakteristik dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut di Indonesia Periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. 15(1): 37-49.
- Halpern BS, Walbridge S, Selkoe KA, Kappel CV, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno JF, Casey KS, Ebert E, Fox HE. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystem. *Science*. 319: 948-952.
- Hoegh-Guldberg O. 2005. Low Coral Cover in a High-CO<sub>2</sub> World. *Journal of Geophysical Research C: Oceans*. 110: 1–11.
- Hoegh-Guldberg, O, Mumby PJ, Hooten AJ. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change And Ocean Acidification. *Science*. 318: 1737–1742.
- Hughes S, You A, Max L, Petrovic N, Daveport F, Marshall M, McClanahan TR, Allison EH, Cinner JE. 2012. A Framework to Assess National Level Vulnerability from the Perspective of Food Security: The Case of Coral Reef Fisheries. *Environmental Science and Policy*. 23: 95-108.
- [IPCC] The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden, Hanson CE, editor. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Islam MM, Sallu S, Hubacek K, Paavola. 2014. Vulnerability of Fishery-Based Livelihoods to the Impacts of Climate Variability and Change: Insights from Coastal Bangladesh. *Reg Environ Change*. 14: 281-294.
- Ji R. 2010. Marine Plankton Phenology and Life History in Changing Climate: Current Research and Future Direction. *J. Plankton Res.* 32: 1355-1368.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2011. *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2011*. Jakarta: Pusat Data Statistik dan Informasi.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2015*. Jakarta (ID): Pusat Data Statistik dan Informasi.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *SIDIK Sistem Informasi Data Indeks Kerentanan*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Lehodey P, Alheit J, Barange M. 2006. Climate Variability, Fish and Fisheries. *Journal of Climate*. 19: 5009-5030.
- Luers A. 2005. The Surface of Vulnerability: An Analytical Framework for Examining Environmental Change. *Global Environmental Change*. 15: 214-223.
- Nye JA, Link JS, Hare JA, Overholtz WJ. 2009. Changing Spatial Distribution of Fish Stocks in Relation to Climate and Population Size on the Northeast United States Continental Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 393: 111–129.
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD. 2005. Climate Change and Distribution Shifts in

- Marine Fishes. *Science*. 308: 1912–1915.
- Pitcher TJ, Cheung WWL. 2013. Fisheries: Hope or Despair?. *Marine Pollution Bulletin*. 74: 506-516.
- Runtuboi F. 2012. Analisis Kerentanan Populasi Penyu Belimbing (*Dermochelys coriacea vrandelli* 1761) di Pantai Jamursba Mediaman Wermon sebagai indikator Keberlanjutan Kawasan Konservasi Laut Daerah A-bun Kabupaten Tambrau Papua Barat. [Tesis]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor. Program Pascasarjana.
- Smith K, Barrett CB, Box PW. 2000. Participatory Risk Mapping for Targeting Research and Assistance: With an Example from East African Pastoralists. *World Development*. 28: 1945–1959.
- Stocker T, Qin D, Plattner G, Tignor M, Allen S, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex B, Midgley B. 2013. *IPCC, 2013: Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Sumaila UR, Cheung WWL, Lam WYL, Pauly D, Herrick S. 2011. Climate Change Impacts on the Biophysics and Economics of World Fisheries. [Ulasan]. *Nature Climate Change*. 1: 449-456.
- Syaifullah MD. 2015. Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia dan Hubungannya dengan Pemanasan Global. *Jurnal Segara*. 11(2): 103-113.
- Tahir A. 2010. Formulasi Indeks Kerentanan Lingkungan Pulau-Pulau Kecil kasus Pulau Kusu Kota Batam, Pulau Barang Lompo Kota Makasar dan Pulau Saonek Kabupaten Raja Ampat. [Disertasi]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor. Program Pascasarjana
- Turner BL, Kasperson RE, Matsone PA. 2003. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy Of Sciences of the United States of America*. 100: 8074–8079.
- Villa F, McLeod H. 2002. Environmental Vulnerability Indicator for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Application. *Environmental Management*. 29: 335-348.
- Westernhagen HV, Schanck D. 2001. The Effect of Climate Change on Fish Population. Di dalam: Lozen, Grassl, dan Hupfer, editor. *Climate of the 21st Century: Change and Risks*. Hamburg (DE): Wissenschaftliche Auswertungen.