

Tersedia online di: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/bawal>

e-mail: bawal.puslitbangkan@gmail.com

BAWAL WIDYA RISET PERIKANAN TANGKAP

Volume 13 Nomor 2 Agustus 2021

p-ISSN: 1907-8226

e-ISSN: 2502-6410

Nomor Akreditasi Kementerian RISTEK-BRIN: 148/M/KPT/2020



PERKEMBANGAN KONDISI SUMBERDAYA IKAN KARANG DAN EKOSISTEM TERUMBU KARANG DI PERAIRAN SUMATERA BARAT SEBAGAI DAMPAK PEMBENTUKAN KAWASAN KONSERVASI PERAIRAN TWPP. PIEH

DEVELOPMENT OF CONDITIONS OF REEF FISH RESOURCES AND CORAL REEF ECOSYSTEMS IN WEST SUMATERA WATERS AS THE IMPACT OF THE ESTABLISHMENT MARINE PROTECTED AREA OF PIEH ISLAND

Puput Fitri Rachmawati*¹ Regi Fiji Anggawansa¹ Reny Puspasari¹, Rita Rachmawati¹ dan Andi Zulfikar²

¹Pusat Riset Perikanan, Gedung BRSDM KP II, LT. II. Jl. Pasir Putih II Jakarta Utara, 14430-Indonesia

²Universitas Maritim Raja Ali Haji, Jl. Raya Dompok, Bukit Bestari, Kota Tanjung Pinang, Kepulauan Riau-29115, Indonesia

Teregistrasi I tanggal: 05 Januari 2022; Diterima setelah perbaikan tanggal: 18 Februari 2022;

Disetujui terbit tanggal: 21 Februari 2022

ABSTRAK

Pembentukan kawasan konservasi perairan (KKP) berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan untuk menjaga ekosistem, mengelola konflik dalam pemanfaatan sumberdaya, serta memfasilitasi pemanfaatan sumberdaya secara efektif. Adanya KKP memberikan kesempatan bagi ekosistem untuk pulih dan berkembang yang berujung dengan memberikan dampak yang positif untuk perbaikan kondisi ekosistem. Untuk mengetahui adanya dampak dari KKP terhadap kondisi sumberdaya ikan perlu dilakukan berbagai upaya pendekatan baik melalui kelimpahan, biomassa, maupun stok. Kemudian untuk mengetahui dampak KKP terhadap perkembangan ekosistem terumbu karang dilakukan pemetaan citra satelit untuk melihat perubahan dari waktu ke waktu serta perkembangan luasan tutupan terumbu karang. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan kondisi sumber daya ikan karang dan ekosistem terumbu karang di perairan Sumatera Barat sebagai dampak dari pembentukan KKP di TWP P. Pieh. Data yang digunakan berupa data statistik perikanan serta data citra Landsat 05 (2009-2011) dan Landsat 08 (2014-2019). Perhitungan analisis profil dan analisis non-ekuilibrium model surplus produksi menggunakan alat bantu berupa SPSSTM, Notepad++TM, perangkat lunak ASPIC7TM, dan Kobe Plot I_II version 5TM. Analisis deteksi perubahan luasan terumbu karang menggunakan bantuan perangkat lunak *Quantum GIS 3* dan *R programming language* (versi 4.0.2). Hasil analisis menunjukkan bahwa TWP P. Pieh belum secara maksimal berperan sebagai penyedia stok ikan karang yang dapat menyuplai kebutuhan biomassa ikan karang di perairan Sumatera Barat dan menyeimbangi tekanan penangkapan yang ada. Di sisi lain adanya pengelolaan TWPP. Pieh memberikan peningkatan terhadap kelimpahan dan biomassa ikan karang yang berbanding lurus dengan persentase luasan tutupan karang yang ada di dalam kawasan TWP P. Pieh.

Kata Kunci: Kawasan konservasi perairan; Pulau Pieh; ikan karang; terumbu karang

ABSTRACT

*The establishment of marine conservation areas (MPA) contributes to sustainable development to maintain ecosystems, manage conflicts in using resources, and effectively facilitate using resources. The existence of MPAs provides an opportunity for ecosystems to recover and develop, which leads to a positive impact on improving ecosystem conditions. To determine the effects of MPA's on fish resource conditions, various approaches need to be made, such as abundance, biomass, and stock. After that, satellite imagery mapping was carried out to find out the impact of the MPA on the development of coral reef ecosystems and the percentage of the coral cover area from time to time. This study aims to analyze the result of the condition of reef fish resources and coral reef ecosystems around the waters of West Sumatra due to the formation of the MPA in TWP P. Pieh. The data used are fishery statistics (1996-2019) and Landsat 05 (2009-2011), and Landsat 08 (2014-2019) image data. Calculation of profile analysis and non-equilibrium production surplus model using tools such as SPSS, Notepad++TM, ASPIC7TM software, and Kobe Plot I_II version 5TM. Study the detection of coral reef area changes using *Quantum GIS 3* software and *R programming language* (version 4.0.2). The analysis results*

Korespondensi penulis:
puputfr@yahoo.com

show that TWP P. Pieh has not optimally played a role as a provider of reef fish stocks that can supply the needs of reef fish biomass and balance the existing fishing pressure in the West Sumatra waters. However, TWP P. Pieh can be seen in the abundance and biomass of reef fishes ecosystems, which positively correlates with the percentage of coral cover area in TWP P. Pieh.

Keywords: *Marine protected area; Pieh Island; coral reef fishes; coral reef*

PENDAHULUAN

Upaya pengelolaan sumberdaya ikan melalui perlindungan habitat menjadi salah satu upaya yang dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan dan Pemerintah Daerah, salah satunya melalui pembentukan kawasan konservasi perairan (KKP). Berbagai kriteria KKP telah ditetapkan berdasarkan jenis sumberdaya yang akan dilindungi melalui Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan (PerMenKP) No. 31 Tahun 2020. Pentingnya peran dan fungsi dari KKP tergambar dari besarnya target capaian luasan KKP yang ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia, yaitu sebesar 20 juta hektar pada 2019 (PermenKP No 63 Tahun 2017 mengenai Rencana Strategis Kementerian Kelautan Perikanan Tahun 2015-2019). Target tersebut telah tercapai pada 2018, dengan telah terbentuknya 177 KKP yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia dengan total luasan sebesar 20,88 juta Ha (6,42% dari luas laut Indonesia) (Dir. KKHL, 2019). Target luasan KKP ditingkatkan menjadi 26,90 juta Ha, yang diprediksi akan dicapai pada 2024 (PerMenKP No. 17 Tahun 2020 tentang Rencana Srategis Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2020-2024) dan meningkat menjadi 32,5 juta hektar pada 2030 sehubungan dengan target 11/SDGs 14 (Dir. KKHL, 2021).

Pengelolaan kawasan konservasi menurut UU No 31 Tahun 2004 dapat menyediakan ekosistem dan lingkungan berkelanjutan yang implementasinya menjaga rantai makanan dan siklus hidup ikan. Keberadaan KKP dapat secara langsung mengurangi laju degradasi habitat dan kepunahan sumber daya ikan. Tercapainya target luasan KKP pada 2018 yang disertai dengan pengelolaan kawasan yang efektif seharusnya memberikan dampak positif bagi kondisi ekosistem pesisir dan sumberdaya ikan. Untuk mengukur efektivitas pengelolaan kawasan, Kementerian Kelautan dan Perikanan telah meluncurkan Pedoman Teknis Evaluasi Efektivitas Pengelolaan Kawasan Konservasi Perairan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (E-KKP3K) pada tahun 2012 (Dir. KKJI, 2012).

Berdasarkan data persentase luasan tutupan terumbu karang dan kelimpahan biomassa ikan target yang ada di TWP P. Pieh sejak 2016-2020, diketahui terjadi tren kenaikan yang berbanding lurus antara luas tutupan terumbu karang dengan kelimpahan biomassa ikan target di dalam KKP. Pada 2020, nilai persentase luasan tutupan karang mengalami peningkatan sejak 2016 dari 28.72% menjadi 37.17% (129%) dan dan kelimpahan biomassa ikan target dari 308 Kg/Ha menjadi 541.46 Kg/Ha (176%). Hal

tersebut menjadi bukti bahwa adanya keterkaitan yang erat antara kondisi ekosistem terumbu karang yang dilindungi oleh TWPP. Pieh dengan kelimpahan biomassa ikan karang yang ada di dalamnya (LKKPN Pekanbaru, 2021). Hilborn (2007) menjelaskan bahwa pembentukan KKP akan berkontribusi dalam pembangunan berkelanjutan untuk menjaga ekosistem (*ecological*), mengelola konflik dalam pemanfaatan sumberdaya (*social*), serta memfasilitasi pemanfaatan sumberdaya secara efektif (*economical*).

Kawasan konservasi perairan memberikan kesempatan bagi ekosistem untuk pulih dan berkembang yang berujung dengan memberikan dampak yang positif untuk perbaikan kondisi ekosistem (Millazo *et. al.* 2002; Mumby & Harborne, 2010). Selanjutnya, berdasarkan Goni, *et. al.* (2011), suatu kawasan konservasi perairan akan berdampak pada aspek perikanan jika laju kematian ikan menurun dan tingkat kepatuhan terhadap pelarangan kegiatan perikanan efektif atau dalam rentang waktu tertentu kawasan tersebut dapat pulih kembali (kelimpahan dan jumlah sumberdaya ikan meningkat). Kawasan konservasi perairan yang baik akan berkontribusi dalam meningkatkan aspek perikanan melalui kelimpahan sumberdaya ikan dan ekspor telur dan larva ikan ke perairan sekitarnya. Untuk mengetahui adanya dampak dari KKP terhadap kondisi stok sumberdaya ikan perlu dilakukan berbagai upaya pendekatan pendugaan stok, salah satunya dengan menggunakan ASPIC (*A Surplus Production model Incorporating Covariates*). ASPIC akan memperhitungkan model surplus produksi dilakukan dengan asumsi bahwa status sumber daya tersebut berada pada tidak stabil (non-ekuilibrium) (Hilborn & Walters, 1992; Prager, 1994). Penggunaan ASPIC dianggap sebagai upaya perbaikan dari pendekatan yang memungkinkan para ilmuwan untuk melacak dan mendeteksi berbagai tingkat biomassa dan eksploitasi berdasarkan dinamika perikanan pada kurun waktu tertentu. Akan tetapi, terdapat peran faktor lingkungan dan tekanan pemanfaatan yang sangat mempengaruhi dinamika populasi ikan yang dimanfaatkan (Quetglas *et al.*, 2013). Selanjutnya Botsford *et al.* (2014) menyatakan bahwa terjadinya fluktuasi kelimpahan populasi pada suatu perikanan belum sepenuhnya dipahami dan masih memerlukan data lingkungan runtut waktu yang bersifat dekadal. Hasil analisis ASPIC diharapkan dapat menggambarkan kondisi status stok sumber daya ikan dari masa ke masa. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan kondisi sumber daya ikan karang dan ekosistem terumbu karang di perairan

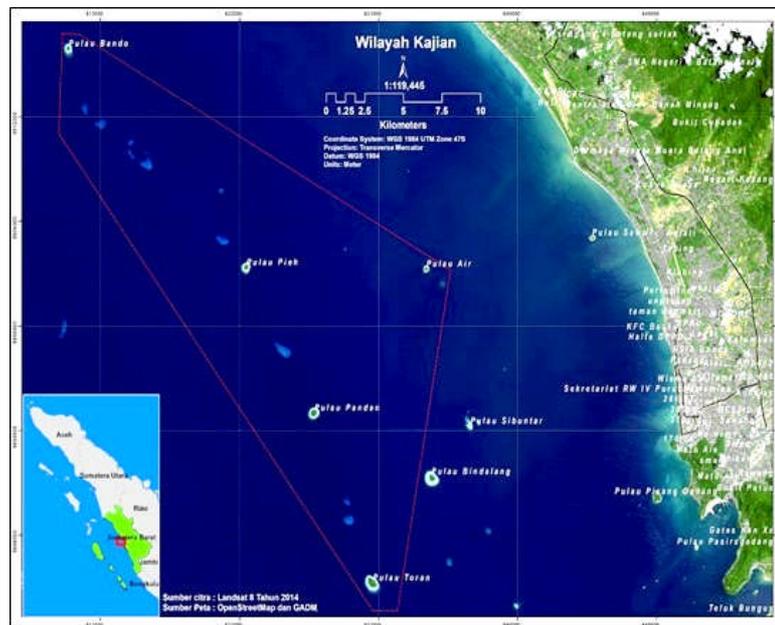
Sumatera Barat sebagai dampak dari pembentukan KKP di TWP P. Pieh.

BAHANNANMETODE

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan selama periode 2020-2021 yang berlokasi di TWP P. Pieh, Sumatera Barat. Adapun data dikumpulkan berupa data sekunder yaitu data statistik perikanan (1996-2019) yang diperoleh dari DKP Prov. Sumatera Barat berupa data hasil tangkapan ikan karang. Adapun jenis ikan karang mencakup berbagai jenis ikan karang yang tertangkap menggunakan alat tangkap pancing. Kemudian data citra Landsat 05 (2009-2011) dan

Landsat (2014-2019) untuk 5 (lima) pulau yaitu P. Bando, P. Air, P. Pandan, P. Pieh, dan P. Toran yang berasal dari LAPAN. Periode tersebut dipilih berdasarkan kejadian penting di wilayah kajian yaitu gempa bumi berkekuatan 7,9 skala richter pada tanggal 30 September 2009 dan dilakukan sebagai komparasi dengan analisis periode kedua. Periode kedua tahun 20014-2019 dilakukan untuk evaluasi efektivitas pengelolaan KKP terkait wilayah terumbu karang pada wilayah kajian selama 5 tahun terakhir. Selanjutnya, terdapat data sekunder berupa data hasil monitoring pada 39 stasiun titik pengamatan tahun 2016 – 2021 yang mencakup data persentase luas tutupan terumbu karang, kelimpahan jenis ikan karang, dan kelimpahan jenis megabenthos (LKKPN Pekanbaru, 2021).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, perairan TWP P. Pieh.
 Figures 1. Research map location, Pieh Island MPA's.

Profil Analisis Kondisi Perikanan

Secara umum, analisis time series dilakukan untuk melihat tren produksi ikan karang, tren perkembangan jumlah alat tangkap, dan tren CPUE. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan CPUE adalah $CPUE = C/f$, dimana C = jumlah produksi dan f = jumlah upaya. Alat tangkap pancing digunakan sebagai basis data CPUE karena merupakan alat tangkap yang dominan digunakan untuk penangkapan ikan karang di perairan Sumatera Barat. Data t_0 yang digunakan adalah nilai CPUE ikan karang yang ada yang dikombinasikan dengan kejadian coral bleaching di perairan Indonesia (1997-1998, 2009-2010, dan 2016), dan waktu penetapan pengelolaan TWPP. Pieh (1995, 2000, 2009) yaitu $t_0 = 1996$; $t_1 = 2000$; $t_2 = 2009$; $t_3 = 2012$, dan $t_4 = 2019$.

Analisis profil adalah salah satu analisis multivariat dengan lebih dari dua variabel tak bebas yang dianalisis

secara bersama-sama dengan tujuan untuk mengetahui profil nilai CPUE ikan karang yang berasal dari berbagai runtun waktu t (t_0 sampai dengan t_4) (Johnson *et. al.*, 2002). Sebelumnya, dilakukan uji normalitas guna melihat data yang terdistribusi secara normal (Uji Shapiro-Wilk). Dalam analisis profil, terdapat 3 hipotesis yang perlu dilakukan, diantaranya:

a. Hipotesis kondisi keparalelan

$H_0 : C_{\mu 1} = C_{\mu 2}$
 $H_1 : C_{\mu 1} \neq C_{\mu 2}$; Wilayah kritis: H_0 ditolak bila $F_{hit} > F_{tab}$, $\alpha = 95\%$

Jika H_0 diterima, maka kedua profil paralel sehingga dapat dilanjutkan dengan pengujian hipotesis kesamaan level. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Uji Barlett.

b. Hipotesis kondisi kesamaan level

$H_0: J\mu_1 = J\mu_2$

$H_1: J\mu_1 \neq J\mu_2$; Wilayah kritis: H_0 ditolak bila $thit > t_{tab}$, $\alpha = 95\%$

Jika H_0 diterima, maka kedua profil levelnya sama sehingga dapat dilanjutkan dengan pengujian hipotesis kesamaan level. Jika H_0 ditolak, maka kedua profil paralel dan berbeda level dan dilanjutkan pada pengujian hipotesis kondisi pengaruh utama p-variabel. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji t Kruskal Wallis.

c. Hipotesis kondisi pengaruh utama p-variabel.

$H_0: C(\mu_1 + \mu_2) = 0$

$H_1: C(\mu_1 + \mu_2) \neq 0$; Wilayah kritis: H_0 ditolak bila $F_{hit} > F_{tab}$, $\alpha = 95\%$

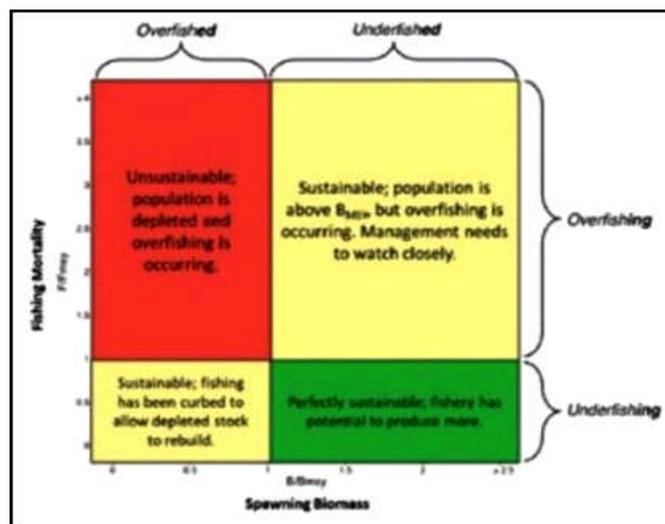
Jika H_0 diterima, maka disimpulkan tidak ada pengaruh utama karena p-variabel. Sedangkan jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh utama karena p-variabel. Keseluruhan analisis tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat SPSS™.

Perkembangan Kondisi Sumber Daya Ikan Karang (Metode ASPIC)

Perkembangan kondisi ikan karang dari waktu ke waktu dianalisis dengan menggunakan pendekatan model surplus produksi non-equilibrium menggunakan metode ASPIC (Prager, 1994). Pendekatan non-ekuilibrium model surplus produksi pada aplikasi ASPIC diterapkan terhadap data hasil tangkapan dan CPUE dari perikanan ikan karang di perairan Sumatera Barat dengan alat tangkap pancing

ulur, dengan asumsi bahwa CPUE sebanding dengan kelimpahan. Adapun langkah pertama adalah analisis data CPUE dan hasil tangkapan pada periode 1996-2019, dengan menggunakan pendekatan “trial & error” terhadap parameter awal rasio biomassa terhadap besarnya biomassa awal ($B1/K$), estimasi produksi maksimum (MSY), tingkat upaya pada produksi maksimum (F_{msy}) dan q (koefisien daya tangkap) untuk memperoleh kombinasi MSY, F_{msy} , q dan K , yang mewakili tren data terkumpul. Output dari model ini adalah estimasi CPUE, mortalitas penangkapan (F) dan biomassa (B), biomassa relatif (B/B_{msy}) dan mortalitas penangkapan relatif (F/F_{msy}). Perhitungan non-ekuilibrium model surplus produksi menggunakan alat bantu berupa Notepad++™, perangkat lunak ASPIC7™, dan Kobe Plot I_II version 5™.

Selanjutnya, analisis Kobe Plot digunakan guna melihat perubahan status kondisi perikanan karang yang ada di perairan Sumatera Barat melalui pemetaan perubahan arah biomassa ikan terkini terhadap biomassa MSY (U/U_{msy}). Data dianalisis menggunakan model pendugaan stok ikan melalui pendekatan *equilibrium state model* dari Schaefer (1954) (Puspasari, et al., 2020). Perhitungan model pendugaan stok ikan menggunakan alat bantu berupa Ms. Excel™ dan SPSS™. Analisis Kobe Plot dilakukan untuk memetakan perubahan arah status stok yang berkaitan langsung dengan perjalanan perkembangan perikanan. Pada sumbu X, plot mewakili biomassa (atau biomassa pemijahan) yang dinyatakan relatif terhadap U_{msy} . Sumbu Y, mewakili mortalitas/tekanan penangkapan yang dibandingkan dengan E_{msy} , status pemanfaatan dibagi menjadi empat kuadran (WPCouncil, 2020) (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik Kobe Plot (Sumber: WPCouncil, 2020).
 Figures 2. Kobe Plot graphic (Source: WPCouncil, 2020).

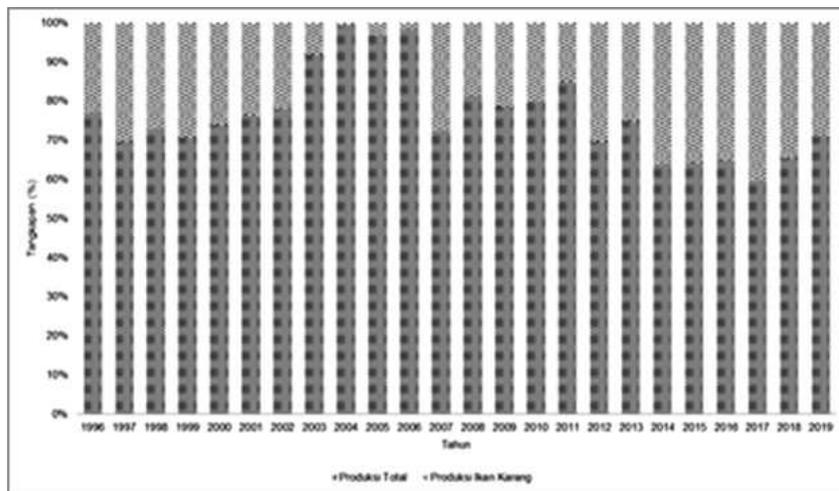
Pendugaan Perubahan Luasan Terumbu Karang Berdasarkan Analisis Citra Satelit

Data citra yang digunakan adalah citra Landsat 5 (2009-2011) serta Landsat 8 (2014-2019). Semua citra diunduh pada laman USGS *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), dan citra yang dipilih merupakan citra dengan tutupan awan dan gangguan ombak paling minimal (< 5%). Pada citra Landsat dilakukan proses *pre-processing* (Urbanski, 2010). Selanjutnya, dilakukan analisis deteksi perubahan luasan menggunakan bantuan perangkat lunak *Quantum GIS 3* dan *R programming language* (versi 4.0.2).

HASIL DAN BAHASAN Hasil

Pola Produksi dan CPUE Ikan Karang di Perairan Sumatera Barat

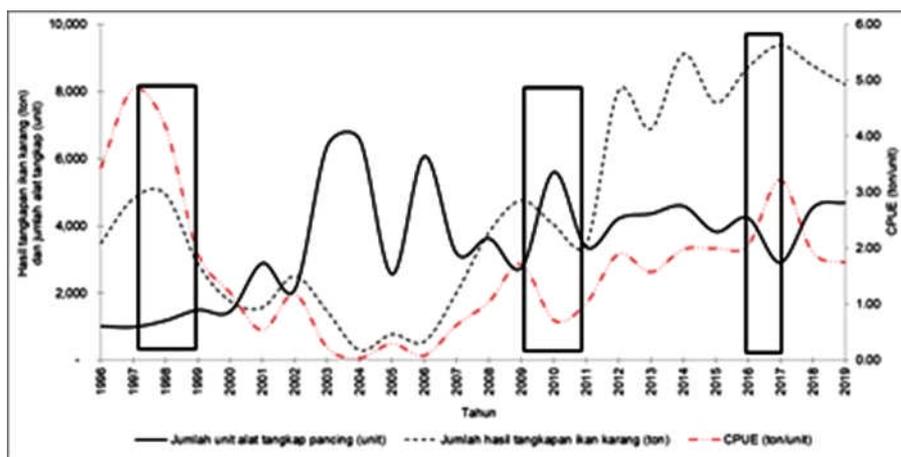
Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa alat tangkap pancing merupakan alat tangkap yang dominan digunakan untuk menangkap ikan karang. Berdasarkan data statistik DKP Prov. Sumatera Barat tahun 1998-2019, persentase produksi ikan karang terhadap produksi total alat tangkap pancing mencapai 66,99% dengan rata-rata sebesar 33,05% dari total produksi alat tangkap pancing (Gambar 3).



Gambar 3. Persentase produksi ikan karang terhadap produksi total alat tangkap pancing.
 Figures 3. Percentage of reef fishes production to total production of handline.

Tren produksi ikan karang dan alat tangkap pancing di perairan Sumatera Barat terlihat mengalami kenaikan semenjak ditetapkannya TWP P. Pieh menjadi kawasan konservasi pada tahun 1995 (Gambar 4). Akan tetapi, trend CPUE cenderung mengalami penurunan khususnya sejak terjadinya kejadian *coral bleaching* pada 1997-1998 dengan kematian karang sebesar 90% di wilayah Sumatera Barat, Gili Matra, dan Lombok (Salim, 2012). Hal tersebut menyebabkan berkurangnya ekosistem terumbu karang sebagai habitat sumberdaya ikan karang yang memberikan dampak pada hasil tangkapan nelayan. Walaupun terjadi kenaikan tekanan penangkapan (jumlah alat tangkap) yang meningkat secara signifikan pada 2003-2004, nilai CPUE cenderung rendah yang diduga sebagai dampak dari habitat terumbu karang yang belum pulih. Terumbu karang akan mati bila mengalami pemutihan lebih dari 6 pekan

dan diperlukan waktu 5 - 10 tahun untuk kembali pulih (Edwards & Gomez, 2008). Selanjutnya, pada 2009-2010 kembali terjadi kejadian *coral bleaching* dan gempa bumi 7,6 SR pada 2009 yang mengguncang Sumatera Barat sehingga diduga berdampak pada kegiatan penangkapan ikan karang. Penurunan nilai CPUE pada tahun tersebut juga diduga karena adanya kenaikan tekanan penangkapan melalui penambahan jumlah alat tangkap. Kemudian, kejadian *coral bleaching* pada 2016 berlokasi di perairan Sumatera Barat diduga memberikan dampak pada kegiatan penangkapan ikan karang pasca terjadinya *coral bleaching*. Selain adanya kejadian pemutihan karang, tren tekanan penangkapan melalui kenaikan maupun penurunan alat tangkap juga berpengaruh terhadap laju penangkapan sumberdaya ikan karang.



Ket. Kejadian *coral bleaching*.

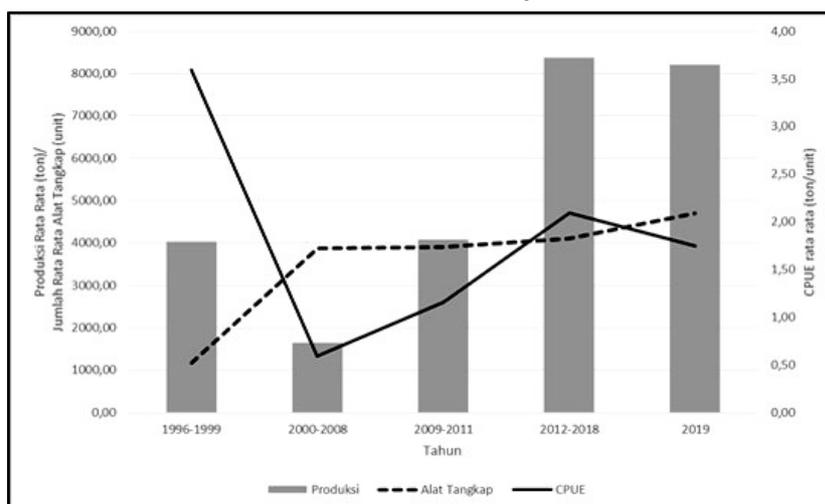
Gambar 4. Pergerakan upaya penangkapan dan hasil tangkapan ikan karang kaitannya dengan kejadian *coral bleaching* di perairan Sumatera Barat.

Figures 4. The movement of fishing effort and reef fish catches related to coral bleaching events in West Sumatera waters.

Perubahan Kondisi Sumberdaya Ikan Karang Dari Waktu Ke Waktu.

Disajikan pada Gambar 5, nilai CPUE dikategorikan ke dalam 4 waktu pengelolaan berdasarkan kejadian *coral bleaching* dan waktu penetapan pengelolaan TWPP. Pieh dengan $t_0 = 1996-1999$; $t_1 = 2000-2008$, $t_2 = 2009-2011$; $t_3 = 2012-2018$, dan $t_4 = 2019$. Sebelumnya dilakukan uji normalitas Shapiro-Wilk terhadap data nilai CPUE dengan hasil menunjukkan bahwa nilai CPUE per waktu penetapan tersebar secara normal (nilai sig. > 0,05). Kemudian dilakukan uji Barlett dengan hasil nilai Chi square = 6,379 > Chi square tab = 9,49, dengan nilai sign. = 0,127 > $\alpha = 0,05$, dan uji Kruskal Wallis nilai sig. Kruskal Wallis = 0,001

< $\alpha = 0,05$. Artinya data tersebut menunjukkan populasi yang homogen/parallel dengan level yang berbeda dan terdapat pengaruh utama karena p-variabel. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diketahui bahwa dapat disimpulkan nilai CPUE yang berada dalam rentang waktu $t_0 - t_4$ memberikan hasil yang berbeda akibat pada 4 (empat) rentang waktu pengelolaan tersebut. Selanjutnya, pada Gambar 5 terlihat bahwa tren nilai CPUE cenderung mengalami peningkatan kecuali pada waktu t_1 pasca kejadian *coral bleaching* 1997-1998 yang ikut berpengaruh terhadap ketersediaan habitat dan sumberdaya ikan karang walaupun terjadi peningkatan upaya melalui kenaikan jumlah alat tangkap yang meningkat drastis pada waktu t_1 .



Gambar 5. Perbandingan nilai CPUE per tahun kejadian.

Figure 5. The comparison of CPUE values per year of occurrence.

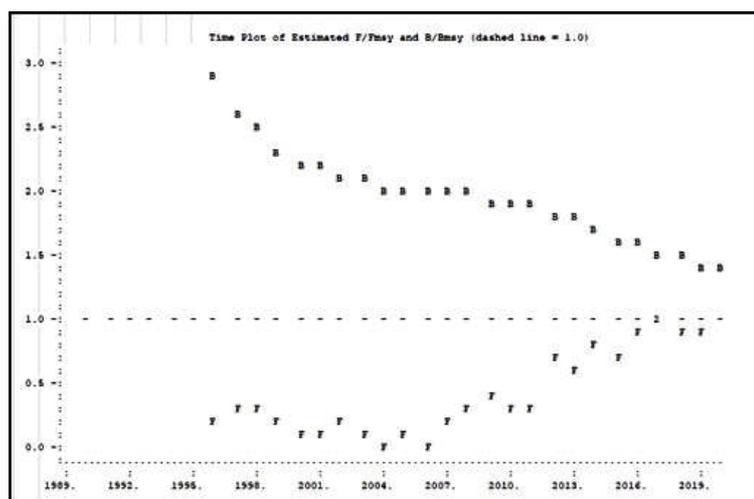
Berdasarkan hasil perhitungan ASPIC melalui pendekatan “fitting statistically conditioned” pada nilai hasil tangkapan, upaya penangkapan, dan kelimpahan biomassa relatif (Tabel 1), diketahui bahwa nilai input parameter awal (B_{MSY}/K , MSY , F_{MSY} , dan q) yang berbeda, diperoleh nilai parameter produksi surplus dari model logistik (F_{MSY} , K , q , C_{MSY} , B_{MSY} , dan r) untuk sumber daya ikan karang berdasarkan data statistik perikanan tangkap Prov. Sumatera Barat.

yang dianalisis selama 1996-2019 menunjukkan posisi tren biomassa relatif mengalami penurunan dan perikanan telah mengalami overfishing sejak 2004 (Gambar 6). Plot tahunan F/F_{msy} dan B/B_{msy} menurun secara bertahap menunjukkan tingkat biomassa relatif menurun dan berada pada posisi di bawah $F/F_{msy}=1$ setelah tahun 2004. Sejalan dengan hal tersebut, biomassa relatif menurun di bawah 1,0 dan stok ikan karang telah tertekan di bawah tingkat MSY , dan sejak 2004 upaya penangkapan berada pada status lebih tinggi dari titik acuan optimum F_{msy} .

Secara umum, plot tahunan mortalitas penangkapan (F/F_{msy}) dan biomassa relatif (B/B_{msy}) dari seluruh CPUE

Tabel 1. Parameter model logistik surplus produksi sumber daya ikan karang di perairan Sumatera Barat (1996-2019).
 Table 1. Surplus production model parameters of fish resource production in West Sumatera waters (1996-2019).

Parameter/Parameter	Nilai/Value
K (ton)	152.700
q	$1,583 \times 10^{-5}$
C_{MSY} (ton)	6.472
B_{MSY} (ton)	76.370
F_{MSY}	0,8474
r	0,5
R^2 CPUE	51,50 %



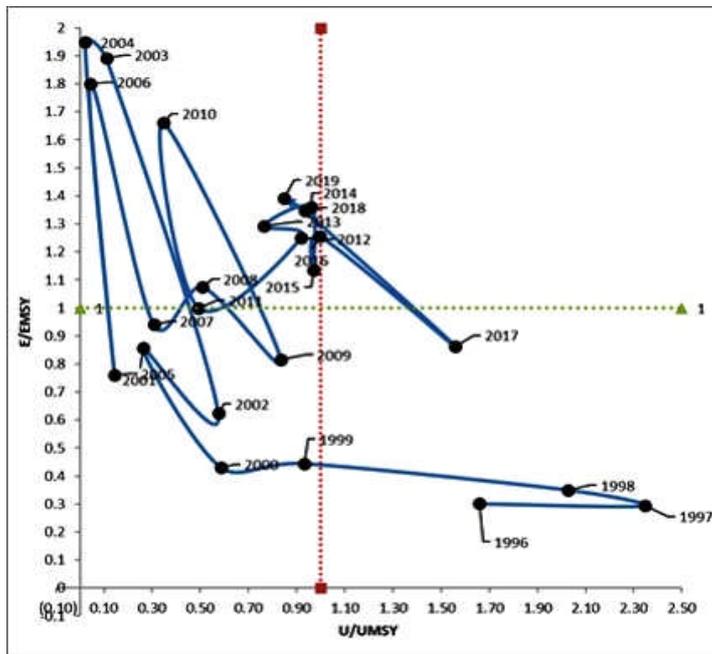
Gambar 6. Tren pergerakan estimasi mortalitas penangkapan dan biomassa relatif.
 Figures 6. Time plot of estimated F/F_{msy} and B/B_{msy} .

Selanjutnya dilakukan pemetaan pergerakan status stok sumber daya ikan karang melalui grafik *Kobe Plot* yang memetakan perubahan arah status stok yang berkaitan langsung dengan perjalanan perkembangan perikanan. Pada sumbu X, plot mewakili biomassa (atau biomassa pemijahan) yang dinyatakan relatif terhadap B_{MSY} . Pada sumbu Y, mewakili mortalitas penangkapan yang dibandingkan dengan F_{MSY} , status pemanfaatan dibagi menjadi empat kuadran dengan kriteria umum mengikuti Restrepo (2011). Hasil analisis *Kobe Plot* sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat pada kurun waktu 1996-1999 berada pada tahapan berkembang atau *develop* (Gambar 7). Kemudian seiring dengan perkembangan

teknik penangkapan dan teknologi secara bertahap pada kurun waktu 1999-2002 terjadi penurunan biomassa dengan tingkat pemanfaatan pada ambang batas normal (tahap *recovery*). Selanjutnya mulai dari tahun 2003-2019 terjadi peningkatan tekanan penangkapan sehingga kondisi biomassa semakin menurun (*overfishing*). Pada kurun waktu terjadinya *overfishing*, terdapat waktu terjadinya perbaikan kondisi stok ikan pada tahun 2005, 2007, dan 2009 dimana tekanan penangkapan jauh berkurang (*fully exploited*). Selain itu pada 2017, kondisi sumberdaya ikan karang sempat mengalami pemulihan (biomassa meningkat) menuju tahap awal B_0 dan tekanan penangkapan jauh berkurang (tahap *develop*) sebelum

kembali lagi mengalami tekanan penangkapan yang semakin meningkat. Jika dibandingkan dengan pergerakan jumlah upaya penangkapan pada Gambar 4, terlihat bahwa

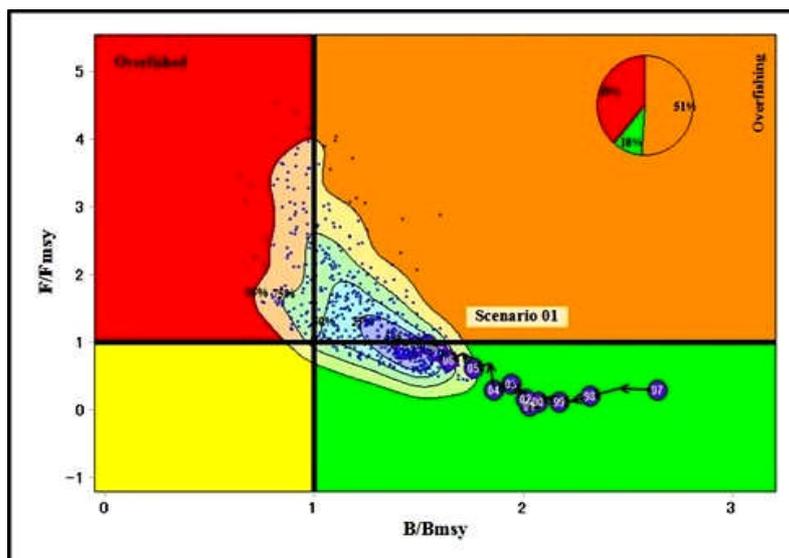
pada tahun 2005, 2007, 2009, dan 2017 jumlah upaya penangkapan menurun yang sejalan dengan pergerakan kondisi stok dari waktu ke waktu.



Gambar 7. Kobe plot sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat.
 Figures 7. Kobe plot of reef fish resources in West Sumatera waters.

Berdasarkan hasil analisis Kobe plot melalui pendekatan ASPIC (Gambar 8), terlihat bahwa pemanfaatan sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera saat ini berada pada kondisi *overfishing* dengan tingkat pemanfaatan (F_{MSY}/E) sebesar 0.8474. Berdasarkan hasil analisis bootstrap dan Monte Carlo, diketahui bahwa sebanyak 51% sumberdaya ikan karang berada pada kondisi *fully exploited*, 39% berada pada kondisi *overfishing*, dan 10% berada pada kondisi *safe zone*.

Terlihat pula sebaran titik biru yang mewakili kondisi sumberdaya, sebagian besar berada pada region orange (*fully exploited*) dan merah (*overfishing*). Adapun pergerakan kondisi stok dari waktu ke waktu, terlihat bahwa pada awalnya status stok sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat berada pada kondisi baik dan seiring berjalannya waktu bergerak menuju kondisi lebih tangkap.

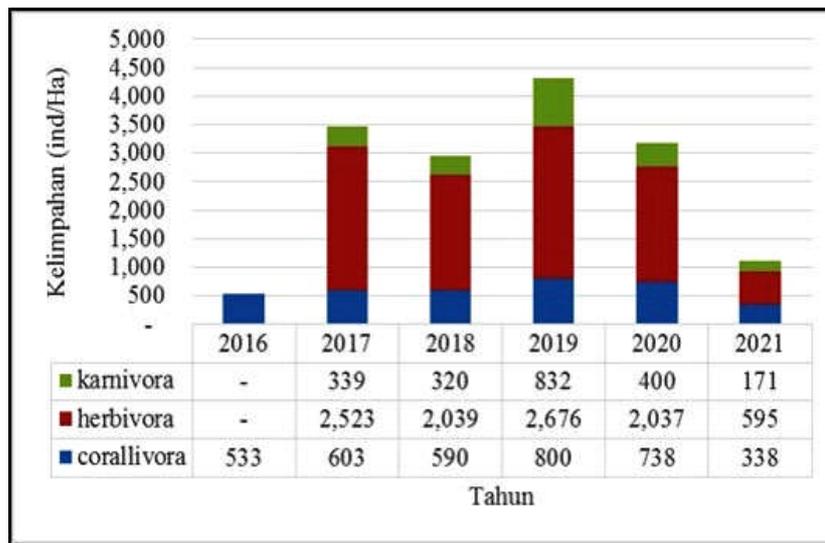


Gambar 8. Analisis Kobe plot berdasarkan ASPIC untuk sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat.
 Figures 8. Kobe plot analysis based on ASPIC for reef fish resources in West Sumatera waters.

Perkembangan Sumberdaya Ikan Karang di TWP P. Pieh.

Berdasarkan Gambar 9 mengenai kelimpahan ikan karang di TWP P. Pieh yang tersebar di 39 stasiun pengamatan (LKKPN, 2021), diketahui sejak 2016 - 2021 terjadi tren peningkatan jumlah kelimpahan ikan karang. Berdasarkan kelimpahan ikan karang kelompok corallivora yang merupakan ikan bioindikator kesehatan ekosistem

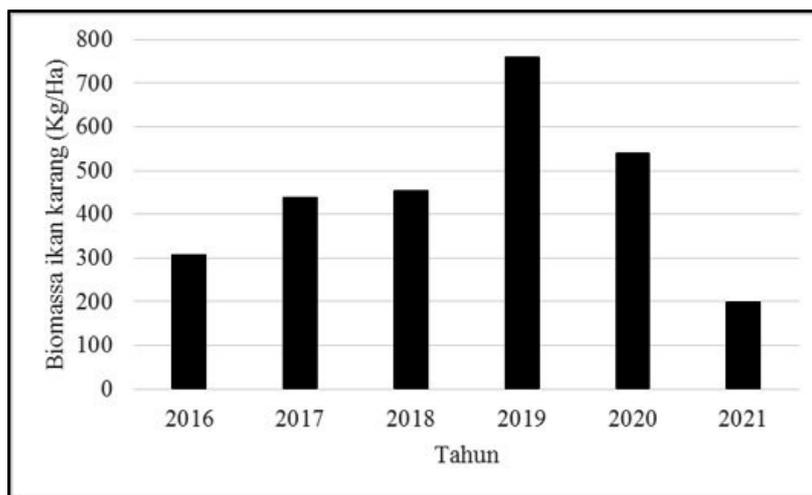
terumbu karang, telah terjadi tren peningkatan kelimpahan jenis ikan kelompok tersebut. Peningkatan pemulihan terumbu karang pasca pemutihan karang tahun 2016, berkorelasi kuat dengan peningkatan kehadiran ikan karang di kawasan terumbu karang tersebut. Pada 2016 ditemukan sebanyak 533 ind/Ha ikan karang kelompok corallivora dan pada 2020 meningkat menjadi 738 ind/Ha. Akan tetapi, terjadi penurunan jumlah kelimpahan ikan karang pada 2021 menjadi sebanyak 338 ind/Ha.



Gambar 9. Kelimpahan ikan karang tahun 2016-2021 di TWPP. Pieh (Sumber: LKKPN Pekanbaru, 2021)
 Figures 9. The abundance of reef fish (2016-2021) at Pieh Island MPA's (Source: LKKPN Pekanbaru, 2021).

Selanjutnya, terjadi tren peningkatan biomassa ikan karang target (ikan ekonomis penting yang ditangkap untuk dikonsumsi) di TWPP. Pieh (Gambar 10) (LKKPN Pekanbaru, 2021). Pada 2016, jumlah biomassa ikan karang

target senilai 308 Kg/Ha dan meningkat pada 2020 menjadi 541.46 Kg/Ha. Akan tetapi, terjadi penurunan jumlah biomassa ikan karang target pada 2021 menjadi sebanyak 198.79 Kg/Ha.

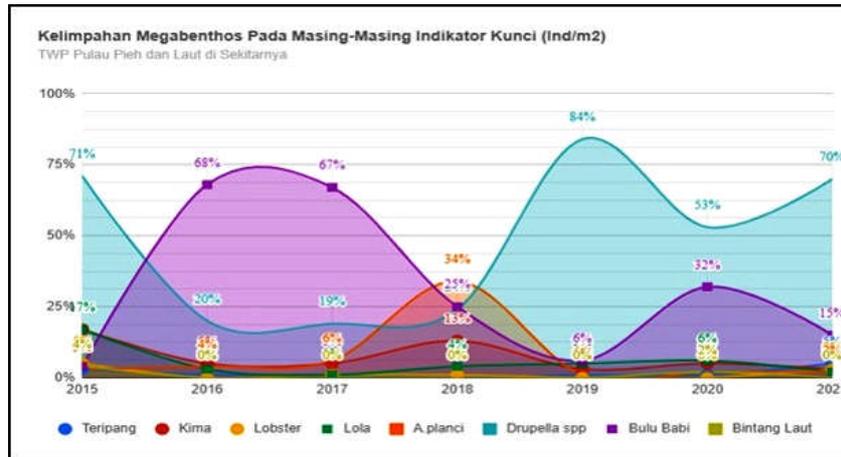


Gambar 10. Biomassa ikan karang target tahun 2016-2021 di TWPP. Pieh (Sumber: LKKPN Pekanbaru, 2021)
 Figures 10. The biomass of target reef fish (2016-2021) at Pieh Island MPA's (Source: LKKPN Pekanbaru, 2021).

Keberadaan makrobenthos juga tidak kalah penting peranannya dalam suatu ekosistem terumbu karang. Adanya predator pemakan karang seperti bulu seribu (*Acanthaster planci*) dan siput corallivora (*Drupella*

spp.) dalam jumlah/kelimpahan yang normal dapat menjadi indikasi kesehatan terumbu karang yang baik dengan laju pertumbuhan karang lebih cepat dibandingkan dengan laju pemangsaan karang (LKKPN Pekanbaru, 2021).

Kelimpahan makrobenthos di TWP P. Pieh cenderung berfluktuatif setiap tahunnya (Gambar 11) dengan jenis yang mendominasi berupa bulu seribu (*Acanthaster planci*) dan siput corallivora (*Drupella* spp.).

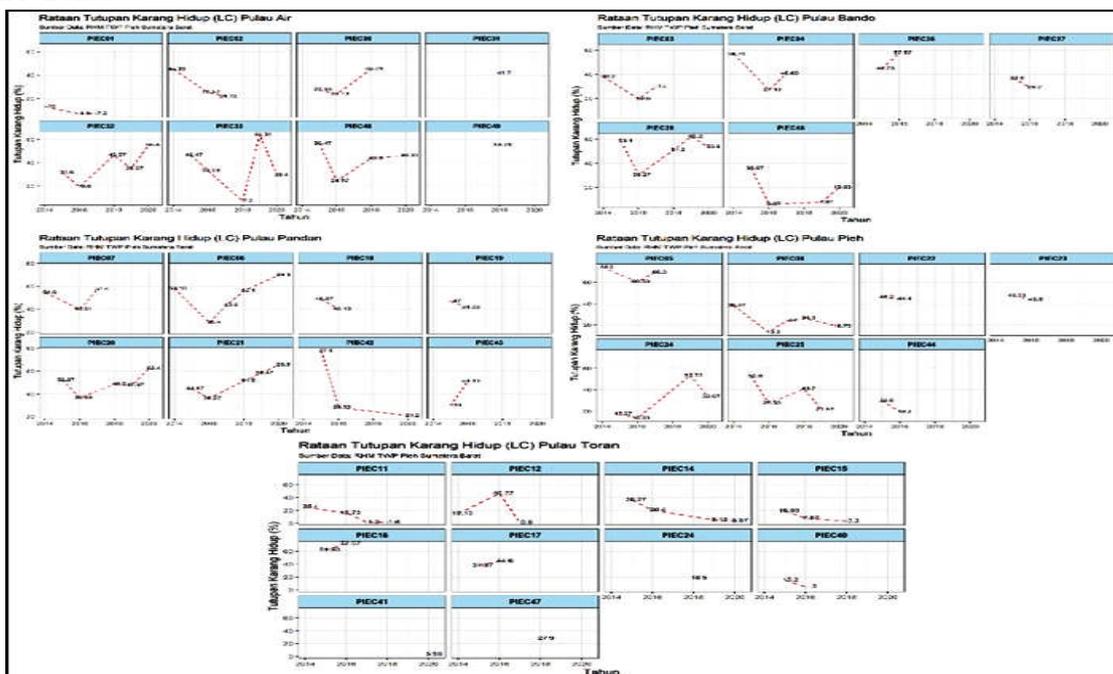


Gambar 11. Kelimpahan makrobenthos tahun 2015-2021 (Sumber: LKKPN Pekanbaru, 2021).
 Figures 11. The abundance of macrobenthos (2015-2021) at Pieh Island MPA's (Source: LKKPN Pekanbaru, 2021).

Perkembangan Ekosistem Terumbu Karang

Berdasarkan hasil analisis data citra pada 39 stasiun pengamatan yang ditampilkan pada Gambar 12, secara umum pada 2014-2019 terdapat lebih banyak stasiun pengamatan yang menunjukkan peningkatan rataan tutupan karang hidup setiap tahunnya, kecuali di beberapa stasiun pengamatan di P. Toran dimana penurunan rataan tutupan karang hidup lebih banyak dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Pulau Toran berdasarkan hasil analisis citra satelit 2014-2019 juga merupakan area dengan penurunan luasan karang hidup (*lost*) terbesar kedua setelah P. Bando.

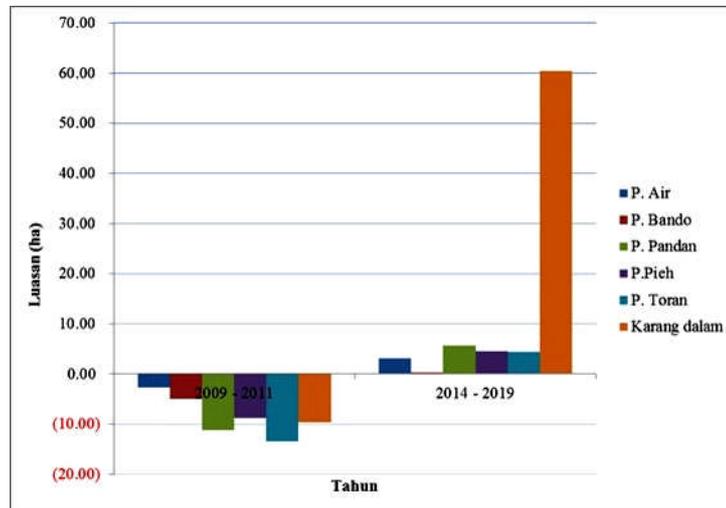
Beberapa stasiun pengamatan lainnya menunjukkan penurunan rataan tutupan karang hidup dibandingkan dengan tahun sebelumnya, yaitu PIEC 33 P. Air (2016-2018), PIEC 46 P. Bando (2015-2016), PIEC 42 P. Pandan (2015-2016), PIEC 06 P. Pieh (2014-2016), serta PIEC 11, 12, 14, 15 P. Toran. Selain penurunan rataan tutupan karang hidup, beberapa stasiun pengamatan juga menunjukkan fenomena peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan tahun sebelumnya. Arah perubahan (penurunan atau kenaikan) yang beragam pada stasiun-stasiun pengamatan yang berada dalam satu wilayah yang sama juga ditemui pada analisis citra satelit (Gambar 12).



Gambar 12. Rataan tutupan karang hidup (LC) pada semua stasiun pengamatan dalam kawasan TWP P. Pieh.
 Figures 12. The average of live coral (LC) in all observation station in Pieh Island MPA's.

Fluktuasi perubahan luasan terumbu karang di kawasan TWP P. Pieh dapat terlihat pada Gambar 13. Pada 2009-2011 terjadi penurunan luasan terumbu karang dengan total luasan terumbu karang sebesar 50,67 Ha. Hal tersebut diduga berkaitan dengan kejadian *coral bleaching* 2009-2010 dan kejadian gempa bumi 2009 di Sumatera Barat. Akan tetapi sejak 2014-2019 telah terjadi

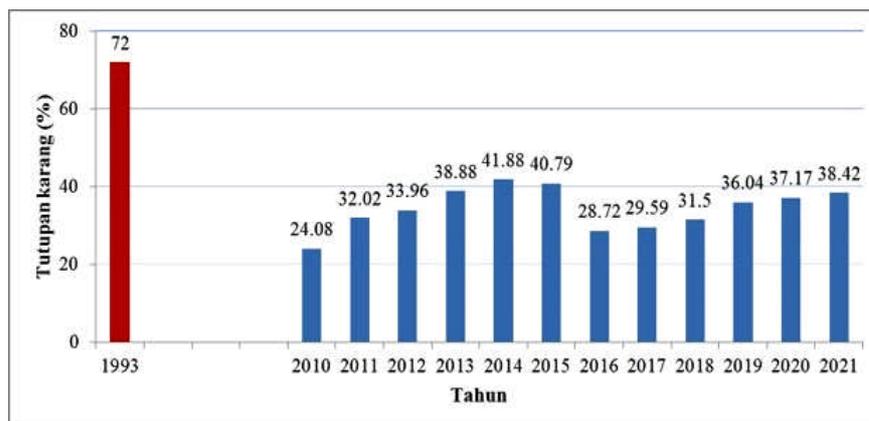
kenaikan luasan terumbu karang, terutama pada terumbu karang dalam dengan total kenaikan luasan terumbu karang sebesar 78,47 Ha. Hasil uji Anova menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara 2 (dua) kelompok tahun perubahan luasan terumbu karang pada 2009-2011 dan 2014-2019 dengan nilai P-value sebesar 0.04.



Gambar 13. Grafik fluktuasi luasan terumbu karang (2009-2019) di TWP P. Pieh.
 Figures 13. The graph of fluctuations in coral reef area (2009-2019) at Pieh Island MPA's.

Selanjutnya, berdasarkan perkembangan persentase tutupan karang diketahui bahwa sejak adanya usulan penetapan pengelolaan KKP TWP P. Pieh pada 1994 (Gambar 14), tidak terdapat data hasil monitoring tutupan karang hingga pengalihan wewenang pengelolaan dilakukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan pada 2009. Monitoring persentase tutupan karang rutin dilakukan setiap tahunnya mulai 2010 – 2021. Pada Gambar 14, terlihat bahwa telah terjadi fukuasi persentase tutupan

karang dengan tren yang cenderung meningkat. Akan tetapi, pada 2016 terjadi penurunan persentase tutupan terumbu karang akibat adanya kejadian pemutihan karang pada tahun tersebut. Kemudian, jika persentase tutupan karang dihubungkan dengan kelimpahan ikan kelompok corallivora dan biomassa ikan karang target, terdapat korelasi positif antar keduanya dengan nilai R^2 sebesar 86.48% dan 65.46%.



Gambar 14. Perkembangan persentase tutupan karang di TWP P. Pieh (2010-2021) (Sumber: LKKPN Pekanbaru, 2021).
 Figure 14. Percentage development of coral cover in Pieh Island MPA's (2010-2021) (Source: LKKPN Pekanbaru, 2021).

BAHASAN

Secara umum, laju upaya penangkapan sumber daya ikan di perairan Sumatera Barat berdasarkan hasil profil analisis nilai CPUE yang berada dalam rentang waktu $t_0 - t_4$ (Gambar 5) memberikan hasil nyata akibat adanya dampak pengelolaan kawasan konservasi perairan pada 4 (empat) rentang waktu pengelolaan. Tren produksi ikan karang dan alat tangkap pancing mengalami kenaikan semenjak ditetapkannya TWPP. Pieh menjadi kawasan konservasi pada tahun 1995 walaupun tren CPUE cenderung mengalami penurunan khususnya pasca tahun kejadian *coral bleaching* 1997-1998. Selain itu, adanya tekanan penangkapan (jumlah alat tangkap) berpengaruh terhadap laju penangkapan sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat. Setelah 2007, nilai CPUE cenderung meningkat kembali seiring waktu pulihnya ekosistem terumbu karang yang menjadi habitat ikan karang dimana diperlukan waktu 5 - 10 tahun untuk kembali pulih (Edward & Gomez, 2008). Jika dihubungkan dengan kondisi biomassa sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat (Gambar 6), terlihat adanya peningkatan upaya penangkapan (mortalitas penangkapan, $F/F_{msy} > 1$) yang berdampak pada penurunan biomassa sumberdaya tersebut ($B/B_{msy} < 1$). Seperti yang diketahui, 10% status sumberdaya ikan karang berada pada kondisi *safe zone*. Worm *et al.* (2009) menyatakan runtuhnya stok ikan ketika biomassa tersisa sebesar kurang dari 20% dari biomassa yang diperlukan untuk mendukung pemanfaatan berkelanjutan (B_{msy}). Keadaan ini perlu diperbaiki agar status stok sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat tetap berkelanjutan.

Selanjutnya, berdasarkan grafik Kobe Plot pada Gambar 7 dan Gambar 8, jika kondisi status stok sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat dihubungkan dengan pengelolaan sumberdaya ikan karang melalui adanya kawasan konservasi perairan khususnya TWPP. Pieh, maka saat ini TWPP. Pieh belum secara maksimal berperan sebagai penyedia stok ikan karang yang dapat menyuplai kebutuhan biomassa ikan karang di perairan Sumatera Barat dan menyeimbangi tekanan penangkapan yang ada. Sebagai perbandingan, luasan TWPP. Pieh adalah sebesar 39.900 Ha (LKKPN Pekanbaru, 2015) atau sebesar 0,21 % dari luasan perairan Sumatera Barat yang bernilai 18.658.000 Ha. Selain itu, terbatasnya ketersediaan data yang memiliki rentang waktu panjang melalui pencatatan hasil tangkapan juga menyulitkan dalam pengolahan analisis status stok ikan. Saat ini data yang diacu berdasarkan data statistik resmi belum mencerminkan hasil tangkapan yang sebenarnya akibat adanya perubahan sistem database perikanan yang masih berkembang. Sehingga diduga terdapat hasil tangkapan yang tidak terpantau sehubungan tempat pendaratan ikan yang tersebar luas dan mempunyai karakteristik berbeda atau memang tidak dipantau karena

hambatan logistik (Atmadja, *et. al.*, 2017). Selanjutnya, Palumbi (2001) menyatakan bahwa pengaruh kawasan konservasi terhadap perikanan sulit dibuktikan melalui pendekatan empiris sederhana. Hal tersebut disebabkan karena sebagian besar kawasan konservasi memiliki luasan yang berukuran kecil dan tidak dirancang dengan tujuan pengelolaan perikanan, sedangkan keberhasilan suatu kawasan konservasi perairan bergantung pada tujuan awal kawasan tersebut ditetapkan.

Akan tetapi, jika dilihat dalam ruang lingkup spasial yang lebih sempit, secara khusus kelimpahan dan biomassa ikan karang di TWPP. Pieh (Gambar 9 dan Gambar 10) cenderung meningkat yang menunjukkan kemungkinan keseimbangan sistem pada habitat terumbu karang berada pada level optimal dan memiliki tingkat resistensi yang cukup baik terlepas dari dinamika kualitas komunitas karang dan adanya tekanan lingkungan seperti kejadian *coral bleaching*. Kelimpahan dan biomassa ikan karang cukup baik yang mengindikasikan kesehatan ekosistem terumbu karang yang cukup baik. Rani *et. al.* (2011) menyatakan kondisi terumbu karang melalui luasan tutupan karang berhubungan secara nyata dengan kelimpahan ikan. Selain luasan tutupan karang, terdapat faktor lainnya yang mempengaruhi kelimpahan ikan karang, yaitu keberadaan atau kedekatan dengan ekosistem sekitarnya seperti kehadiran padang lamun dan mangrove (Rani *et. al.*, 2011), tingkat rugositas (Luckhurst & Luckhurst, 1978), dan keberagaman mikrohabitat atau kompleksitas habitat (Lewis, 1987) seperti keberadaan makrobenthos pada Gambar 11. Selanjutnya, hasil penelitian Claudet *et. al.* (2010) menunjukkan adanya pengelolaan kawasan konservasi perairan memberikan dampak yang positif terhadap perbaikan ekosistem yang berujung dengan adanya upaya pemulihan biomassa sumberdaya ikan terutama yang bersifat sedenter.

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis mengenai perkembangan ekosistem terumbu karang di TWPP. Pieh (Gambar 12 dan Gambar 13) menunjukkan fenomena yang berbeda terhadap dinamika tutupan karang pada skala spasial yang berbeda. Vasapollo & Gambi (2012) menekankan pentingnya memperhitungkan tingkatan spasial dalam menganalisis suatu ekosistem karena struktur spasial akan mempengaruhi hasil kalkulasi, seperti hasil analisis korelasi dimana pada level yang luas (kawasan) dengan menggunakan data total, memberikan struktur korelasi yang berbeda ketika analisis korelasi dilakukan pada skala pulau yang lebih sempit (P. Air). Arah perubahan (penurunan atau kenaikan) yang beragam pada stasiun-stasiun pengamatan yang berada dalam satu wilayah yang sama memberikan gambaran awal kemungkinan adanya perbedaan pengaruh struktur spasial seperti kedekatan (*proximity*) atau jarak dengan jenis dan jumlah sumber gangguan seperti yang dikemukakan oleh Holon *et al.* (2015), selain disebabkan oleh sifat biologis

dari jenis-jenis karang yang ada. Beberapa penyebab dinamika perubahan tutupan karang hidup kemungkinan bersifat lokal atau hanya disebabkan oleh *stressor* tunggal (seperti peningkatan suhu yang menyebabkan *bleaching*) atau bisa jadi bersifat global atau berupa *multiple stressors* (lokal dan global) yang bekerja secara sinergis dan memberikan efek kumulatif (peningkatan suhu, tingkat aktivitas eksplorasi, kedekatan dengan aktivitas antropogenik, predasi, musim, dan lain-lain yang terjadi secara simultan). Akan tetapi, berdasarkan hasil monitoring luasan terumbu karang yang dilakukan oleh LKKPN Pekanbaru selama kurun waktu 2010-2021 (Gambar 14) terlihat bahwa telah terjadi fluktuasi persentase tutupan karang dengan tren yang cenderung meningkat. Hal tersebut menunjukkan bahwa walaupun terdapat *stressor* yang terjadi pada terumbu karang di TWPP. Pieh, terdapat potensi pemulihan terumbu karang yang diduga karena adanya resiliensi yang dilakukan oleh terumbu karang yang merupakan kemampuan ekosistem terumbu karang untuk menghadapi (mengabsorpsi) gangguan dan membangun kembali sistem yang didominasi oleh karang (Hughes *et. al.*, 2007).

Adanya mekanisme penilaian efektivitas kawasan konservasi perairan terhadap kondisi perikanan dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi untuk pembentukan kawasan konservasi lainnya di masa mendatang. Ketersediaan data perikanan pada kurun waktu sebelum penetapan kawasan konservasi perairan memiliki peran yang penting karena seringkali data tersebut tidak memiliki replikasi spasial yang sesuai dengan kebutuhan (Palumbi, 2001; Willis *et. al.*, 2003; Pelletier *et al.*, 2008). Kondisi tersebut umum terjadi di sebagian besar kawasan konservasi perairan karena target konservasi pada masing masing kawasan berbeda sesuai dengan kondisi dan keunikan ekosistem. Selain itu terdapat faktor kondisi lingkungan/habitat yang juga mempengaruhi sumber daya ikan. Sehingga ke depannya, sebaiknya data awal kondisi perikanan sebelum adanya kawasan konservasi perairan menjadi penting sebagai baseline untuk mengevaluasi efektivitas kawasan konservasi perairan terhadap perikanan (Russ *et. al.*, 2004; Murawski *et. al.*, 2005; Stobart *et. al.*, 2009; Goni *et. al.*, 2010).

KESIMPULAN

Hubungan kondisi status stok sumberdaya ikan karang di perairan Sumatera Barat dengan pengelolaan sumberdaya ikan karang melalui adanya KKP TWPP. Pieh belum secara maksimal berperan sebagai penyedia stok ikan karang yang dapat menyuplai kebutuhan biomassa ikan karang di perairan Sumatera Barat dan menyeimbangi tekanan penangkapan yang ada. Sebagai perbandingan, luasan TWP P. Pieh adalah sebesar 39.900 hektar atau sebesar 0,21 % dari luasan perairan Sumatera Barat yang bernilai 18,7 juta hektar. Citra Landsat menunjukkan secara

rata-rata, terjadi kecenderungan penurunan luasan terumbu karang pada periode 2009-2011 dan kecenderungan kenaikan pada periode 2014-2019. Akan tetapi secara umum terjadi tren peningkatan luasan tutupan karang selama periode pengelolaan TWP P. Pieh (2010-2021) sebagai kawasan konservasi perairan. Selain itu, nilai kelimpahan dan biomassa ikan karang yang berbanding lurus dengan persentase tutupan karang mengindikasikan adanya perbaikan ekosistem terumbu karang dan sumberdaya ikan karang sebagai dampak adanya pengelolaan kawasan konservasi perairan TWP P. Pieh.

PERSANTUNAN

Tulisan ini merupakan kontribusi dari kegiatan riset “Kajian Efektifitas Kawasan Konservasi Perairan Terhadap Pemulihan Sumberdaya Ikan” Tahun 2020-2021 pada Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Loka Kawasan Konservasi Perairan Nasional Pekanbaru Wilker Taman Wisata Perairan Pulau Pieh.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, S. B., Sadhotomo, B., & Nugroho, D. (2017). Aplikasi model surplus produksi non-ekuilibrium pada perikanan layang (*Decapterus macrosoma*) di Laut Jawa. *J. Lit. Perikan. Ind.*, 23(1): 57-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jppi.23.1.2017.57-66>.
- Botsford, L. W., Holland, M. D., Field, J. C., & Hastings, A. (2014). Cohort resonance: a significant component of fluctuations in recruitment, egg production, and catch of fished populations. *ICES Jour. of Mar. Sci.*, 71(8): 2158–2170. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu063>.
- Claudet, J., Osenberg, C. W., Domenici, P., Badalmenti, F., Millazo, M., Falcon, J. M., Bertocci, I., Benedetti-Cechhi, L., Garcia-Charton, J.-A., Goni, Somerfield, P. J., & Planes, S. (2010). Marine reserves: Fish lifehistory and ecological traits matter. *Ecological Applications*, 20(3): 830–839. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-2131.1>.
- Direktorat Konservasi dan Keanekaragaman Hayati Laut. (2021). Tahun 2021, KKP targetkan penetapan 800ribu hektar kawasan konservasi perairan. <https://kkp.go.id/djprl/kkhl/artikel/27156> [Diunduh pada tanggal 27 Desember 2021].
- Direktorat Konservasi dan Keanekaragaman Hayati Laut. (2019). Indonesia capai target luas kawasan konservasi perairan 20 juta Ha di tahun 2018. <https://kkp.go.id/djprl/kkhl/artikel/8214> [Diunduh pada tanggal 27 Desember 2021].

- Direktorat Konservasi Kawasan dan Jenis Ikan. (2012). Pedoman Teknis Evaluasi Efektivitas Pengelolaan Kawasan Konservasi Perairan, Pesisir, dan Pulau-Pulau Kecil (E-KKP3K). Direktorat Konservasi Kawasan dan Jenis Ikan, Dir. Jend. Kelautan, Pesisir, dan Pulau-Pulau Kecil, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 45 pp.
- Edwards, A.J., & Gomez, E.D. (2008). Konsep dan Panduan Restorasi Terumbu: Membuat Pilihan Bijak di Antara Ketidakpastian. Terj. Dari *Reef Restoration Concepts and Guidelines: Making Sensible Management Choices in The Face of Uncertainty*. Oleh: Yusri, S., Estradivari, N. S. Wijoyo, & Idris. Yayasan TERANGI, Jakarta: iv + 38 hlm.
- Goni, R., Badalamenti, F., & Tupper, M.H. (2011). Fisheries – Effect of marine protected areas on local fisheries: evidence from empirical studies. In *Marine Protected Areas: A Multidisciplinary Approach*, ed. Joachim Claudet. Cambridge University Press.
- Goni, R., Hilborn, R., D'áz, D., Mallol, S., & Adlerstein, S. (2010). Net contribution of spillover from a marine reserve to fishery catches. *Marine Ecology Progress Series*, 400: 233–243. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps08419>.
- Hilborn, R. (2007). Managing fisheries is managing people: what has been learned?. *Fish and Fisheries*, 8(4): 285–296. DOI: doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00263_2.x
- Hilborn, R., & Walters, C.J. (1992). *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall. New York, London. 570 p.
- Holon, F., Boissery, P., Guilbert, A., Freschet, E., and Deter, J. (2015). The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L. (Delile)) in South Eastern France: A slow but steady loss without recovery. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, XXX:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.017>.
- Hughes, T.P., Rodrigues, M.J., Bellwood, D.R., Ceccarelli, D., Hoegh-Guldberg, O., McCook, L., Moltschanivskyj, N., Pratchett, M.S., Steneck, R.S., & Willis, B. (2006). Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology*, 17(4): 360-365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.12.049>.
- Johnson, Richard A. & Wichern, Dean W (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis, 5th ed.* New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 788 pp.
- Lewis, J.B. (1987). Measurements of groundwater seepage flux onto a coral reef spatial and temporal variations. *Limnol. Oceanogr*, 32(5): 1165- 1169. DOI: doi.org/10.4319/lo.1987.32.5.1165
- Loka Kawasan Konservasi Perairan Nasional Pekanbaru. (2021). Taman Wisata Perairan (TWP) Pulau Pieh dan Laut di Sekitarnya. *Laporan*. Loka Kawasan Konservasi Perairan Nasional (KKPN) Pekanbaru, Kementerian Kelautan dan Perikanan. 23 pp.
- Loka Kawasan Konservasi Perairan Nasional Pekanbaru. (2015). Profil pengelolaan Taman Wisata Perairan Pieh dan Anambas. *Laporan*. Loka Kawasan Konservasi Perairan Nasional (KKPN) Pekanbaru, Kementerian Kelautan dan Perikanan. 64 pp.
- Luckhurst, B. & K. Luckhurst. (1978). Analysis of the influence of substrate variables on coral reef communities. *Marine Biology*, 49(4): 317-323. DOI: doi.org/10.1007/BF00455026.
- Millazo, M., Chemello, R., Badalamenti, F., Camarda, R., & Riggio, S. (2002). The impact of human recreational activities in marine protected areas: what lessons should be learnt in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 23(1): 280-290. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2002.tb00026.x>.
- Mumby, P. J. & Harborne, A. R. (2010). Marine reserves enhance the recovery of corals on Caribbean Reefs. *PLoS ONE*, 5(1): e8657. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008657>.
- Murawski, S.A., Wigley, S.E., Fogarty, M.J., Rago, P.J., & Mountain, D.G. (2005). Effort distribution and catch patterns adjacent to temperate MPAs. *ICES Journal of Marine Research*, 62: 1150–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.04.005>.
- Palumbi, S. (2001). The ecology of marine protected areas. In *Marine Community Ecology*, eds. M. D. Bertness, S. D. Gaines, and M. E. Hay. Sunderland, MA: Sinauer Associates, pp. 509–30.
- Pelletier, D., Claudet, J., Ferraris, J., Benedetti-Cecchi, L., and Garcia-Charton, J.A. (2008). Models and indicators for assessing conservation and fisheries-related effects of Marine Protected Areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 765–779. DOI: <https://doi.org/10.1139/f08-026>.
- Prager, M.H. (1994). A suite of extension to a nonequilibrium surplus-production model. *Fish. Bull. US*; 92:374-389.

- Puspasari, R., Wiadnyana, N. N., Nugraha, B., Hartati, S. T., Dharmadi, Oktaviani, D., Rachmawati, R., Nurfiarini, A., Sulaiman, P. S., Samusamu, A. S., dan Rachmawati, P. F. (2020). Kajian efektivitas kawasan konservasi perairan terhadap pemulihan sumberdaya ikan. *Laporan Teknis*. Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 219 pp.
- Quetglas, A., Ordines, F. Hidalgo, M. Monserrat, S. Ruiz, S. Amores, A. Moranta, J., and Massutí, E. (2013). Synchronous combined effects of fishing and climate within a demersal community. *ICES J. Mar. Sci.*, 70: 319–328. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss181>.
- Rani, C., Burhanuddin, A.I., & Attjo, A. A. (2011). Sebaran dan keragaman ikan karang di Pulau Barranglompo; Kaitannya dengan kondisi dan kompleksitas habitat. p. 1-14. In Isnansetyo, A. et al. (eds.). *Prosiding Seminar Nasional Tahunan VII, Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan Tahun 2011 Jilid II: Manajemen Sumberdaya Perikanan*. Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Restrepo, V. (2011). *Stock assessment 101: Current Practice for Tuna Stocks*. ISSF Technical Report 2011-01. International Seafood Sustainability Foundation. <http://www.trimarinegroup.com/resources/papers/Stock20Assessments2010.pdf>.
- Russ, G. R., Alcala, A. C., Maypa, A. P., Calumpong, H. P., & White, A. T. (2004). Marine reserve benefits local fisheries. *Ecological Applications*, 14: 597–606. DOI: <https://doi.org/10.1890/03-5076>.
- Schaefer, M. B. (1954). Some aspects of the dynamic of population important to management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm.* 1: 25-26.
- Stobart, B., Warwick, R., Gonzalez, C., Mallol, S., Diaz, D., Renones, O., and Goni, R. (2009). Long-term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community. *Marine Ecology Progress Series*, 384: 47–60. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps08007>.
- Salim, D. (2012). Pengelolaan ekosistem terumbu karang akibat adanya pemutihan (*bleaching*) dan rusak. *Jurnal Kelautan*, 5(2): 142.155. DOI: <https://doi.org/10.21107/jk.v5i2.870>.
- Urbanski, J. A. (2010). The extraction of coastline using OBIA and GIS. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spa. Inf Sci.*, XXXVIII(4):1-4.
- Vasapollo, C. & Gambi, M. C. (2012). Spatio-temporal variability in *Posidonia oceanica* seagrass meadows of the Western Mediterranean: shoot density and plant features. *Aquatic Biology*, 16:163–175. DOI: [10.3354/ab00456](https://doi.org/10.3354/ab00456).
- Willis, T. J., Millar, R. B., Babcock, R. C., & Tolimieri, N. (2003). Burdens of evidence and the benefits of marine reserves: putting Descartes before des horse?. *Environmental Conservation*, 30: 97–103. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0376892903000092>.
- Worm, B., Hilborn, R., Baum, J. K., Branch, T. A., Collie, J. S., Costello, C., & Fogarty, M. J. (2009). Rebuilding global fisheries. *Science*, 325: 578–585. DOI: [10.1126/science.1173146](https://doi.org/10.1126/science.1173146).
- WPCouncil. (2020). What is Kobe plot. Western Pacific Regional Fishery Management Council. https://issuu.com/wpcouncil/docs/what_is_a_kobe_plot.