

**PENGELOLAAN PERIKANAN KERAPU SKALA KECIL  
DI TELUK SALEH PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

**DIDING SUDIRA EFENDI**



**PROGRAM STUDI  
PENGELOLAAN SUMBERDAYA PESISIR DAN LAUTAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2021**

**PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN  
SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengelolaan Perikanan Kerapu Skala Kecil di Teluk Saleh Provinsi Nusa Tenggara Barat” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2021

Diding Sudira Efendi  
NIM C262170071

## RINGKASAN

DIDING SUDIRA EFENDI. Pengelolaan Perikanan Kerapu Skala Kecil di Teluk Saleh Provinsi Nusa Tenggara Barat. Dibimbing oleh LUKY ADRIANTO, YUSLI WARDIATNO dan YONVITNER.

Wilayah perairan Teluk Saleh di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu daerah penangkapan yang produktif pemasok ikan kerapu di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP-NRI) 713. Berdasarkan laporan statistik, tidak kurang dari empat ribu ton kerapu dapat dihasilkan dari wilayah ini setiap tahunnya. Hingga saat ini, tingginya produksi tersebut tidak terlepas dari masih tersedianya sumberdaya perairan yang mendukung keberlanjutan kegiatan penangkapan ikan yang menjadi tumpuan penghidupan bagi tidak kurang dari 5.188 nelayan yang bermukim di sepanjang pesisir teluk tersebut. Namun demikian, tekanan dan eksploitasi yang tinggi terhadap jenis ikan karang ini sebagai respon dari tingginya permintaan domestik ataupun internasional tentunya jelas menyebabkan kondisi ini mengarah pada praktik *overfishing* di wilayah tersebut, serta lambat laun menjadi ancaman utama bagi keberlangsungan sektor perikanan tangkap di area tersebut secara keseluruhan.

Menyikapi fenomena tersebut, pemerintah daerah telah mengambil sikap untuk melakukan pengendalian penangkapan yang berlebihan tersebut melalui kebijakan pembatasan aktivitas penangkapan sebagai bagian dari intervensi pengelolaan sumber daya perikanan. Kebijakan tersebut memiliki potensi untuk menghasilkan dampak yang positif dalam peningkatan status stok dan kesejahteraan nelayan. Penelitian ini berlangsung pada Januari 2019 sampai dengan Juni 2020 di Teluk Saleh Provinsi NTB dengan fokus di Desa Labuhan Kuris, Labuhan Sangoro, Labuhan Jambu, dan Soro. Metode analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif, *length-based assessment* (TropFish R), *length-based spawning potential ratio* (LB-SPR), bioekonomi spasial, data envelopment analysis, *agent-based modeling*, dan dinamika sistem. Penelitian memiliki empat cakupan area, yaitu: status stok ikan kerapu, kondisi ekonomi, menyusun skenario pengelolaan berbasis agen, dan skenario dinamika sistem perikanan dalam kondisi data yang terbatas (*data-poor fisheries*).

Dengan menggunakan model surplus produksi, perikanan kerapu di Teluk Saleh secara keseluruhan telah mengalami gejala *overfishing* dengan tingkat upaya dan hasil tangkapan melebihi kondisi optimal. Sementara itu, dengan menggunakan indikator ukuran panjang ikan, hanya ikan kerapu sunu halus berada pada kondisi *overexploited* yang mengancam keberlanjutan sumberdaya (*unsustainable level*). Hal ini dilihat dari nilai *spawning potential ratio* (SPR) *Plectropomus leopardus* dan *Epinephelus coioides* berada di bawah *limit reference point* (0,20) dan terus mengalami penurunan dibanding sebelum kebijakan diberlakukan pada tahun 2017 akibat semakin intensnya penangkapan yang didorong tingginya permintaan pasar internasional. Sebaliknya, jenis *Plectropomus maculatus* memiliki nilai SPR di atas 20 persen yang mengindikasikan populasi ikan tersebut dalam kondisi sehat dan tidak beresiko mengalami *overfishing*.

Secara ekonomi, perikanan ini juga mengalami inefisiensi karena tingginya jumlah upaya penangkapan yang dilakukan sebagai respon dari keinginan mendapatkan rente ekonomi yang lebih besar. Secara spasial, nelayan melakukan

penangkapan ikan terkonsentrasi di daerah penangkapan yang produktif dan memberi rente ekonomi yang lebih banyak (Rp76 milyar dari total Rp87 milyar), yaitu di sekitar zona inti kawasan konsevasi perairan baik di perairan Pulau Rakit dan Pulau Ngali dan sekitarnya. Zona tersebut diduga dapat memberikan dampak positif berupa limpahan ikan (*spill-over effect*).

Namun demikian, kebijakan dan regulasi yang mengatur teknis penangkapan ikan kerapu tampaknya belum cukup efektif untuk mendorong tumbuhnya pengelolaan sumber daya perairan yang berkelanjutan terutama di dalam konteks perikanan skala kecil di Teluk Saleh. Kecenderungan terjadinya penurunan populasi ikan dan berkurangnya potensi keuntungan yang diraup diperkirakan masih akan terus terjadi jika dilihat dari indikator kepatuhan terhadap langkah pengelolaan masih lemah (kondisi open akses). Untuk memperbaiki pengelolaan lebih lanjut di masa datang, diperlukan upaya-upaya lain, dalam bentuk kebijakan atau regulasi yang menasar perubahan perilaku nelayan. Perubahan strategi ini diharapkan dapat meningkatkan derajat kepatuhan individu nelayan terhadap penerapan opsi-opsi kebijakan pengelolaan perikanan. Penelitian ini menggunakan kerangka simulasi untuk menduga performa biologi dan ekonomi dengan lima skenario kebijakan. Berdasarkan pemodelan simulasi berbasis agen analisis dan dinamika system, penelitian ini merekomendasikan tiga skenario kebijakan pengelolaan perikanan adaptif untuk dipertimbangkan lebih lanjut, yaitu: (1) strategi penurunan upaya penangkapan hingga 75 persen dari kondisi saat ini dalam kerangka *total allowable effort* (TAE) berbasis bioekonomi spasial dan temporal; (2) penerapan penutupan musim penangkapan selama tiga bulan dalam kerangka TAE; (3) penetapan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (*total allowable catch* atau *TAC*) bersamaan dengan penerapan TAE. Namun pemilihan strategi tersebut perlu didukung ketersediaan data yang akurat melalui monitoring secara berkala, penguatan pengawasan dan penegakan hukum, pemberian insentif (bantuan alat yang selektif dan mata pencaharian alternatif), serta pembentukan kelembagaan (*co-management*). Strategi tersebut diharapkan dapat dipertimbangkan pemerintah daerah untuk menyempurnakan berbagai instrumen pengelolaan perikanan yang kini sedang dilakukakan.

Kata kunci: bioekonomi spasial, dinamika sistem, model berbasis agen, pembatasan upaya, skenario kebijakan

## SUMMARY

DIDING SUDIRA EFENDI. Managing Small-Scale Fisheries of Grouper in the Saleh Bay, West Nusa Tenggara Province. Supervised by LUKY ADRIANTO, YUSLI WARDIATNO, and YONVITNER.

The Saleh Bay West Nusa Tenggara (WNT) is a productive fishing grounds for grouper in Fisheries Management Area 713 regarding total annual fish landings. The historical fisheries data in the last ten years indicated average annual catch landings of four thousand tons for grouper in this area. These fisheries also play an important role in providing the livelihoods of coastal and small-islands communities, especially for 5,188 fishers who live along its coastline area. However, due to the high intensity of fishing pressures in response to the high domestic and international demand for groupers, this condition leads to overfishing practices. It gradually poses a major threat to the sustainability of the entire fishing industry.

The survey was carried out between January 2019 until June 2020 and conducted in Saleh Bay, WNT Province. The research location is focused on four fishing villages: Labuan Kuris, Labuan Sangoro, Labuan Jambu, and Soro. This study implemented multi-analytical methods: descriptive statistical analysis, length-based assessment (TropFish R), length-based spawning potential ratio (LB-SPR), spatial bioeconomic, data envelopment analysis, system dynamic, and agent-based modeling. This research has four main areas: a) sustainability status of the grouper fish stock, b) performance of spatial bioeconomic and technical efficiency of grouper fishery, c) policy scenarios using agent-based model, and d) system dynamic for grouper fishery under data-poor fisheries conditions.

By using the surplus production model, the grouper fishery in Saleh Bay as a whole has experienced symptoms of overfishing with the level of effort and catch exceeding optimal conditions. Meanwhile, by using the length-based indicator, evidence shows an increase in spawning potential ratio (SPR) values of grouper species after the policy implementation, except spotted coral grouper (*Plectropomus maculatus*). The estimates SPR calculated for *Plectropomus leopardus* and *Epinephelus coioides* indicated that these species are currently fished at overexploited with an SPR value of 0.19 and 0.15, respectively. The sustainability of these stocks is threatened due to continued expansion of the fishing activities and high demand for these species to fulfill the international market, and the price is relatively high compared to other species. On the other hand, the SPR of *Plectropomus maculatus* is above the reference point, which indicates that both fish populations are healthy and at low risk of overfishing.

Economically, this fishery is also experiencing inefficiency due to the high number of fishing efforts responded to the quasi profits. Spatially, fishers will prefer fishing grounds that yield a satisfactory and maximize their earnings (around IDR76 billion of total IDR87 billion) by fishing around the borders of the core zone of Marine Protected Area, both in the of Rakit Island and Ngali Island and adjacent waters. The fishing vessels take advantage of the spill-over effect of fish stock from protected areas.

The regulation governing grouper fishing techniques is not effective enough to encourage sustainable aquatic resource management, especially in the context of small-scale fisheries. Also, the trend of fish depopulation and the potential risk

of income loss which is predicted to continue indicates the need for improving the compliance level so that the regulatory policy works effectively. This study highlighted the importance of developing adequate behavioral models to provide better options and to complement existing fisheries management for ensuring the long-term sustainability of the grouper fisheries in Saleh Bay. We developed simulations framework to assess biological and economic performance using five different policy scenarios. From agent-based model simulations and system dynamic analysis, this research recommends three scenarios of adaptive fisheries management policy for further consideration, namely: (1) limiting 75 percent of fishing effort using Total Allowable Effort (TAE); (2) the three months closed fishing season in the TAE framework; (3) promoting hybrid strategy of total allowable catches (TAC) and TAE. The three strategies need to be supported by the availability of accurate data through regular monitoring, the strengthening of surveillance and law enforcement, the provision of incentives for fishers (promotion of more sustainable gear, alternative livelihood), and the establishment of institutions (co-management). These strategies expect to be considered by local government to improve existing fisheries management instruments.

*Keywords: agent-based modeling, policy scenarios, spatial bioeconomic, system dynamic, limiting effort*

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2021  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*



**PENGELOLAAN PERIKANAN KERAPU SKALA KECIL  
DI TELUK SALEH PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

**DIDING SUDIRA EFENDI**

Disertasi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan

**PROGRAM STUDI  
PENGELOLAAN SUMBERDAYA PESISIR DAN LAUTAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2021**

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Nama lengkap dan gelar
- 2 Nama lengkap dan gelar

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Nama lengkap dan gelar
- 2 Nama lengkap dan gelar



Judul Tesis : Pengelolaan Perikanan Kerapu Skala-Kecil di Teluk Saleh  
Provinsi Nusa Tenggara Barat  
Nama : Diding Sudira Efendi  
NIM : C262170071

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Ir. Luky Adrianto, M.Sc. \_\_\_\_\_

Pembimbing 2:  
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc. \_\_\_\_\_

Pembimbing 3:  
Dr. Yonvitner, S.Pi, M.Si. \_\_\_\_\_

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan  
Dr. Ir. Ario Damar, M.Si. \_\_\_\_\_  
NIP: 196604281990021001

Dekan Sekolah Pascasarjana:  
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng. \_\_\_\_\_  
NIP: 196004191985031002

Tanggal Ujian Tertutup :  
Tanggal Sidang Promosi Terbuka:

Tanggal Lulus:

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2019 sampai bulan Juni 2020 ini ialah “Pengelolaan Perikanan Kerapu Skala Kecil di Teluk Saleh Provinsi Nusa Tenggara Barat”. Pemilihan judul tersebut dilandasi dengan fenomena perikanan kerapu di perairan tersebut yang telah diatur dalam pengelolaan perikanan di level provinsi dan penelitian ini diharapkan memotret gambaran kondisi terkini perikanan tersebut dan strategi pengelolaan yang diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan perikanan tersebut.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari kontribusi dan dukungan penuh dari semua pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ketua Komisi Pembimbing Bapak Dr. Ir. Luky Adrianto, M.Sc. dan anggota Komisi Pembimbing Bapak Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc., dan Bapak Dr. Yonvitner, S.Pi., M.Si. atas kepakaran, keilmuan, pengalaman, pengetahuan, ketelitian dan keikhlasannya dalam membimbing penulis mulai dari persiapan proposal hingga selesainya penulisan disertasi.
2. Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Ketua Program Studi Doktor Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan (SPL) beserta jajarannya yang telah memfasilitasi dan memberikan kemudahan dalam administrasi dan proses selama perkuliahan, termasuk seluruh dosen SPL atas ilmu dan pengembangan pola pikir yang berkontribusi dalam penyelesaian disertasi ini.
3. Bapak Dr. Ir. M. Mukhlis Kamal, M.Sc. dan Bapak Dr. Ir. Rahmat Kurnia, M.Sc. sebagai penguji ujian kualifikasi tertulis dan lisan, yang telah menyampaikan berbagai pendalaman teori, serta masukan yang berharga untuk membangun dan memperkaya disertasi ini.
4. Bapak Dr. Ridwan Mulyana, S.Pi., MT. selaku Direktur Perizinan dan Kenelayanan (PDK) dan Bapak Ir. Yuliadi, MM sebagai Sesditjen Perikanan Tangkap Kementerian Kelautan dan Perikanan beserta jajarannya atas izin dan bantuan kepada penulis untuk menempuh tugas belajar. Tak lupa penulis menyampaikan terima kasih yang tak hingga untuk Bapak Ir. Saifuddin, MMA selaku Direktur PDK periode 2017-2018, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melanjutkan studi.
5. Kepala Pusdik Kelautan dan Perikanan Kementerian Kelautan dan Perikanan atas Beasiswa Pendidikan Pascasarjana dan Direktur Conservation Strategy Fund atas fellowship yang diberikan.
6. Direktur Wildlife Conservation Society Program Indonesia, Direktur YKAN, Kepala Dinas Kelautan Perikanan Kabupaten Sumbawa, Kepala Seksi Pengawasan dan Sumberdaya DKP Provinsi, nelayan, pedagang pengumpul, pengawas, enumerator WCS (Lalu Ilham), atas dukungan data biologi dan data terkait lainnya.
7. Kolega SESO Lab, Divisi MSPi, Departemen MSP, FPIK-IPB University, yaitu khususnya Dr. Suryo Kusumo atas *sharing* pengetahuan dan praktik

pemodelan dengan perangkat STELLA dan POSEIDON serta Dr. Andi Zulfikar dengan perangkat R studio (TropFishR dan FSA).

8. Tim Poseidon terutama Steve Paul, Ernesto Carella, Aarthi Ananthanarayan, Rani Ekawati atas diskusi dan bantuan operasionalisasi pemodelan berbasis agen ditengah keterbatasan waktu dan data yang ada.
9. Keluarga besar SPL, khususnya SPL 2017 (Medi Nopiana, Indra Cahyadinata, Muis, Munawar, M. Rifqi, Rahman, Setyo Handayani) atas persahabatan dan kebersamaan yang terjalin selama menempuh studi program doktor ini
10. Kedua orang tua penulis (almarhum Bapak Carsu dan almarhumah Emih Rusniti) atas ketulusan doa dan kasih sayang yang diberikan sampai akhir hayat, semoga Allah meridhai dan mempertemukan kembali di surga-Nya kelak.
11. Istri tercinta (Eka Astuti) dan anak-anak tersayang (Nadia Husna Nafisa, Naura Hasna Syakira, M. Nabil Ahsan Efendi) atas kesabaran, pengertian dan motivasi kepada penulis untuk meyelesaikan studi ini, serta keluarga kakak dan adik penulis atas dukungan selama ini.
12. Semua pihak yang belum sempat disampaikan satu per satu atas segala bantuan dan dukungannya selama dan seterusnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2021

*Diding Sudira Efendi*

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Kerangka Penelitian	4
1.6 Kebaruan ( <i>Novelty</i> ) Penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sumberdaya Ikan Kerapu	7
2.2 Konsep dan Instrumen Pengelolaan Perikanan	8
2.3 Indikator Pendugaan Status Stok Ikan	11
2.4 <i>Social Ecological System</i>	12
2.5 Pemodelan Berbasis Agen	15
2.6 Model dan Dinamika Sistem	16
III METODOLOGI UMUM	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Jenis dan Sumber Data	19
3.3 Metode Analisis data	21
IV STATUS STOK SUMBERDAYA IKAN KERAPU DI TELUK SALEH	24
4.1 Pendahuluan	24
4.2 Tujuan Penelitian	25
4.3 Metode	25
4.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	25
4.3.2 Pengumpulan Data	25
4.3.3 Metode Analisis	26
4.4 Hasil dan Pembahasan	27
4.5 Simpulan dan Saran	35
V PERFORMA EKONOMI PERIKANAN KERAPU DI TELUK SALEH: PENDEKATAN BIOEKONOMI SPASIAL DAN EFISIENSI TEKNIS	38
5.1 Pendahuluan	38
5.2 Tujuan Penelitian	39
5.3 Metode	39
5.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	39
5.3.2 Pengumpulan Data	40
5.3.3 Metode Analisis	40
5.4 Hasil dan Pembahasan	47
5.5 Simpulan dan Saran	59
VI SKENARIO PENGELOLAAN PERIKANAN KERAPU BERBASIS AGEN	61

user 14/9/21 15.49
Deleted: xv
user 14/9/21 15.49
Deleted: xvi
Unknown
Field Code Changed
Unknown
Field Code Changed
user 14/9/21 15.49
Deleted: xvii
Unknown
Field Code Changed
Unknown
Field Code Changed
Unknown
Field Code Changed

6.1	Pendahuluan	61
6.2	Tujuan Penelitian	62
6.3	Metode	62
	6.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	62
	6.3.2 Pengumpulan Data	62
	6.3.3 Metode Analisis	63
6.4	Hasil dan Pembahasan	65
6.5	Simpulan dan Saran	76
VII	DINAMIKA EKOLOGI DAN EKONOMI PERIKANAN KERAPU	77
7.1	Pendahuluan	77
7.2	Tujuan Penelitian	78
7.3	Metode	78
	7.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	78
	7.3.2 Pengumpulan Data	78
	7.3.3 Metode Analisis	79
7.4	Hasil dan Pembahasan	82
7.5	Simpulan dan Saran	106
VIII	PEMBAHASAN UMUM	107
IX	SIMPULAN DAN SARAN	111
9.1	Simpulan	111
9.2	Saran	111
	DAFTAR PUSTAKA	113
	LAMPIRAN	124
	RIWAYAT HIDUP	162

## DAFTAR TABEL

1	Instrumen pengendalian dalam perikanan karang	10
2	Penentuan jumlah nelayan sampel	20
3	Data dan metode analisis data	22
4	Jumlah dan nama lokal serta nama Inggris ikan sampel	25
5	Ukuran panjang ikan kerapu sampel	28
6	Perbandingan jumlah ikan sampel yang memenuhi titik acuan dalam PERGUB	29
7	Parameter pertumbuhan ikan kerapu	31
8	Estimasi tingkat kematian dan eksploitasi ikan kerapu	31
9	Ukuran ikan pertama kali tertangkap dan ukuran pertama kali matang gonad	32
10	Estimasi nilai <i>spawning potential ratio</i> ikan kerapu	33
11	Perkembangan nilai rerata panjang ikan tertangkap, rasio kematian dan SPR	33
12	Parameter biologi model Schaefer perikanan kerapu	35
13	Formulasi penentuan indikator bioekonomi pada setiap kondisi perusahaan	40
14	Data spesifikasi armada penangkapan kerapu di Teluk Saleh	48
15	Optimalisasi bioekonomi dalam berbagai kondisi perusahaan perikanan kerapu di Teluk Saleh	53
16	Variabel input dan output yang digunakan pada <i>Data Envelopment Analysis</i>	57
17	Parameter estimasi nilai inefisiensi teknis	58
18	Faktor-faktor yang menyebabkan efisiensi dan inefisiensi penangkapan kerapu di Teluk Saleh	59
19	Daftar agen, atribut dan perilaku di dalam model dasar perikanan kerapu di Teluk Saleh	64
20	Indikator hasil analisis Poseidon dengan skenario BAU	69
21	Analisis <i>cost-benefit indicators</i> simulasi 10 skenario alternatif model pengelolaan berbasis agen dengan menggunakan <i>trade-off analysis</i>	72
22	Parameter dan persamaan yang digunakan pada dinamika sistem perikanan kerapu di Teluk Saleh	88
23	Nilai MAPE menggunakan data ikan hasil tangkapan (ton)	90
24	Nilai MAPE menggunakan data keuntungan nelayan (Rp)	90
25	Nilai variabel jumlah hari melaut per tahun	91
26	Hasil uji-t antara data perubahan upaya dengan hasil tangkapan ikan dan profit	93
27	Nilai variabel kuota terhadap MSY	93
28	Hasil uji-t antara data perubahan kuota terhadap MSY dengan hasil tangkapan dan profit nelayan	95
29	Nilai sensitivitas untuk setiap variabel bebas	95
30	Nilai variabel jumlah hari melaut (hari per tahun)	96
31	Analisis <i>cost-benefit indicators</i> menggunakan <i>trade-off analysis</i> untuk variabel upaya penangkapan	98
32	Nilai variabel kuota terhadap MSY	98

33	Analisis <i>cost-benefit indicators</i> variabel kuota penangkapan menggunakan <i>trade-off analysis</i>	101
34	Pilihan kebijakan berbasis skenario	102
35	Analisis <i>cost-benefit indicators</i> berbagai skenario kebijakan menggunakan <i>trade-off analysis</i>	105

## DAFTAR GAMBAR

1	Estimasi potensi dan tingkat pemanfaatan ikan karang serta komposisi produksi tangkapan ikan kerapu menurut WPPNRI	1
2	Kerangka pemikiran	6
3	Total hasil tangkapan kerapu ( <i>Epinephelidae</i> ) di WPP 713 tahun 2019 (www.data-ikan.org, diolah)	8
4	Model konseptual sistem sosial ekologis (Anderies <i>et al.</i> 2004)	14
5	Peta lokasi penelitian	18
6	Skema pengambilan contoh untuk data aspek sosial ekonomi	19
7	Skema pengambilan contoh untuk data aspek biologi	20
8	Distribusi frekuensi panjang ikan <i>Plectropomus leopardus</i>	29
9	Distribusi frekuensi panjang ikan <i>Plectropomus maculatus</i>	30
10	Distribusi frekuensi panjang ikan <i>Epinephelus coioides</i>	30
11	CPUE dan trip penangkapan kerapu di Teluk Saleh, 2009-2018	34
12	Kurva hubungan antara biomas dengan hasil tangkapan	36
13	Lokasi penelitian dan pembagian DPI	39
14	Model Gordon-Schaefer	42
15	Ilustrasi konsep bioekonomi spasial di Teluk Saleh	44
16	Tipe armada penangkapan dan alat tangkap panah	47
17	Tipe armada penangkapan dan alat tangkap pancing	48
18	Pergerakan kapal pancing penangkap kerapu dan daerah penangkapan ikan pada musim timur (Mei-November) berdasarkan GPS tracker (WCS, 2019)	50
19	Pergerakan kapal pancing penangkap kerapu dan daerah penangkapan ikan pada musim barat (Desember-April) berdasarkan GPS tracker (WCS, 2019)	50
20	CPUE dan RPUE ikan kerapu di Teluk Saleh tahun 2019	51
21	Hubungan <i>effort</i> dengan total penerimaan dan total biaya	52
22	Alokasi trip optimal penangkapan kerapu menurut musim dan DPI	54
23	Nilai rente ekonomi perikanan kerapu menurut musim dan DPI	54
24	Nilai rente ekonomi tahunan perikanan kerapu di Teluk Saleh	56
25	Model POSEIDON dan kebutuhan data yang digunakan (dimodifikasi dari POSEIDON Team 2019)	65
26	Persepsi responden terhadap aktivitas perikanan dan PERGUB (n = 50)	66
27	Simulasi pergerakan kapal penangkapan ikan di Teluk Saleh	67

28	Hasil simulasi lima skenario terhadap upaya penangkapan (a), biomasa ikan (b), biaya per trip (c), dan profit per trip (d)	70
29	Peta Kawasan konservasi perairan Pulau Liang, Pulau Ngali dan perairan sekitarnya (Sumber: Kepmen KP No. 20 tahun 2020)	73
30	Simulasi perubahan perilaku nelayan dalam merespon kebijakan pelarangan penangkapan di zona inti kawasan konservasi perairan (zona inti digambarkan dengan segiempat warna abu-abu)	75
31	<i>Causal Loop Diagram</i> yang mendeskripsikan dinamika perikanan kerapu di Teluk Saleh	81
32	Sub-model stok ikan dan ekosistem	83
33	Sub-model hasil tangkapan	85
34	Sub-model upaya penangkapan	86
35	Sub-model ekonomi perikanan	87
36	Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan upaya (hari melaut) terhadap hasil tangkapan (ton)	92
37	Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan upaya (hari) terhadap profit yang diterima nelayan per hari (Rp)	92
38	Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan kuota terhadap hasil tangkapan (ton)	94
39	Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan kuota terhadap profit per kapal (Rp)	94
40	Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap biomas ikan	96
41	Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap hasil tangkapan	97
42	Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap keuntungan nelayan	97
43	Simulasi kebijakan kuota terhadap biomas ikan	99
44	Simulasi kebijakan kuota terhadap hasil tangkapan	99
45	Simulasi kebijakan kuota terhadap keuntungan nelayan	100
46	Simulasi kebijakan kuota terhadap upaya penangkapan	100
47	Dampak skenario kebijakan terhadap biomas	103
48	Dampak skenario kebijakan terhadap hasil tangkapan	103
49	Dampak skenario kebijakan terhadap keuntungan	104
50	Dampak skenario kebijakan terhadap upaya	104

## DAFTAR LAMPIRAN

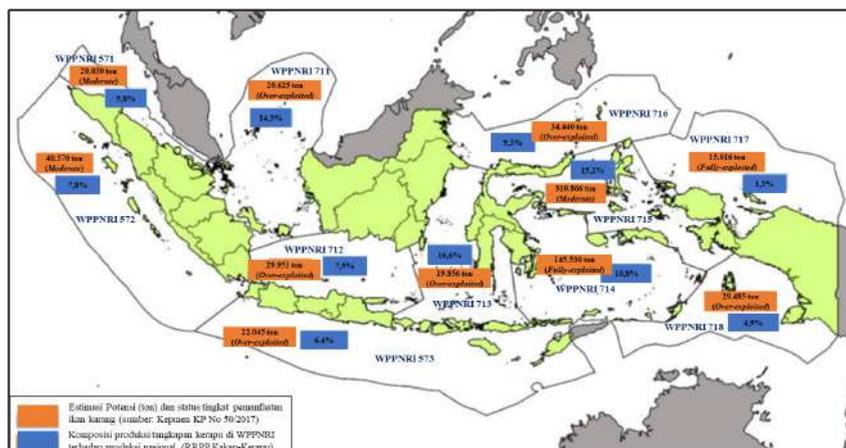
1	<i>Script</i> dan <i>output</i> R Studio package TropFishR untuk menghitung parameter biologi ikan kerapu sunu halus ( <i>Plectropomus leopardus</i> )	125
2	<i>Script</i> dan <i>output</i> R Studio package TrofishR untuk menghitung parameter biologi ikan <i>Plectropomus maculatus</i>	135
3	Nilai <i>spawning potential ratio</i> <i>Plectropomus leopardus</i> pada <a href="http://www.barefootecologist.com.au">www.barefootecologist.com.au</a>	145
4	Nilai <i>spawning potential ratio</i> <i>Plectropomus maculatus</i> pada <a href="http://www.barefootecologist.com.au">www.barefootecologist.com.au</a>	146

5	Nilai <i>spawning potential ratio</i> <i>Epinephelus coioides</i> pada <a href="http://www.barefootecologist.com.au">www.barefootecologist.com.au</a>	147
6	Hasil olahan Trofish R untuk menghitung parameter biologi SPM	148
7	Hasil regresi CPUE dan effort dengan data analysis excel	150
8	Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi MEY	151
9	Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi MSY	152
10	Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi <i>open access</i> (OA)	153
11	Hasil Model Regresi Step-wise persamaan inefisiensi Penangkapan dengan aplikasi online <a href="http://www.swanstatistic.com">www.swanstatistic.com</a>	154
12	Tampilan fitur POSEIDON untuk pengisian parameter	156
13	POSEIDON format input data (*.yaml)	157
14	Tampilan fitur POSEIDON saat <i>running</i> program dan opsi kebijakan	159
15	Tampilan fitur POSEIDON menu <i>output Aggregate Data</i>	160
16	Contoh hasil simulasi POSEIDON	161

# I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perikanan karang, utamanya jenis kerapu dan kakap, merupakan perikanan yang penting yang berkontribusi dalam menyediakan pekerjaan dan ketahanan pangan bagi jutaan nelayan termasuk nelayan skala kecil dan masyarakat lokal di seluruh dunia (Sadovy de Mitcheson *et al.* 2013). Indonesia adalah salah satu pemasok kerapu terbesar di dunia atau sebesar 30 persen, dengan produksi pertahun sebesar 115.805 ton per tahun dalam satu dekade ini (FAO 2021) sehingga komoditas ekspor tersebut sangat penting dalam menghasilkan devisa negara. Pada tahun 2018, ekspor kerapu Indonesia mencapai 41,4 juta dolar (BPS 2019). Produk perikanan kerapu yang paling diminati masyarakat dan memiliki harga tinggi di pasaran global adalah jenis ikan yang diperdagangkan dalam keadaan hidup, segar, dan dalam bentuk olahan. Tingginya nilai ekspor komoditi ikan tersebut tidak lepas dari ketersediaan produksi perikanan tersebut yang dihasilkan. Pada tahun 2018, tercatat produksi perikanan kerapu secara nasional sebesar 180.755,70 ton, dengan kenaikan rata-rata masing-masing sebesar 11,4 persen per tahun selama periode 2010-2018 (KKP 2020). Oleh karena posisinya sebagai komoditi ekspor perikanan yang bernilai tinggi, data kajian estimasi potensi sumberdaya ikan karang (termasuk kerapu di dalamnya) dilakukan secara terpisah (Kepmen 2017). Hasil tangkapan kerapu tersebar di seluruh Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPPNRI) sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Estimasi potensi dan tingkat pemanfaatan ikan karang serta komposisi produksi tangkapan ikan kerapu menurut WPPNRI

Salah satu potensi sumberdaya ikan kerapu di Indonesia terdapat di perairan Teluk Saleh yang berada di WPPNRI 713 meliputi perairan Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores dan Laut Bali yang menyumbang sebesar 16,6 persen terhadap total produksi tangkapan kerapu nasional atau terbesar dibandingkan WPPNRI lainnya. Perikanan kerapu di Teluk Saleh dalam sepuluh tahun terakhir telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total produksi perikanan karang

di di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), dengan rata-rata hasil tangkapan 4.048,71 ton per tahun per tahun (BPS Kabupaten Sumbawa dan BPS Kabupaten Dompu) atau kedua jenis komoditi tersebut telah menyumbang sekitar 81 persen dari total tangkapan kerapu di Provinsi NTB (KKP 2020). Tidak kurang dari 5.188 nelayan termasuk nelayan skala kecil yang hidup di desa sepanjang pesisir Teluk Saleh bertumpu pada perikanan tersebut.

Namun, perikanan karang di Teluk Saleh telah terancam akibat tingkat penangkapan yang berlebihan dan penggunaan potasium sianida oleh para nelayan. Penelitian Wildlife Conservation Society (WCS) yang telah dilaksanakan pada April 2016 - Maret 2017 di Perairan Teluk Saleh dengan menggunakan parameter laju eksploitasi dan rasio potensi pemijahan menunjukkan bahwa, jenis ikan kerapu sunu (*Plectropomus areolatus*), kerapu merah (*Cephalopholis miniata*), dan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) rata-rata ditangkap di dalam kondisi belum memijah sehingga praktik penangkapan tersebut terindikasi mengarah pada *overfishing* dan menyebabkan *overexploited* (Agustina *et al.* 2017). Hal ini sejalan dengan studi yang dilakukan Sadovy de Mitcheson *et al.* (2013) dan Kadison *et al.* (2017) yang menyatakan bahwa saat ini kelompok ikan tersebut dinyatakan paling rentan (*vulnerable*) akibat tekanan penangkapan dan degradasi habitat.

Pemerintah daerah telah berupaya untuk melakukan pengendalian penangkapan yang berlebihan dan merusak tersebut melalui kebijakan pembatasan aktivitas penangkapan sebagai bagian dari intervensi pengelolaan sumberdaya perikanan. Secara legal-formal, kebijakan tersebut dituangkan ke dalam Peraturan Gubernur NTB Nomor 32 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Pengelolaan Perikanan Kerapu dan Kakap Berkelanjutan di Teluk Saleh dan perairan sekitarnya untuk periode tahun 2018-2023 (Pergub 2018). Kebijakan tersebut mengatur pembatasan aktivitas penangkapan melalui instrumen *minimum legal size* (MLS), pembatasan upaya penangkapan dan pengaturan musim penangkapan.

Setiap kebijakan diharapkan dapat mendorong peningkatan kondisi tekno-sosio-ekonomi usaha perikanan, maka kajian mengenai dampak kebijakan ini terhadap performa biologi dan kondisi sosial ekonomi nelayan berskala kecil sangat diperlukan. Kajian mengenai *reference point* indikator biologi dan sosial ekonomi belum banyak dikaji pada perikanan kerapu skala kecil saat ini. Hal ini dikarenakan kondisi data yang tersedia sangat terbatas (*data-poor fisheries*). Penyusunan strategi pengelolaan untuk perikanan dengan data yang terbatas memiliki tantangan tersendiri yaitu mengintegrasikan realitas dan keterbatasan perikanan ini dengan tujuan atau kebijakan perikanan. Kajian ini juga penting sebagai input untuk meningkatkan efektivitas penerapan kebijakan tersebut. Kajian model diharapkan menjadi model bagi pengembangan pengelolaan perikanan kerapu di WPPNRI 713.

## 1.2 Rumusan Masalah

Upaya Pemerintah Daerah NTB untuk mengelola perikanan kerapu secara berkelanjutan, meningkatkan manfaat ekonomi, dan meningkatkan partisipasi serta kepatuhan *stakeholder* dalam mengurangi praktik perikanan tidak berkelanjutan, patut diapresiasi. Regulasi yang mengatur teknis perikanan secara spesifik, merupakan sesuatu yang baru di dalam ranah kebijakan perikanan.

user 21/8/21 17.34

Comment [1]: Growth overfishing?

user 21/8/21 17.36

Comment [2]: Para pihak (*stakeholders*)

Sejauh ini, belum ada daerah selain Provinsi NTB yang mengatur secara spesifik pengelolaan perikanan kerapu di dalam regulasi daerah. Namun begitu, penerapan berbagai regulasi ini seringkali dihadapkan dengan resistensi dan ketidakpatuhan pelaku usaha – yang sebagian besarnya adalah nelayan berskala kecil – sehingga tampaknya berpengaruh pada rendahnya efektivitas regulasi tersebut.

Resistensi terhadap suatu kebijakan (*policy resistance*) terjadi ketika tujuan sebuah kebijakan tidak sejalan dengan tujuan para pelaku di dalam sebuah sistem yang menjadi target kebijakan tersebut. Berkes *et al.* (2001) menyatakan bahwa pengelolaan perikanan tidak terbatas hanya mengelola faktor sumberdaya ikan saja, tetapi juga mengelola faktor sosial. Oleh karena itu, perikanan harus dipandang sebagai suatu sistem, sehingga kebijakan pengelolaan perikanan harus menasar *natural system* (sumberdaya dan lingkungannya) dan *human system* (sosial dan ekonomi masyarakat) (Charles 2001) dengan menggunakan pendekatan *interdisciplinary*. Dengan demikian, dalam sistem perikanan kerapu di Teluk Saleh memiliki dimensi sosial dan dimensi ekologis yang tidak terpisah.

Dari berbagai penelitian dan fakta-fakta di lapangan, maka dapat disimpulkan bahwa secara umum permasalahan utama perikanan kerapu di Teluk Saleh adalah degradasi ekosistem terumbu karang dan tingginya intensitas eksploitasi penangkapan ikan kerapu di Teluk Saleh (Gambar 1). Kerusakan ekosistem terumbu karang termasuk sumberdaya ikan di dalamnya tersebut didominasi oleh faktor manusia (*antropogenetik*). Terumbu karang rusak akibat tingginya intensitas pengeboman ikan (*blast fishing*) yang sudah berlangsung lama (Bakosurtanal 2009), penggunaan racun ikan (*potassium cyanide*) serta alat-alat penangkapan ikan (*fishing gear*) yang destruktif (Nurfiarini *et al.* 2006). Kondisi tersebut dibarengi dengan tingkat penangkapan ikan (*fishing effort*) yang semakin intensif sebagai respon dari tingginya permintaan atas ikan kerapu, baik dari permintaan domestik ataupun internasional. Kondisi ini mengarah pada praktik *overfishing* atau *overexploited* di wilayah tersebut (Agustina *et al.* 2017), serta menjadi ancaman utama bagi keberlangsungan sektor perikanan tangkap secara keseluruhan.

Studi terdahulu lebih banyak dilakukan untuk mengukur sejauh mana status stok sumberdaya di perairan tersebut. Sementara, studi terkait dengan aspek sosial ekonomi masih sangat terbatas sehingga jarang dijadikan bahan pertimbangan (Retnoningtyas *et al.* 2021). Padahal dalam konteks efektivitas kebijakan, pemahaman tentang perilaku manusia (*human behaviour*) terhadap kondisi perikanan sangat diperlukan, disamping kajian stok sumberdaya. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini mencoba mengisi kesenjangan informasi dalam mengevaluasi kebijakan perikanan dengan mempertimbangkan interaksi antara sistem ekologis dan sistem sosial ekonomi. Secara spesifik, penelitian ini mengestimasi status stok (*biological stock assessment*) ikan kerapu sebagai salah satu *reference point* dalam penentuan langkah-langkah taktis pengelolaan perikanan dalam kondisi data terbatas (Bab IV). Kemudian penelitian ini akan menganalisis bagaimana deskripsi interaksi ekologi-ekonomi perikanan kerapu (Bab V), bagaimana skenario pengelolaan berbasis agen (Bab VI), dan dinamika ekologi-ekonomi dari berbagai skenario kebijakan perikanan tersebut (Bab VII).

user 21/8/21 17.37

Formatted: Font:Italic

user 21/8/21 17.40

Comment [3]: Terhadap ukuran yang under MLS?

user 21/8/21 17.41

Comment [4]: Antropogenik?

### 1.3 Tujuan

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk menyusun desain strategi pengelolaan perikanan kerapu skala kecil di Teluk Saleh secara efektif dan berkelanjutan sehingga lebih lanjut diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan (*decision making*) bagi para pembuat kebijakan untuk meningkatkan efektivitas kebijakan di masa depan. Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, secara spesifik penelitian ini memiliki tujuan khusus sebagai berikut:

- 1) Mengkaji estimasi status pemanfaatan sumber daya ikan kerapu skala kecil di Teluk Saleh;
- 2) Mengkaji keseimbangan ekologi-ekonomi perikanan kerapu;
- 3) Mengkaji skenario pengelolaan perikanan kerapu berbasis agen;
- 4) Mengkaji skenario dinamika ekologi dan ekonomi perikanan kerapu skala kecil antar waktu (*temporal analysis*).

### 1.4 Manfaat

Pada hakekatnya tujuan pengelolaan perikanan kerapu adalah mencapai keberlanjutan secara ekosistem sekaligus dapat meningkatkan taraf hidup nelayan pemanfaat ikan kerapu secara berkelanjutan. Pemanfaatan sumberdaya alam untuk aktivitas ekonomi masyarakat tentu harus tetap menjaga keseimbangan diantara keduanya.

Penelitian mengenai dampak kebijakan dalam pengelolaan perikanan belum banyak dilakukan. Dengan demikian manfaat dari kegiatan ini adalah sebagai salah satu sumber informasi terkini dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pengelolaan perikanan karang, terutama ikan kerapu (*up-to-date science-based information on species and fisheries*). Informasi tersebut diharapkan menjadi dasar untuk pengambilan kebijakan dalam mengevaluasi kebijakan yang ada dan mendisain perbaikan pengelolaan perikanan karang (*science-based policy*) di Teluk Saleh di waktu yang akan datang.

### 1.5 Kerangka Penelitian

Dalam mengatasi berbagai permasalahan tersebut, Pemerintah Daerah NTB bersama stakeholder telah mengatur teknis pengelolaan perikanan kerapu secara berkelanjutan di Teluk Saleh melalui penerapan kebijakan *minimum legal size* (MLS). Namun dalam praktiknya, kebijakan perikanan tersebut sering menghadapi tantangan (*challenges*) yang terkait dengan efektivitas dan efensi dalam penerapannya. Oleh karenanya diperlukan pendekatan guna mensinergikan berbagai tujuan (*multi-objective activities*) seperti tujuan sosial, budaya, politik, ekonomi dan ekologi (Charles 2001). Dalam artian, kebijakan yang mendukung perikanan berkelanjutan tidak cukup hanya sekedar menasar kelestarian sumber daya ikan dan keberlanjutan usaha perikanan saja, tetapi juga dukungan sosialnya misalnya keberlangsungan nelayan kecil yang tidak mempunyai alternatif mata pencaharian lain. Hal inilah seringkali dianggap sebagai faktor kunci yang menyebabkan kurang efektifnya kebijakan di atas, karena kebijakan perikanan kadang dihadapkan pada tujuan yang bertentangan misalnya, meningkatkan stok biologi dengan meningkatkan hajat hidup masyarakat nelayan sekitar yang

bergantung pada hasil melaut. Dengan demikian, keberhasilan penerapan kebijakan MLS tersebut tergantung pada kondisi sosiokultural nelayan dan kepatuhan mereka terhadap aturan (Busilacchi *et al.* 2012), sehingga disarankan perlunya partisipasi yang lebih besar dari mereka.

Namun sayangnya penelitian dan informasi yang berkenaan dengan evaluasi efektivitas penerapan kebijakan MLS tersebut dengan pendekatan sosial ekologis sejauh ini belum banyak dilakukan. Sejauh ini penelitian kerapu di Indonesia didominasi dengan pendekatan biologi seperti yang dilakukan Prasetya (2010), Tadjuddah *et al.* (2013), Bawole *et al.* (2017), Patanda *et al.* 2017; Agustina *et al.* 2018; Agustina *et al.* 2019a; Ernarningsih *et al.* 2019, Khasanah *et al.* 2019a, Amorim *et al.* 2020, Halim *et al.* 2020, Efendi *et al.* 2020). Sementara beberapa peneliti lainnya melakukan telaah terkait dan bioekonomi konvensional seperti Sari *et al.* (2008) dan Najamuddin *et al.* (2016) serta penelitian yang memfokuskan pada aspek pengelolaan (Khasanah *et al.* 2019b, Retnoningtyas *et al.* 2021).

Penelitian ini menggunakan kerangka kerja (*framework*) *Social-Ecological System* untuk menangkap fenomena kompleksitas dan *interconnectivity* sistem ekologi dan sistem ekonomi perikanan kerapu skala kecil di Teluk Saleh melalui pemodelan yang lebih fleksibel dengan perangkat dinamika sistem dan *agent based modeling* untuk menguji bagaimana keputusan aturan pemanfaatan yang diambil memberikan dampak terhadap kinerja pengelolaan perikanan dan membandingkannya dengan alternatif strategi pengelolaan dalam rangka mencapai keberlanjutan ekologi dan sosial ekonomi. Oleh sebab itu, penelitian ini diperlukan untuk melengkapi penelitian yang sudah ada, yaitu mengkaji bagaimana cara terbaik mengelola perikanan dengan mensinergikan aspek biologi (status stok dan potensi lestari), aspek sosial-ekonomi (bioekonomi spasial, efisiensi teknis, dan persepsi masyarakat), skenario strategi pengelolaan berbasis agen, dan pilihan skenario terbaik yang memberikan dampak ekologi dan ekonomi bagi perikanan kerapu di Teluk Saleh (Gambar 2).

### 1.6 Kebaruan (Novelty) Penelitian

Secara umum kebaruan penelitian adalah menghasilkan desain model pengelolaan sumberdaya perikanan kerapu di perairan Teluk Saleh. Secara spesifik, kebaruan dalam penelitian ini adalah :

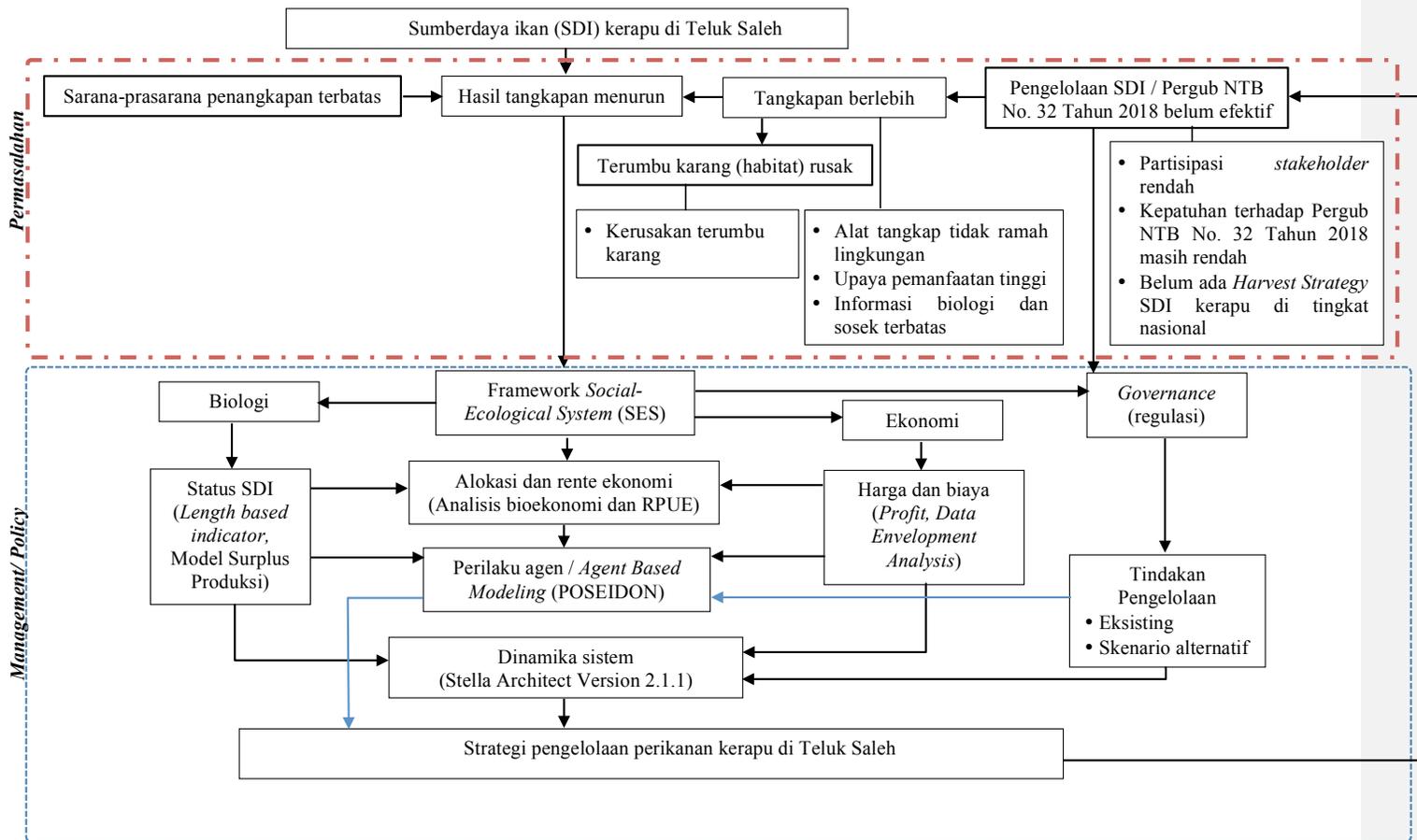
1. Evaluasi dampak kebijakan perikanan karang khususnya perikanan kerapu skala kecil.
2. Menentukan strategi pengelolaan perikanan kerapu yang efektif di kawasan teluk semi tertutup berbasis *biological reference point* dan *human behaviour*.

user 21/8/21 18.03

Comment [5]: Bahasa fiksi ilmiah/berita Koran...

user 21/8/21 18.04

Comment [6]: Lebih fokus lagi??



Gambar 2 Kerangka pemikiran penelitian

## II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sumberdaya Ikan Kerapu

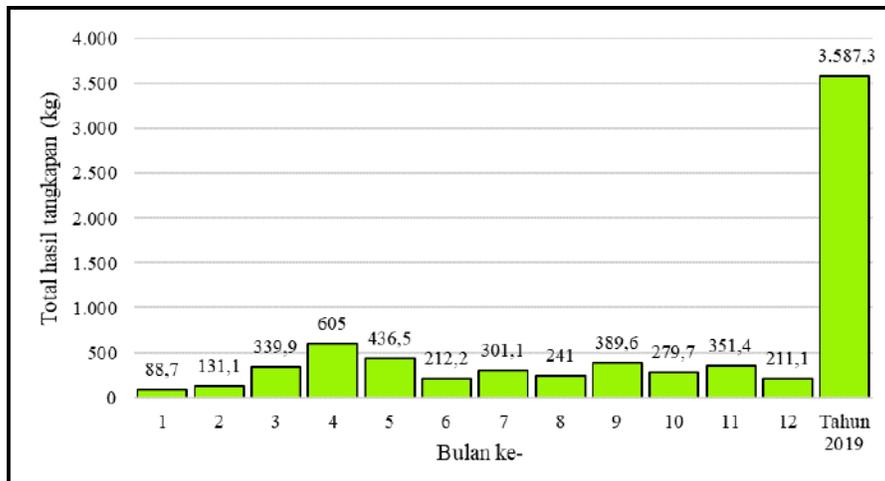
Sedikitnya terdapat 405 jenis ikan karang dengan 143 genus dari 47 famili yang ditemukan di perairan Teluk Saleh (Bakosurtanal 2009). Ikan kerapu dan kakap merupakan kelompok ikan target dan memiliki nilai ekonomis penting tangkapan nelayan yang berdomisili di sekitar Teluk Saleh. Secara umum kerapu (*grouper*) memiliki ciri morfologi seperti bentuk kepala dan mulut yang lebar dan besar, tubuhnya ditutupi sisik-sisik kecil, dan tepi operkulum yang bergerigi serta terdapat duri-duri. Bagian kepala dan mulut kerapu yang besar memungkinkan kerapu untuk memangsa secara cepat, sehingga kerapu merupakan predator pada ekosistem terumbu karang. Makanan kerapu meliputi berbagai jenis ikan seperti, udang, crustacean, dan cumi-cumi. Beberapa jenis kerapu pada siklus hidupnya mengalami perubahan jenis kelamin saat mencapai usia dewasa, seperti *Epinephelus fuscoguttatus* (Mayunar 1994) dan kerapu jenis *Epinephelus coiodes* (Widodo 2006). Berikut ini klasifikasi ikan tiga ikan kerapu secara taksonomi yang menjadi fokus utama penelitian:

Kerajaan : Animalia  
 Filum : Chordata  
 Klas : Pisces  
 Ordo : Perciformes  
 Famili : Serranidae  
 Sub Famili : Epinephelidae  
 Genus : *Plectropomus*  
 Spesies : *Plectropomus leopardus*, *Plectropomus maculatus*  
 Genus : *Epinephelus*  
 Spesies : *Epinephelus coioides*.

Berdasarkan pemantauan WCS pada April 2016 hingga Maret 2017, komposisi jenis ikan kerapu dan kakap yang didaratkan di Teluk Saleh terdiri dari 86 persen kelompok kerapu (*grouper*) dan 1 persen kakap (*snapper*). Sebanyak 50 spesies ikan kerapu teridentifikasi di Teluk Saleh. Jenis kerapu dari famili Epinephelidae yang ditemukan di Teluk Saleh didominasi oleh *Plectropomus leopardus*, *Variola albimarginata*, *P. maculatus*, *Epinephelus coioides*, *Plectropomus oligacanthus*, *Cephalopholis miniata*, *Epinephelus fuscoguttatus*, *Cromileptes altivelis*, dan lain-lain. Menurut pemantauan WCS pada tahun 2019, tercatat hasil tangkapan kelompok kerapu sub family Epinephelidae di WPP 713 (khususnya di perairan Teluk Saleh dan sekitarnya) sebesar 3.587,30 kg (Gambar 3). Dari total produksi tersebut, ikan kerapu yang paling banyak didaratkan pada bulan April, yaitu sebesar 605,0 kg, disusul bulan Mei sebesar 436,50 kg dan bulan September sebesar 389,60 kg (www.data-ikan.org).

user 21/8/21 19.23

Deleted: kelompok



Gambar 3 Total hasil tangkapan kerapu (*Epinephelidae*) di WPP 713 tahun 2019 (www.data-ikan.org, diolah)

## 2.2 Konsep dan Instrumen Pengelolaan Perikanan

Perubahan paradigma pengelolaan perikanan setidaknya diawali sejak disahkannya konvensi hukum laut internasional (UNCLOS) oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) tahun 1982 yang mendorong perlombaan dalam mengeksploitasi sumberdaya ikan oleh negara pantai dan pesatnya perkembangan teknologi penangkapan. Hal ini berdampak pada sekitar setengah dari sumber daya ikan (SDI) laut dunia mengalami *fully exploited*, seperempat SDI tersebut mengalami *overexploited*, dan seperempat sisanya dalam kondisi bisa ditingkatkan (FAO 2003). Di sisi lain, pendekatan pengelolaan perikanan konvensional berbasis spesies tunggal yang selama itu digunakan dan keterbatasan pengetahuan ilmiah dalam melihat interaksi antara spesies dengan spesies lainnya dan lingkungan dalam sebuah ekosistem terbukti tidak efektif mencegah menurunnya kondisi stok SDI. Melihat dampak negatif eksploitasi sumberdaya ikan terhadap ekosistem, sejak awal 1990-an dan kegagalan pendekatan konvensional dalam mengelola perikanan sejak tahun 1940-an, UN Conference for Environment and Development (UNCED) melakukan inisiatif global terkait pentingnya pendekatan ekosistem dalam pengelolaan perikanan di lautan (*Ecosystem-Based Fisheries Management*) tidak hanya sekedar sebuah sains alokasi SDI tetapi juga dapat diimplementasikan. Setelah itu dilakukan beberapa konferensi yang berhubungan dengan pengelolaan perikanan sehingga pada tahun 1995, Food and Agriculture Organization (FAO) menerbitkan *Code of Conduct for Responsible Fisheries* (CCRF). Dengan Deklarasi Reykjavik pada tahun 2001 memandatkan FAO untuk membuat sebuah dokumen sebagai pedoman yang memberikan pertimbangan ekosistem dalam pengelolaan. Secara global, CCRF merupakan mandat utama dalam penyediaan kerangka pengelolaan perikanan berkelanjutan yang ideal melalui 19 prinsip umum pengelolaan perikanan

diantaranya: menjamin pelestarian ekosistem; mempertahankan kualitas, biodiversitas, ketersediaan sumberdaya perikanan yang cukup bagi generasi sekarang dan masa depan; kebijakan berdasarkan bukti ilmiah terbaik; menerapkan prinsip kehati-hatian; mencegah terjadinya kelebihan kapasitas penangkapan; menggunakan alat tangkap ramah lingkungan; melindungi dan merehabilitasi habitat yang rusak; mengintegrasikan pengelolaan perikanan kedalam pengelolaan pesisir; transparansi dalam pengambilan keputusan; melindungi nelayan skala kecil, dan lain-lain (Adrianto 2005). Sementara itu Cochrane (2002) mengemukakan 9 prinsip pengelolaan perikanan yang efektif: stok yang menjadi faktor pembatas hasil tangkapan, stok dipengaruhi kondisi ekologi lingkungan dan manusia, eksploitasi sumber daya ikan melebihi upaya reproduksi, pada perikanan multispecies tidak mungkin menerapkan optimasi maksimal dalam hasil tangkapan, pendekatan konservasi ditengah ketidakpastian informasi, pertimbangan sosial ekonomi dalam pemanfaatan stok, kepemilikan dan akses terhadap sumberdaya, partisipasi dalam proses pengelolaan dan penegakan hukum. Prinsip-prinsip utama dalam pengelolaan perikanan tersebut kemudian diterjemahkan Cochrane (2002) kedalam sebuah fungsi pengelolaan seperti pengelolaan harus mempertimbangkan *target reference point* (produksi sebagai fungsi dari potensi stok ikan dan lingkungan), pengendalian upaya dan kapasitas dalam rangka mencapai tujuan rasional pengelolaan (ekonomi), berbasis ekosistem (spesies dan interaksinya), manajemen risiko sebagai akibat dari ketidakpastian, integrasi dengan pengelolaan pesisir terpadu dan kebijakan nasional, pengakuan hak akses (*access right*), dan partisipasi stakeholder dalam proses pengambilan kebijakan.

Dalam CCRF, FAO (1995) mendefinisikan pengelolaan perikanan sebagai proses terintegrasi dari pengumpulan informasi, analisis, perencanaan, konsultasi, pengambilan keputusan, alokasi sumberdaya, penyusunan dan implementasi yang diikuti penegakan aturan untuk mengelola seluruh kegiatan perikanan dalam rangka menjamin tercapainya produktivitas sumberdaya secara keberlanjutan. Undang-undang Nomor 31/2004 tentang Perikanan mendefinisikan pengelolaan perikanan sebagai “Semua upaya, termasuk proses yang terintegrasi dalam pengumpulan informasi, analisis, perencanaan, konsultasi, pembuatan keputusan, alokasi sumber daya ikan, dan implementasi, serta penegakan hukum dari peraturan perundang-undangan di bidang perikanan, yang dilakukan oleh pemerintah atau otoritas lain yang diarahkan untuk mencapai kelangsungan produktivitas sumber daya hayati perairan sumber daya hayati ikan dan tujuan yang telah disepakati.”

Dari kedua definisi tersebut diketahui bahwa tujuan pengelolaan perikanan yaitu untuk melestarikan keberlanjutan sumber daya ikan (ekologi) dengan menjaga kemampuan produktivitas sumber daya ikan (ekonomi). Dalam perspektif Charles (2001), tujuan kebijakan pengelolaan perikanan tersebut secara eksplisit dihubungkan dengan konteks paradigma pengelolaan (*fishery paradigm*). Tujuan pengelolaan dalam rangka memelihara keberlanjutan sumberdaya tersebut dikenal dengan paradigma konservasi (*conservation paradigm*) dengan konsep *maximum sustainable yield* (MSY), sedangkan tujuan mencapai produktivitas merujuk pada paradigma rasionalisasi (*rationalitation paradigm*) dengan penekanan pada pencapaian efisiensi dan keuntungan maksimal bagi pengguna sumberdaya lewat ikon *maximum economic*

*yield* (MEY) dan *open access* (Charles 2001). Masih menurut Charles (2001), paradigma rasionalisasi tersebut muncul pada tahun 1950-an sebagai jawaban atas tantangan dominasi paradigma konservasi yang mendefinisikan keberlanjutan perikanan sebagai konservasi perikanan dalam jangka panjang (*long-term conservation*) sehingga kegiatan perikanan disebut berlanjut apabila stok ikan dalam keadaan tidak *over-exploited* dengan memberikan sedikit atau tidak ada perhatian sama sekali pada tercapainya tujuan perikanan yang berorientasi pada manusia (*human-oriented*).

Charles (2001) kemudian mengkritisi pendekatan konvensional biologi-ekonomi tersebut dengan menambahkan paradigma sosial atau masyarakat perikanan (*social / community paradigm*). Dalam perspektif ini, keberlanjutan perikanan dapat dicapai dengan memberi perhatian pada aspek keberlanjutan masyarakat perikanan melalui *community based* perikanan skala kecil, kelembagaan nelayan, perlindungan nelayan kecil, kemampuan dalam pengendalian pemanfaatan, penggunaan teknologi yang sesuai, promosi resiliensi dan diversitas dalam jangka panjang (Charles 2001).

Pada dasarnya pengelolaan perikanan yang berkelanjutan dapat dikelompokkan menjadi lima kategori, yaitu pengendalian output, pengendalian input, *technical measures*, *ecologically (ecosystem) based management*, dan *indirect economic instrument* (Charles 2001). Tabel 1 menggambarkan tindakan pengelolaan perikanan yang biasa digunakan dan diaplikasikan dalam perikanan termasuk perikanan karang (Friedlander 2015).

Tabel 1 Instrumen pengendalian dalam perikanan karang

Pengendalian	Deskripsi	Keunggulan	Kelemahan	Aplikasi
<b><i>Output (pembatasan hasil tangkapan)</i></b>				
Jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB)	Pembatasan hasil tangkapan tahunan	Membatasi <i>overfishing</i>	<i>Race to fish</i> , estimasi stok sulit dan mahal	Terbatas karena ketidakpastian data dan ketidakjelasan tata kelola
<i>Bag limit</i>	Kuota individual untuk perikanan non-komersial	Mengizinkan pembagian sumberdaya yang dialokasikan	Dampak pada stok, pengawasan	Terbatas pada spesies penting untuk ketahanan pangan lokal dan budaya

Tabel 6 Instrumen pengendalian dalam perikanan karang (*lanjutan*)

Pengendalian	Deskripsi	Keunggulan	Kelemahan	Aplikasi
<b>Input (pengaturan upaya tangkap)</b>				
Pembatasan alat tangkap	Pelarangan ukuran <i>meshsize</i> dan efisiensi alat tangkap	Mengizinkan pembagian sumberdaya oleh sebagian besar nelayan	Meningkatkan inefisiensi dan biaya, pengawasan	Melarang alat tangkap yang merusak (gillnet, trap, SCUBA, panah dan bom)
<i>Limited entry</i>	Pembatasan jumlah nelayan untuk mengelola sumberdaya perikanan	Membatasi mortalitas penangkapan, memperbaiki pengumpulan data	Isu alokasi sumberdaya, mungkin tidak mengurangi total mortalitas	Perizinan, kepemilikan adat ( <i>customary marine tenure</i> )
<b>Hak Akses</b>				
<i>Individual Catch Quota</i> (IQ dan ITQ)	Alokasi tangkapan ditransfer ke individu	Meningkatkan ketersediaan hasil tangkapan dan pekerjaan	Privatisasi, mengurangi pekerjaan (individu lain), pelaporan	Pemanfaatan secara komunal
<i>Territorial user right fisheries</i> (TURFs)	Alokasi tangkapan secara spasial	<i>Ecosystem based management</i>	Isu alokasi dan pengawasan	Kepemilikan adat

Dimodifikasi dari Friedlander (2015)

### 2.3 Indikator Pendugaan Status Stok Ikan

Status stok ikan merupakan salah satu indikator biologi yang berhubungan dengan kelimpahan dan produktivitas stok di perairan dan digunakan sebagai dasar untuk membantu merumuskan kebijakan dan pengambilan keputusan pengelolaan dalam rangka mencapai keberlanjutan perikanan. Indikator MSY misalnya telah banyak digunakan dalam menentukan kondisi suatu perikanan yang disinyalir mengalami *overfishing* atau keadaan yang sebaliknya sebagai dampak dari aktivitas penangkapan. Menurut Pauly (1994), terdapat enam tipe *overfishing*, yaitu: *growth overfishing*, *recruitment overfishing*, *biological overfishing*, *ecosystem overfishing*, *economic overfishing*, dan *malthusian overfishing*. *Growth overfishing* adalah bentuk *overfishing* yang pertama kali diidentifikasi secara teoritis (tahun 1918), yaitu manakala terjadi ketika ikan yang tertangkap sebelum sempat tumbuh untuk bereproduksi. Tipe yang kedua dikenal dengan *recruitment overfishing* yang terjadi ketika ikan dewasa yang banyak tertangkap saat sedang memijah sehingga menyebabkan penurunan ikan muda masuk dalam populasi (Atmaja *et al.* 2011). Kombinasi dari kedua bentuk *overfishing* tersebut menurut Pauly (1994) dikategorikan sebagai *biological overfishing* yang menyebabkan menurunnya hasil tangkapan seperti digambarkan pada sebelah kanan kurva model surplus produksi

(Schaefer 1954). Sementara itu dengan menggunakan model Schaefer-Gordon (1954), *economic overfishing* terjadi pada situasi total upaya penangkapan melebihi upaya pada tingkat rente ekonomi mencapai maksimum (selisih *revenue* dan biaya).

Dalam perkembangannya, pendugaan stok ikan tidak hanya menggunakan indikator yang dihasilkan dari pendekatan MSY dan MEY. Dalam beberapa tahun terakhir telah diperkenalkan pendugaan stok untuk perikanan dengan data terbatas (*data-poor fisheries*), yaitu hanya menggunakan *length-based assessment* (Trenkel *et al.* 2007). Hasil analisis data panjang ikan tersebut dipergunakan sebagai salah satu *biological reference point* untuk menduga kondisi stok berdasarkan parameter pertumbuhan, mortalitas dan tingkat eksploitasi (Agustina *et al.* 2019b). Bahkan baru-baru ini (Ault *et al.* 2008; Hordyk *et al.* 2014; Prince *et al.* 2015) dengan berdasarkan informasi panjang ikan dan parameter pertumbuhan ikan tersebut dapat menduga status stok ikan dengan menggunakan indikator Rasio Potensi Pemijahan (*Spawning Potential Ratio, SPR*). Nilai SPR tersebut dijadikan *biological reference points* pada perikanan karang dengan kriteria: SPR20% (*biological limit reference points*), SPR30-40% (*biological target reference points*), SPR50% (*bioeconomic reference points*), dan SPR 60% (*precautionary dan rebuild*). Menurut Ye (2011), status stok dikatakan *overfished* ketika SPR berada di bawah 20%, *non-fully exploited* jika nilainya di atas 40%, dan stok dengan nilai SPR antara 20-40% menunjukkan *fully exploited*. Sedangkan Badrudin (2015) menilai status stok ikan kedalam tiga kategori yaitu: SPR<20% (*overexploitation*), SPR20-25% (*fullyexploited*), dan SPR30-50% (*underexploited*). Besaran nilai SPR *limit reference point* sebesar 20% dan *target reference point* juga digunakan dalam penelitian yang dilakukan Goodyear (1993).

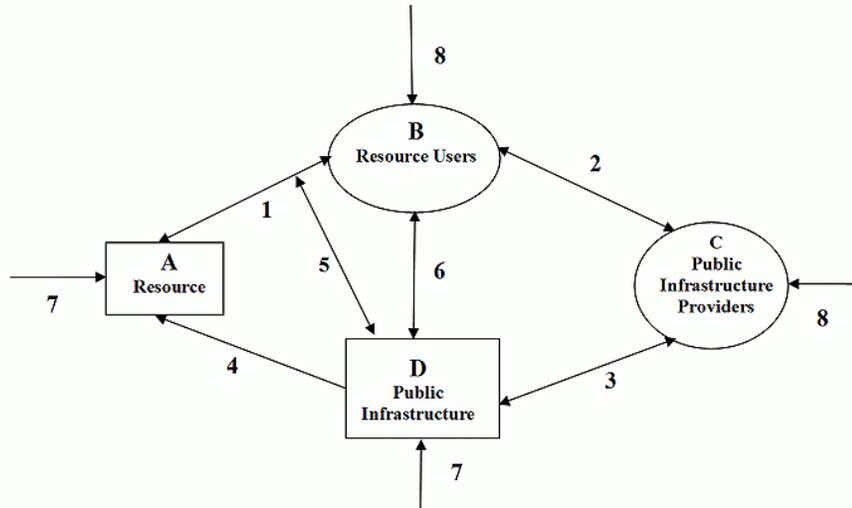
#### **2.4 Social-Ecological System**

Dalam perkembangannya, konsep pengelolaan perikanan tidak bersifat parsial tetapi sebagai keterpaduan dari sistem sosial ekologi (*Social Ecological System*) termasuk manusia menjadi bagian integral dari ekosistem. *Social Ecological System* (SES) pertama kali didefinisikan Berkes dan Folke pada tahun 1998 sebagai sistem yang terpadu dari alam dan manusia dengan hubungan saling timbal balik (Colding dan Barthel 2019). Berkes dan Folke menggunakan kerangka deskriptif untuk menjelaskan hubungan antara ekosistem dan institusi dan secara spesifik menganalisis resiliensi sosial ekologi dalam sistem pengelolaan sumberdaya lokal. Folke *et al.* (2003) mengintegrasikan ekologi, ekonomi, budaya, sosial politik dan dimensi kelembagaan interaksi sosial ekologi yang kohern.

Namun, konsep asli SES Berkes dan Folke tersebut menurut pandangan Colding dan Barthel (2019) terlalu sempit, seperti sistem sosial misalnya dinyatakan dalam bentuk hak kepemilikan, sistem kepemilikan sumberdaya oleh adat, etika lingkungan, dan sistem pengetahuan yang terkait dengan lingkungan. Dalam kasus perikanan, misalnya, kegiatan nelayan dalam menangkap ikan merupakan interaksi biofisik berupa stok ikan yang disediakan ekosistem dengan kegiatan manusia yang memanfaatkan sumberdaya tersebut. Integrasi manusia dengan alam ini penting karena dalam setiap Tindakan pengelolaan perikanan, terdapat interaksi dan 'umpan

balik' antara subsistem ekologi (biofisik) dan sosial (manusia). Ini termasuk hubungan penting yang terkait dengan pengetahuan masyarakat (misalnya, pengetahuan lokal atau tradisional), dan lembaga pengelolaan, serta 'aturan' dan 'norma' yang memediasi bagaimana manusia berinteraksi dengan lingkungan. Charles (2001) menggambarkan sifat terintegrasi dalam perspektif SES dengan pendekatan system sumberdaya dan membaginya menjadi tiga sub-sistem yang saling berinteraksi— sistem 'alam' (*natural system*), sistem 'manusia' atau sosial (*human system*) dan sistem 'manajemen' (*management system*). Ostrom (2009) mengkonsolidasikan ketiga komponen yang dikemukakan Charles dengan menggunakan kerangka kerja diagnostik *Institutional Analysis and Development* (IAD) untuk menganalisis sistem sumber daya milik bersama. Unit analisis utamanya adalah situasi aksi, yang merupakan konteks interaksi sosial di mana pengguna sumber daya berinteraksi satu sama lain untuk menghasilkan hasil (interaksi dan hasil) yang dimungkinkan dan dibatasi oleh aturan, pengaturan ekologis, dan atribut komunitas. Variabel dalam kerangka kerja IAD diatur dalam empat tingkatan, yaitu: sistem sumber daya, sumber daya, pengguna, dan sistem tata kelola. Analisis kelembagaan menggunakan pendekatan SES juga dikembangkan oleh Anderies *et al.* (2004). Berdasarkan sintesa Colding dan Barthel (2019), konsep SES yang dikembangkan oleh Anderies dan kawan-kawan ini fokus pada kerangka diagnostik sehingga lebih kompatibel digunakan dalam pemodelan ekosistem terumbu karang. Kerangka kerja tersebut bertujuan untuk memandu mendiskripsikan konsep, elemen, variabel, hubungan atau proses dari SES yang merupakan karakteristik atau kritis, atau yang membantu menjelaskan atau memprediksi hasil SES tertentu (misalnya pengaturan kelembagaan yang memfasilitasi tata kelola untuk keberlanjutan). Analisis SES memberikan suatu framework pendekatan yang transdisipliner yang berakar dari pemahaman tentang system adaptif yang kompleks yang diharapkan mengatasi permasalahan keberlanjutan sosial ekologi dengan perangkat analitik (Biggs *et al.* 2021).

Anderies *et al.* (2004) membatasi aspek kunci SES yaitu aspek kerjasama dari sistem sosial, dimana individu memanfaatkan sumber daya dengan menginvestasikan berbagai jenis infrastruktur fisik atau kelembagaan untuk mengatasi beragam gangguan internal dan eksternal. Ketika sistem sosial dan ekologi sangat berkaitan, SES secara keseluruhan merupakan sistem yang kompleks yang melibatkan beberapa subsistem adaptif, serta menjadi tertanam dalam sistem ganda yang lebih besar (Anderies *et al.* 2004). Unsur-unsur dalam SES dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Model konseptual sistem sosial ekologis (Anderies *et al.* 2004)

Gambar 4 menunjukkan interaksi sebuah komponen dengan komponen lainnya. Ilustrasi perikanan sebagai komponen sumberdaya (*Resource*) ditangkap oleh nelayan sebagai pengguna sumberdaya (*Resource User*) dan asosiasi/kelompok nelayan serta pemerintah sebagai penyedia infrastruktur publik (*Public Infrastructure Providers*). Dalam konteks hubungan *Resource Users* dan *Public Infrastructure Providers*, sangat dimungkinkan terjadinya overlap dari setiap individu (nelayan sebagai *Resource Users* dan nelayan tersebut juga sebagai anggota asosiasi/*Public Infrastructure Providers*) atau mungkin individu tersebut berbeda sama sekali. Sementara itu komponen Infrastruktur publik (*Public Infrastructure*) menggabungkan dua bentuk buatan manusia modal fisik dan modal sosial (Costanza *et al.* 2001 dalam Anderies *et al.* 2004).

Dalam paper Anderies *et al.* (2004) juga dijelaskan hubungan keterkaitan dalam sistem sosial ekologis. Studi Gordon (1954) dan Hardin (1968) sebagaimana disinggung sebelumnya menjelaskan konsep sumber daya bersifat CPR dengan tanpa privatisasi (kepemilikan pribadi oleh individu atau unit pemerintah) akan mengakibatkan *overharvesting* (Link 1) dan adanya *free rider* pada infrastruktur publik akan mengarah pada penghancuran sumber daya. Oleh karena itu upaya yang dilakukan untuk mengatasi dilema CPR tersebut sampai dengan tahun 1980-an adalah solusi “property right” dan selanjutnya dikembangkan model konvensional sederhana *single-species ecological systems* (Gordon 1954) yang digunakan untuk menentukan *Maximum Sustainable Yield* (MSY) dan *Maximum Economic Yield* (MEY) dalam rangka mencapai tujuan pengelolaan perikanan. Akibat bentuk penyederhanaan model tersebut menyebabkan banyak faktor sosial-kultural terabaikan dalam pemodelan dan analisis kebijakan. Oleh karena itu, SES merupakan salah satu model terintegrasi dari berbagai interaksi-hubungan antar komponen dalam sebuah sistem. Sebagai contoh, mengacu pada Gambar 4, terdapat berbagai faktor strategis yang

dapat mempengaruhi interaksi antara pengguna sumber daya dan penyedia infrastruktur publik (Link 2), penyedia infrastruktur publik dan investasi aktual dalam infrastruktur (Link 3), pengguna sumber daya dan tingkat pemanfaatan (Link 1) dan pengguna sumber daya dan infrastruktur publik (Link 6).

Ekosistem terumbu karang merupakan sebuah ekosistem yang kompleks dan memiliki keterkaitan antar komponen eko-biologis didalamnya maupun dengan sistem manusia karena ekosistem terumbu karang memiliki kontribusi dalam kesejahteraan manusia (Adrianto 2013). Menurut Moberg dan Folke (1999) keberadaan ekosistem terumbu karang memberikan barang (*goods*) dan jasa (*services*) yang bermanfaat bagi manusia. Pada umumnya jenis barang yang dihasilkan ekosistem terumbu karang berupa produk seafood dan material karang itu sendiri. Sementara jasa yang diberikan ekosistem tersebut berupa jasa pengaturan dan jasa pemeliharaan, serta jasa kultural (Drakou *et al.* 2017; Kittinger *et al.* 2012; Moberg dan Folke 1999).

Dalam konteks ekosistem terumbu karang, sistem ekologisnya adalah ekosistem terumbu karang, sedangkan sistem sosial yang mempengaruhi dan dipengaruhi ekosistem terumbu karang adalah sistem masyarakat pengguna sumberdaya dan ekosistem terumbu karang (Adrianto 2013). Interaksi bersifat resiprokal antara sistem ekologis dan sistem sosial menurut Kittinger *et al.* (2012) dibagi menjadi dua, yaitu (1) dampak antropogenik dan tindakan manusia untuk mengelola ekosistem, dan (2) barang dan jasa yang dihasilkan ekosistem untuk kehidupan manusia.

## 2.5 Pemodelan Berbasis Agen

Model dan simulasi dalam dunia nyata dapat dilakukan dengan berbagai metode. Sistem dinamis biasanya digunakan dalam proses-proses biofisik, walaupun sistem ini mampu merambah pemakaiannya dengan memasukan dimensi sosial. Namun menurut Purnomo (2012), hal tersebut tidak dapat dilakukan dengan memuaskan manakala proses kognitif manusia berperan penting. Menurut Gotts *et al.* (2018), sebagian besar sistem yang menyediakan jasa ekosistem yang penting bagi manusia dapat diklasifikasikan sebagai *Social Ecological System* (SES), seperti pada sistem perikanan. Perikanan sebagai sebuah sistem (Charles 2001) sosial ekologis yang kompleks memiliki keterkaitan dengan pengguna sumberdaya (*resource user*) dan komponen SES lainnya (Anderies *et al.* 2004). Sistem ini biasanya sangat dinamis dan sulit diprediksi sehingga pendekatan tradisional tidak cukup mampu menyelesaikan persoalan dengan baik (Macal dan North 2010). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru yang menggabungkan sistem ekologi dengan manusia guna merespon perubahan kebijakan secara lebih cepat dan sistem yang akan dimodelkan juga semakin kompleks. Pemodelan berbasis agen (*agent based modeling; ABM*) adalah metode yang tepat untuk memodelkan dunia sosial dimana para aktor (*users*) berinteraksi sesamanya serta melakukan aktivitas yang mempengaruhi dunia biofisik (Purnomo 2012).

Macal dan North (2010) mendefinisikan ABM sebagai model komputer yang mensimulasikan: sekumpulan individu yang masing-masing memiliki atribut dan perilaku yang unik; kumpulan individu tersebut berhubungan antara satu dan lainnya

dengan berbagai interaksi yang berbeda; dan Interaksi antar individu tersebut dipengaruhi dan mempengaruhi kondisi lingkungan. Berdasarkan definisi ini, ABM dapat mendeskripsikan dampak makroskopik yang diakibatkan oleh interaksi lokal antar individu dan interaksi antara individu dengan lingkungannya (Railsback dan Grimm, 2010).

ABM merupakan sebuah pendekatan simulasi komputer yang secara eksplisit merepresentasikan para stakeholder dalam sebuah *agent*, perilaku mereka (*behaviour*), dan bagaimana mereka membuat keputusan dalam berinteraksi dengan para stakeholder lain dan lingkungannya (*interaction*). Crooks dan Happenstal (2012) mengklaim tiga keunggulan pendekatan ABM dibanding pendekatan tradisional, yaitu (1) mampu menangkap fenomena yang muncul (termasuk interaksi agen yang heterogen dan kompleks), (2) masuknya lingkungan dalam kajian sistem, dan (3) bersifat fleksibel terutama terkait dengan model geospasial. Menurut Ding *et al.* (2018), karakteristik ABM berbeda dengan pemodelan sistem dinamis, diantaranya unit analisis berupa aturan (*rules*), bersifat mikro, *bottom-up*, *discrete*, dan menggunakan sistem *logic* (bukan persamaan integral).

ABM sendiri telah secara sukses diterapkan dalam bidang perikanan. Sebagai contoh Worrapimphong *et al.* (2010) memanfaatkan ABM untuk menganalisa perilaku pembudidaya tiram. Dalam banyak kasus perikanan tangkap di laut, model dinamika populasi ikan biasa digunakan untuk menjawab pertanyaan terkait alokasi kuota penangkapan, perpajakan (retribusi), tingkat pemanfaatan (*harvest strategy*), *market shifts* dan pembatasan upaya penangkapan. Menurut Sigurðardóttir (2016), perubahan kebijakan tersebut akan berdampak langsung pada perusahaan atau individu yang mengoperasikan kapal khususnya dalam rantai pasok. Sundelof *et al.* (2015) menggunakan teknik IBM (*individual-based model*) untuk menilai pengaturan pengelolaan perikanan melalui *minimum landing size* (MLS) dan dampak potensial dari alternatif strategi pemanfaatan (*harvest strategy*). Hasil penelitiannya menyatakan bahwa nilai MLS yang lebih besar mampu mengurangi risiko terjadinya *growth overfishing* dan perpaduan MLS dengan strategi moratorium penangkapan lobster yang bertelur berdampak pada populasi dan hasil tangkapan yang stabil. Hasil penelitian Yu *et al.* (2009) yang mengkontruksi model perilaku nelayan *longline* dan secara realistis mampu memprediksi respon nelayan terhadap perubahan rezim pengelolaan perikanan melalui permodelan berbasis agen. Demikian halnya penelitian Cabral *et al.* (2010) guna melihat perilaku komunitas nelayan dalam memilih strategi penangkapan Cartesian secara random atau strategi penangkapan di daerah penangkapan yang sudah tereksplorasi. Hasil studi Cabral *et al.* (2010) tersebut menunjukkan bahwa strategi Cartesian lebih efektif dalam memulihkan stok dan menghindari kondisi kolapsnya perikanan akibat dari peningkatan jumlah kapal. Nelayan Cartesian akan mematuhi peraturan pengelolaan ketika pengelola perikanan menawarkan sejumlah insentif seperti tersedianya informasi daerah penangkapan yang akurat.

## 2.6 Model dan Dinamika Sistem

Sebagaimana telah disinggung pada bahasan sebelumnya bahwa permasalahan pengelolaan sumberdaya perikanan tidak dapat didekati dengan pemikiran parsial tetapi harus melibatkan aspek sosial, ekonomi, dan ekologis. Ini sejalan dengan pendapat von Bertalanffy yang menyatakan bahwa adanya kecenderungan umum menuju integrasi antar beragam sains yaitu sains alam dan sains sosial yang integrasinya berpusat pada teori umum tentang sistem (Purnomo 2012).

Pengelolaan sumberdaya alam seperti perikanan memenuhi kriteria sebagai pengelolaan sistem yang kompleks dan dinamis. Oleh karena itu, seorang pengelola perikanan dituntut mempunyai kemampuan berpikir sistem (*system thinking*), yaitu kemampuan melihat dunia sebagai sebuah sistem yang kompleks dengan memperhatikan semua bagian dan keterkaitan satu sama lain dalam mengelola ekosistem. Dalam pandangan holistik, pengelola perikanan akan bertindak untuk kepentingan jangka panjang suatu sistem atau dikenal dengan keberlanjutan sumberdaya yang bermakna adanya keadilan pemanfaatan sumberdaya perikanan pada generasi yang sama tanpa mengorbankan kepentingan generasi mendatang. Dalam praktek pengelolaan perikanan berkelanjutan membutuhkan perangkat dan proses yang dapat membantu memahami kompleksitas dan merancang alternatif kebijakan yang lebih baik yaitu melalui pemodelan (*modeling*) dalam sistem kompleks. Pemodelan mengandung makna sebuah metode untuk mengembangkan model-model simulasi untuk membantu memahami kompleksitas dinamis dari sistem serta merancang atau mengevaluasi kebijakan.

Istilah model sendiri didefinisikan sebagai suatu abstraksi dari realitas atau kenyataan (Grant *et al.* 1997). Model adalah abstraksi atau penyederhanaan dari dunia nyata yang mampu menggambarkan struktur dan interaksi elemen serta perilaku seluruhnya sesuai dengan sudut pandang dan tujuan yang diinginkan (Purnomo 2012). Sebuah model yang akan dibangun memerlukan logika yang jelas dengan urutan langkah-langkah yang sesuai. Langkah-langkah pembentukan model menurut Grant *et al.* (1997) adalah (1) formulasi model konseptual, (2) Spesifikasi model kuantitatif, (3) Evaluasi model, dan (4) Penggunaan model.

Lebih lanjut Grant *et al.* (1997) memaknai sistem sebagai sekumpulan bahan dan proses pengkomunikasian yang secara bersama-sama membentuk beberapa gugus fungsi. Sistem merupakan sekumpulan proses yang saling berhubungan yang dicirikan oleh banyak jalur sebab-akibat. Sedangkan sistem dinamis ditujukan untuk pemodelan sistem dengan tingkat abstraksi tinggi. Sistem dinamis dapat menjelaskan proses perubahan sistem yang terjadi dari waktu ke waktu. Menurut Sterman (2000), sistem dinamis melibatkan pemodelan hubungan kausal antara aspek-aspek kunci dari sistem yang teliti sebelum membuat model simulasi. Sistem dinamis dikendalikan umpan balik (*feedback*) yang mempunyai peran sentral dalam pemodelan. Dalam sistem dinamis, Sterman (2000) menggunakan beberapa alat diagram untuk menangkap struktur dari sistem termasuk diagram *causal loop*, stok, dan aliran. Dalam bidang perikanan, model dasar dinamika sistem perikanan dikenal dengan model *predator-prey model of fisheries* (istilah “prey” menggambarkan ikan dan “predator” mewakili kapal nelayan). Model ini mensimulasikan interaksi antara

sistem biologi dan sistem ekonomi yang berguna untuk mendukung pengambilan kebijakan perikanan (Ruth dan Hannon 2012). Sigurðardóttir (2016) mengaplikasikan model sistem dinamik untuk mengevaluasi dampak pengelolaan perikanan (pembatasan upaya penangkapan, kuota dan kewajiban mendaratkan ikan) di Islandia terhadap sistem stok ikan, mata pencaharian dan keuntungan.

### III METODOLOGI UMUM

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari 2019 hingga Juni 2020. Penelitian dilakukan di Teluk Saleh, Nusa Tenggara Barat sebagaimana disajikan pada Gambar 5. Teluk Saleh berhubungan langsung dengan Laut Flores yang merupakan bagian dari wilayah pengelolaan perikanan (WPP) 713, dimana terdapat pulau-pulau kecil serta ekosistem pesisir seperti terumbu karang, padang lamun, dan mangrove, yang menjadi habitat penting bagi sumberdaya ikan.

Setidaknya terdapat beberapa alasan akan arti penting Teluk Saleh menurut hasil penelitian Yulius dan Ardiansyah (2016), yaitu: (i) memiliki sumber daya alam pesisir dan laut yang beraneka ragam, sehingga untuk masa yang akan datang merupakan sumber ekonomi baru bagi pertumbuhan pembangunan di provinsi NTB; (ii) merupakan pusat kegiatan perekonomian laut yang dimanfaatkan sebagai lokasi penangkapan ikan (*fishing ground*) masyarakat nelayan tradisional dan sebagai lahan budidaya seperti budidaya rumput laut, budidaya ikan kerapu keramba jaring apung, dan budidaya kerang mutiara; (iii) terkandung keanekaragaman hayati laut yang tinggi yaitu potensi ekosistem mangrove, terumbu karang dan ikan karang. Teluk Saleh juga merupakan bagian dari tiga kawasan wisata di provinsi tersebut yakni Teluk Saleh, Pulau Moyo, dan Gunung Tambora (SAMOTA) serta perairan tersebut telah diusulkan KKP sebagai Kawasan Strategis Nasional (RZ-KSN) Kawasan Bima dan Sumbawa Andalan (termasuk Teluk Saleh) hingga tahun 2037.

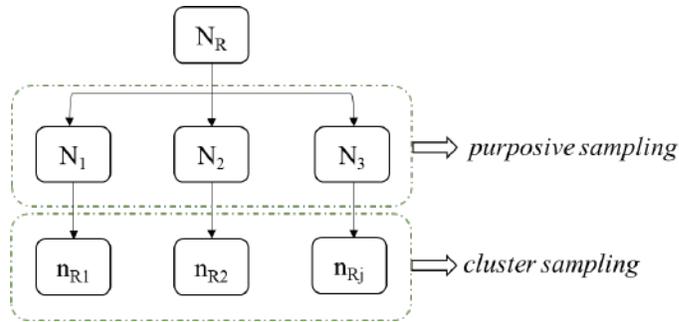


Gambar 5 Peta lokasi penelitian

Dari segi potensi perikanan, Teluk Saleh merupakan salah satu lokasi penting di perairan NTB, yang hasil tangkapan nelayannya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total produksi perikanan karang di NTB dan menjadi rumah bagi 50 spesies ikan kerapu yang telah teridentifikasi di Teluk Saleh (Agustina *et al.* 2017). Dalam satu dekade ini penangkapan kerapu di Teluk Saleh telah menyumbang rerata sebesar empat ribu ton per tahun. Secara spesifik, pengambilan data difokuskan di empat tempat pendaratan utama kapal penangkap ikan kerapu, yaitu Desa Labuan Kuris, Desa Labuhan Sangoro, Desa Labuhan Jambu, dan Soro

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

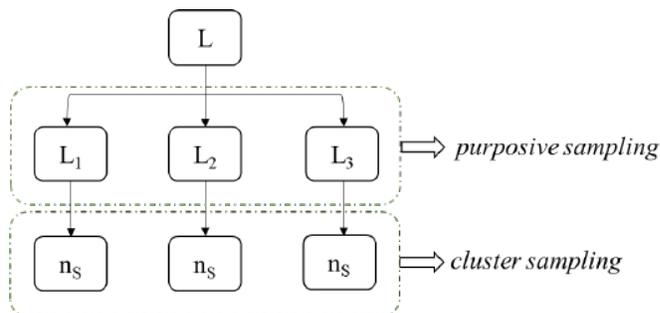
Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini berupa observasi, wawancara mendalam, penyebaran kuesioner dan studi literatur (*desk study*). Pengumpulan data dilakukan terhadap sebagian populasi atau secara sampling yang dianggap mewakili keseluruhan populasi yang diteliti. Pemilihan desa tersebut sebagai lokasi penelitian dilakukan secara purposif (*purposive sampling*) dan dianggap mewakili seluruh desa nelayan tempat domisili penangkap ikan kerapu di Teluk Saleh berdasarkan tujuan penelitian ( $N_R$ ) sedangkan responden nelayan yang disampling ( $n_R$ ) dilakukan secara *cluster* yaitu nelayan yang menangkap kelompok ikan tersebut berdasarkan alat tangkap pada empat desa nelayan (Gambar 6 dan Tabel 2). Sementara itu, pengumpulan data sampling ukuran ikan hasil tangkapan nelayan ( $n_S$ ) dilakukan secara *cluster* menurut alat tangkap di lokasi tempat pendaratan ikan yang dipilih (L) secara purposif (Gambar 7).



Gambar 6 Skema pengambilan contoh untuk data aspek sosial ekonomi

Pengumpulan data dilakukan dengan metode yang disesuaikan dengan jenis dan sifat data (Tabel 2). Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer untuk sistem ekologi Teluk Saleh, Kabupaten Sumbawa akan dilakukan dengan metode sampling untuk pendataan ikan hasil tangkapan yang didaratkan di lokasi penelitian. Adapun data primer untuk sistem sosial ekonomi akan dikumpulkan dari para nelayan, para pelaku usaha dan tokoh masyarakat dengan teknik wawancara mendalam. Dalam rangka pembuatan suatu simulasi berbasis agen, pengumpulan data ini akan berfokus pada pengumpulan data perilaku menggunakan format kuisioner spesifik survei nelayan.

Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari sumber-sumber yang relevan dengan penelitian ini dari beragam institusi (pusat, pemerintah daerah, dan LSM) yang terkait dengan tujuan penelitian. Data ini mencakup data runtu waktu bagi sistem ekologi dan sosial ekonomi. Data sekunder juga akan dipergunakan untuk memvalidasi model simulasi yang dihasilkan.



Gambar 7 Skema pengambilan contoh untuk data aspek biologi

Pemilihan teknik pengambilan untuk memperoleh sebuah sampel sangat tergantung pada karakteristik permasalahan yang diteliti, faktor biaya dan waktu yang tersedia serta tingkat ketelitian/kepercayaan dari hasil penelitian (Krejcie dan Morgan 1970). Penentuan jumlah sampel yang diambil didekati berdasarkan formula sebagai berikut:

$$n = \frac{X^2 NP(1 - P)}{d^2(N - 1) + X^2 P(1 - P)}$$

dimana, n adalah jumlah responden yang ditentukan (50 responden), X adalah nilai chi-square dengan derajat bebas=1 pada taraf kepercayaan 90 persen (1.645), P adalah proporsi populasi di 3 desa sampel dari total nelayan di wilayah studi (25 persen), d adalah tingkat kesalahan (*error*) yang diterima model statistik (10 persen), dan N adalah jumlah nelayan pancing di wilayah studi (3.193).

Tabel 2 Penentuan jumlah nelayan sampel

Kecamatan	Tempat pendaratan ikan	Nelayan (N)	Jumlah nelayan pancing	Jumlah sampel (n)
Lape	Labuhan Kurisi	155	155	10
Maronge	Labuhan Sangoro	216	40	19
Moyo Hilir		235	205	
Moyo Utara		96	96	
Plampang		192	84	
Tarano	Labuhan Jambu	254	87	21
Labuhan Badas	Lab. Sumbawa	957	218	
Pekat		123	123	
Manggalewa		74	74	
Kempo	Soro	891	891	
Jumlah		3.193	2.003	50

### 3.3 Metode Analisis Data

Secara umum, penelitian ini menggunakan metode studi kasus (*case study*). Metode yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi analisis deskriptif, *length-based assessment*, *spawning potential ratio*, model surplus produksi, analisis bioekonomi spasial, *data envelopment analysis* (DEA), dinamika sistem, *agent-based model* (ABM).

*Length based assessment* digunakan untuk mengetahui parameter pertumbuhan populasi, tingkat kematian total (Z), tingkat kematian alami (M), tingkat kematian akibat penangkapan (F), dan tingkat pemanfaatan (E). Parameter pertumbuhan yang dianalisis meliputi panjang asimtotik ( $L_{\infty}$ ), koefisien pertumbuhan (K), umur hipotesis ikan pada panjang nol ( $t_0$ ), lifespan (usia hidup). Pendugaan parameter tersebut menggunakan metode ELEFAN I dalam piranti lunak Rstudio package TropFishR dan fishmethods (Pauly 1984, Mildenerger *et al.* 2017, Agustina *et al.* 2019b). Estimasi parameter pertumbuhan dilakukan berdasarkan data sebaran frekuensi panjang ikan.

*Spawning Potential Ratio* (SPR) merupakan indikator untuk mengetahui status pemanfaatan ikan berdasarkan perbandingan jumlah telur yang dapat dihasilkan rata-rata dalam suatu stok induk ikan dibagi dengan jumlah yang dapat dihasilkan oleh rata-rata dalam stok induk yang tidak tertangkap (Blackhart *et al.* 2006). Model ini

memerlukan data panjang ikan dan parameter *life history* dari populasi ikan untuk memperkirakan struktur ukuran populasi yang tidak dimanfaatkan (*unfished*), rasio kematian ikan akibat penangkapan dan alami (F/M), dan rasio potensi pemijahan (SPR) (Hordyk *et al.* 2014). Pendugaan SPR dilakukan dengan analisis online *Length-based Spawning Potential Ratio* pada situs [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au) yang dikembangkan Hordyk *et al.* (2014).

Surplus Produksi Model (*surplus production model*) digunakan dalam menganalisis potensi perikanan (*maximum sustainable yields*, biomas, dan tingkat pemanfaatan sumberdaya kerapu) di Teluk Saleh untuk mengendalikan dan memonitor tingkat eksploitasi di perairan tersebut. Analisis tersebut menghasilkan parameter biologi seperti kemampuan daya dukung perairan (K), tingkat pertumbuhan intrinsik ikan (r) dan kemampuan alat tangkap (q) yang berguna sebagai input pada analisis sistem dinamik. Data yang digunakan untuk memperoleh parameter biologi adalah jumlah hasil tangkapan (*catch*) kerapu dan jumlah trip penangkapan. Analisis dilakukan dengan menggunakan software R studio package TropFishR.

Pendugaan kelimpahan stok diukur dengan analisis hasil tangkapan persatuan upaya (*Catch per Unit Effort*, CPUE) dan dari sisi ekonomi nilai CPUE tersebut diproksi menjadi nilai penerimaan nelayan persatuan upaya (*Revenue per Unit Effort*, RPUE) dengan dikalikan harga ikan (Béné dan Tewfik 2001). Analisis efisiensi teknis penangkapan ikan digunakan menggunakan pendekatan DEA (*data envelopment analysis*) yang dikembangkan Charnes *et al.* (1978). Metode analisis tersebut menggunakan *software* Frontier Analyst-Banxia. Analisis yang dilakukan terhadap 40 nelayan pancing yang diwawancarai menggunakan kuisioner. Model bioekonomi spasial tersebut dipandang sebagai salah satu analisis yang mempertimbangkan pentingnya dimensi ruang dan waktu dalam pengelolaan sumber daya berbasis bioekonomi (Seijo *et al.* 1998; Sanchirico dan Wilen 2001; Anderson dan Seijo 2010; Conrad dan Smith 2012). Penggunaan analisis pemodelan spasial pada perikanan kerapu di Teluk Saleh menggunakan formulasi dasar yang dikembangkan Seijo *et al.* (1998) dalam rangka menentukan alokasi trip penangkapan dan nilai keuntungan ekonomi yang diperoleh secara spasial (daerah penangkapan ikan).

Analisis data deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis data kuantitatif maupun kualitatif untuk mendeskripsikan karakteristik perikanan di Teluk Saleh. Analisis deskriptif kualitatif menguraikan informasi yang bersifat kualitatif dari suatu fenomena sosial masyarakat perikanan seperti persepsi publik dari sebuah pernyataan kualitatif yang dikuantifikasi berdasarkan skala-likert. Analisis deskriptif kuantitatif merupakan metode analisis yang memotret karakteristik perikanan berupa rata-rata dimensi kapal, kekuatan mesin, nomor pancing, jumlah mata pancing, *catch per unit effort* (CPUE), kedalaman dan lama operasi alat tangkap yang digunakan nelayan.

*Agent Based Model* (ABM) menyediakan metodologi yang dapat digunakan untuk menggambarkan dan memahami berbagai fenomena yang muncul dari sebuah sistem yang bersifat kompleks dan dinamis. Operasionalisasi data dan parameterisasi perilaku dilakukan dengan merujuk pada pemodelan sebelumnya (POSEIDON).

Model berbasis agen seperti POSEIDON sangat cocok untuk perikanan multispesies yang kompleks seperti dimana armada penangkapan ikan sangat heterogen seperti perikanan kerapu di Teluk Saleh.

Penelitian ini menggunakan model sistem dinamis untuk mengetahui dampak pengelolaan perikanan berdasarkan skenario kebijakan yang lebih baik. Dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak (*software*) Stella Architect Version 2.1.1 dengan basis model perikanan yang dikembangkan Ruth dan Hannon (2012) yang mensimulasikan interaksi antara sistem biologi dan sistem ekonomi dengan submodel *fish stock*, *fish production*, *effort*, dan *economic calculation* yang berguna untuk mendukung pengambilan kebijakan perikanan.

Tabel 3 Data dan metode analisis data

No	Tujuan	Komponen	Jenis data	Sumber data	Metode Analisis
1	Mengkaji status pemanfaatan sumber daya ikan kerapu	Panjang ikan, hasil tangkapan, upaya	Primer, Sekunder	Survei, wawancara, kuisisioner, literatur	<i>Length-based assessment</i> , Model Surplus Produksi
2	Mengkaji keseimbangan ekologi ekonomi dalam perikanan kerapu	Hasil tangkapan upaya penangkapan, harga, biaya operasional, jumlah kapal,	Primer, Sekunder	Survei, wawancara, kuisisioner, literatur	RPUE, Analisis bioekonomi spasial, <i>Data envelopment analysis</i>

Tabel 3 Data dan metode analisis data (*lanjutan*)

No	Tujuan	Komponen	Jenis data	Sumber data	Metode Analisis
3	Mengkaji skenario pengelolaan perikanan kerapu berbasis agen	1. Hasil tujuan 1 2. Hasil tujuan 2 3. Persepsi dan habitat	Primer, Sekunder	Survey, wawancara, studi literatur	<i>Agent based model</i> (POSEIDON)
4	Mengkaji skenario dinamika ekologi ekonomi perikanan kerapu skala kecil	1. Hasil tujuan 1 2. Hasil tujuan 2 3. Kondisi habitat	Primer, Sekunder	Survei, wawancara, kuisisioner, literatur, hasil analisis data	Dinamika sistem (Stella Architect Version 2.1.1)

## IV STATUS STOK SUMBERDAYA IKAN KERAPU DI TELUK SALEH

### 4.1 Pendahuluan

Ikan kerapu merupakan salah satu sumber daya perikanan ekonomis penting di Teluk Saleh, Nusa Tenggara Barat (NTB). Bukti empiris menunjukkan bahwa perikanan kerapu di Teluk Saleh memberikan kontribusi yang signifikan terhadap total produksi perikanan karang di NTB, dengan rata-rata hasil tangkapan 4.144,4 ton per tahun atau menyumbang sekitar 81,7 persen dari total tangkapan kerapu di provinsi tersebut (KKP 2020). Peran penting perikanan tersebut juga terlihat dalam menyediakan pekerjaan bagi ribuan nelayan termasuk nelayan skala kecil yang hidup di desa sepanjang pesisir Teluk Saleh. Maka dengan itu, keberadaan usaha perikanan kerapu berskala kecil tidak saja menjadi tulang punggung perekonomian bagi masyarakat pesisir di sekitar Teluk Saleh namun juga memiliki nilai yang sangat strategis bagi pemerintah daerah dan nasional.

Sejalan dengan dinamika perkembangan lingkungan, fenomena semakin rendahnya produksi (hasil tangkapan) kedua jenis ikan ini mulai terlihat di wilayah ini. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin rusaknya habitat ekosistem terumbu karang dan semakin tingginya tingkat penangkapan ikan menjadi dua hal yang menyebabkan fenomena tersebut. Bahkan jenis *Plectropomus aerolatus* (kerapu sunu hitam) yang ditangkap di Teluk Saleh kondisinya rentan terhadap ancaman kepunahan yang lebih tinggi. Akibat masifnya tekanan eksploitasi, ikan kerapu sunu (*Plectropomus leopardus*) beberapa waktu lalu masuk dalam kategori *vulnerable* (rentan) dalam *red list* status konservasi *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN), termasuk jenis lainnya seperti *Plectropomus maculatus*, *Plectropomus oligacanthus*, dan *Epinephelus coioides*. Walaupun status terkini adalah *least concern* (beresiko rendah), tren populasi spesies tersebut masih menunjukkan penurunan (IUCN 2020). Kondisi ini menjadi ancaman utama bagi keberlangsungan sektor perikanan tangkap secara keseluruhan, sehingga tanpa tindakan pengelolaan yang tepat akan menyebabkan kepunahan (Khasanah *et al.* 2019a).

Menyadari kondisi tersebut, Pemerintah daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) melalui Peraturan Gubernur (Pergub) NTB Nomor 32 Tahun 2018 telah berupaya untuk melakukan pengendalian penangkapan yang berlebihan dan merusak tersebut melalui kebijakan pembatasan aktivitas penangkapan sebagai bagian dari intervensi pengelolaan sumber daya perikanan (Efendi *et al.* 2020). Pemerintah daerah NTB memutuskan untuk melakukan intervensi yang bertujuan untuk memperbaiki kondisi yang terjadi pada saat ini melalui Peraturan Gubernur nomor 32 tahun 2018. Substansi peraturan ini mencakup (i) pengaturan ukuran tangkapan kerapu bintik merah dan kerapu ekor bulan minimal seberat 300 gram, sedangkan kerapu lainnya minimal seberat 500 gram; (ii) pengaturan ukuran alat tangkap dimana mata jaring terkecil yang diperbolehkan sebesar 4 inci dan ukuran mata pancing terkecil adalah nomor 4; dan (iii) pengaturan waktu penangkapan (Pemerintah Provinsi NTB 2018). Intervensi ini diharapkan dapat menjadi

instrumen pengendali tingkat penangkapan yang berlebihan, sekaligus dapat menekan kegiatan perusakan sumberdaya pendukung perikanan.

Seperti yang diketahui bersama, kebijakan perikanan berupa regulasi yang mengatur aspek teknis penangkapan ikan skala kecil masih sangat jarang diterapkan di Indonesia. Perikanan kerapu sebelumnya dari mulai tidak diatur (*un-regulated*) dan bersifat *common pool fisheries* hingga *poor-management* karena didominasi perikanan skala kecil. Hal ini diantaranya disebabkan tantangan keterbatasan data stok ikan tersebut sebagai *reference point* dalam penyusunan kebijakan. Oleh karenanya penelitian mengenai status stok kerapu ini sangat penting untuk memastikan keberlanjutan pengelolaan perikanan di area ini dalam jangka panjang.

## 4.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi parameter-parameter populasi ikan dan mengkaji status stok ikan kerapu sebagai informasi dasar dalam pengelolaan perikanan kerapu di perairan Teluk Saleh.

## 4.3 Metode

### 4.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak Januari-Desember 2019. Lokasi penelitian mencakup perairan Teluk Saleh (Kabupaten Sumbawa dan Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat) dengan pendaratan ikan di 5 lokasi pusat kegiatan pendaratan utama kapal penangkap ikan kerapu, yaitu Labuan Kuris, Labuan Sanggoro, Labuan Jambu, Labuhan Sumbawa (Kabupaten Sumbawa), dan Soro (Kabupaten Dompu).

### 4.3.2 Pengumpulan Data

Data sekunder yang digunakan berupa data panjang ikan yang dikumpulkan enumerator Wildlife Conservation Society Tahun 2019 dan data hasil tangkapan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sumbawa dan BPS Kabupaten Dompu serta laporan statistik dari Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi, DKP Kabupaten Sumbawa dan DKP Kab Dompu.

Sampel ukuran panjang ikan (*total length*) dikumpulkan setiap bulan di lima lokasi pendaratan terpilih. Pada kajian ini dari 11 spesies ikan yang diatur dalam PERGUB, hanya tiga spesies dominan yang tertangkap nelayan yang dipilih (di atas 200 sampel), yaitu *Plectropomus leopardus*, *P. maculatus*, *Epinehelus coioides* sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Distribusi frekuensi panjang dibuat dengan interval kelas 2.

Tabel 4 Jumlah dan nama lokal serta nama Inggris ikan sampel

Spesies	Nama Inggris	Nama lokal/Indonesia	Jumlah sampel (n)
<i>Plectropomus leopardus</i>	Leopard coral grouper	Kerapu sunu halus	686
<i>Plectropomus maculatus</i>	Spotted coral grouper	Kerapu sunu kasar	326

<i>Epinephalus coioides</i>	Orange-spotted grouper	Kerapu lumpur	694
Total			1.706

### 4.3.3 Metode Analisis

#### *Length Based Assessment*

Dalam penelitian ini parameter populasi ikan yang dianalisis meliputi parameter pertumbuhan, umur harapan hidup (*lifespan*), mortalitas dan laju eksploitasi (pemanfaatan), panjang rata-rata ikan pertama kali tertangkap, panjang ikan pertama kali matang gonad, pola rekrutmen, dan spawning potential ratio (SPR). Parameter pertumbuhan ikan, panjang asimtotik ( $L_{\infty}$ ), koefisien pertumbuhan ( $k$ ), mortalitas alami ( $M$ ) diduga menggunakan metode ELEFAN I dalam piranti lunak Rstudio package TropFishR dan fishmethods (Pauly 1984, Mildenerger *et al.* 2017, Agustina *et al.* 2019b).

Koefisien pertumbuhan yang digunakan mengikuti model von Bertalanffy yang dirumuskan sebagai:

$$L_t = L_{\infty} [1 - e^{-(k(t-t_0))}] \quad (1)$$

di mana,  $L_t$  adalah ukuran ikan pada umur  $t$  (cm);  $L_{\infty}$  adalah panjang asimtotik (cm);  $k$  adalah koefisien pertumbuhan (tahun<sup>-1</sup>), dan  $t_0$  adalah umur hipotesis ikan pada panjang nol (tahun).

Pendugaan nilai  $t_0$  tersebut berdasarkan persamaan empiris Pauly (1984) yaitu :

$$\log(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \log(L_{\infty}) - 1.038 \log k \quad (2)$$

Parameter  $t_0$  dan  $k$  tersebut digunakan untuk menduga lifespan ikan kerapu (Pauly 1984) yaitu :

$$\text{Lifespan} = t_0 + \frac{2,996}{k} \quad (3)$$

Dengan metode kurva konversi hasil tangkapan dengan panjang (*length converted catch curve*) pada program Rstudio package TropFishR juga dapat diduga nilai mortalitas total ( $Z$ ). Adapun nilai mortalitas penangkapan ( $F$ ) dan laju eksploitasi ( $E$ ) dihitung dengan menggunakan formula (Pauly 1984):

$$F = Z - M \quad (4)$$

$$E = \frac{F}{M} \quad (5)$$

Parameter panjang pertama kali dewasa ( $L_m$ ) dengan menggunakan persamaan Froese and Binohlan (2000):

$$\log L_m = 0,8979 * \log L_{\infty} - 0,0782 \quad (6)$$

Pendugaan spawning potential ratio (SPR) dilakukan dengan analisis online *Length-based Spawning Potential Ratio* pada situs [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au) yang dikembangkan Hordyk *et al.* (2014). Analisis ini menggunakan *life history parameters* seperti data panjang infinti ( $L_{\infty}$ ), koefisien pertumbuhan ( $k$ ), maturity ( $M$ ), Length at maturity ( $L_m$ ) dan

$L_{95}$  yang nilainya diestimasi sebesar  $1,1 \times L_m$  (Prince *et al.* 2015). Parameter biologi tersebut dihitung menggunakan piranti lunak R-script package TropFishR dan fishmethods (Mildenberger *et al.* 2017, Agustina *et al.* 2019b). Dari aplikasi tersebut diperoleh nilai dugaan ukuran ikan pertama kali tertangkap ( $L_c$  atau dikenal dengan  $SL_{50}$ ).

#### *Surplus Production Model*

Pendekatan tersebut digunakan karena selain dapat dihitung jumlah produksi maksimum lestari dan upaya tangkap optimum yang diperlukan, juga dapat diketahui juga nilai konstanta pertumbuhan alami (*intrinsic growth* atau disimbolkan “ $r$ ”), kemampuan alat tangkap (*catchability* atau “ $q$ ”) dan daya dukung perairan (*carring capacity* atau “ $K$ ”). Model yang digunakan adalah Model Schaefer (1954).

Model Schaefer menggunakan asumsi bahwa hubungan antara CPUE (observasi) dan upaya penangkapan (E) adalah linier. Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk persamaan regresi:

$$CPUE = a - bE \quad (7)$$

dimana,  $a = qK$ , dan  $b = \frac{Kq^2}{r}$

sehingga hubungan antara upaya penangkapan (E) dan jumlah hasil tangkapan (h) dapat dinyatakan :

$$ht = aEt - bEt^2 \quad (8)$$

Dari nilai hasil tangkapan tersebut kemudian diperoleh nilai prediksi CPUE, yaitu persamaan 8 dibagi upaya penangkapan.

Upaya penangkapan optimum ( $E_{opt}$ ) dapat diperoleh dari turunan pertama jumlah hasil tangkapan terhadap upaya penangkapan tersebut, yaitu:

$$E_{opt} = \frac{a}{2b} \quad (9)$$

Produksi maksimum lestari (MSY) diperoleh dengan mensubstitusi nilai  $E_{opt}$  kedalam persamaan produksi ( $h_t$ ), sehingga  $H_{MSY}$  dinyatakan :

$$MSY = \frac{a^2}{4b} \quad (10)$$

Namun demikian, estimasi parameter  $r$ ,  $K$ , dan  $q$  serta nilai  $E_{opt}$ , MSY, dan biomas untuk kedua model surplus produksi tersebut dilakukan dengan perangkat R Studio paket TropFishR.

#### **4.4 Hasil dan Pembahasan**

Informasi tentang kondisi stok dan aspek ekonomi perikanan kerapu di Teluk Saleh sangat penting sebagai *fisheries reference point* atau titik acuan dalam pengelolaan perikanan, yang terdiri dari parameter *life-history* seperti parameter pertumbuhan, mortalitas, tingkat pemanfaatan, *SPR*, nilai biomas, *effort* optimal dan MSY.

#### 4.4.1 Struktur Ukuran

Data sampel ikan yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 1.706 ikan (Tabel 5). Panjang rata-rata kerapu sunu halus (*Plectropomus leopardus*)  $41,10 \pm 7,90$  cm, *Plectropomus maculatus*  $46,90 \pm 18,90$  cm, dan Kerapu lumpur (*Epinephalus coioides*)  $58,10 \pm 10,30$  cm. Nilai modus untuk ikan kerapu sunu halus berada pada selang 34-36 cm, kerapu sunu kasar 38-40 cm, dan kerapu lumpur 56-58 cm. Distribusi frekuensi ikan sampel disajikan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.

Tabel 5 Ukuran panjang ikan kerapu sampel

Species	Jumlah sampel (n)	Panjang (cm)			
		rerata	Standard deviasi	minimum-maksimum	modus
<i>Plectropomus leopardus</i>	686	41,10	7,90	23,40-70,40	34-36
<i>Plectropomus maculatus</i>	326	46,90	18,90	23,10-69,10	38-40
<i>Epinephalus coioides</i>	694	58,10	10,30	30,70-95,40	56-58
Total	1.706				

Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa rerata panjang ikan kerapu yang tertangkap terus mengalami peningkatan dibandingkan dengan rerata panjang ikan kerapu sebelum kebijakan diberlakukan (tahun 2017). Jenis kerapu sunu halus mengalami peningkatan ukuran rerata panjang ikan dibandingkan dengan tahun sebelumnya, yaitu 37,00 cm, demikian halnya dengan kerapu sunu kasar (40,00 cm) dan kerapu lumpur (53,00 cm) (Agustina *et al.* 2019c). Panjang minimal ikan yang tertangkap juga menunjukkan perbaikan dari tahun sebelumnya, yaitu kerapu sunu halus sebesar 20,00 cm, kerapu sunu kasar 21,00 cm, dan kerapu lumpur 24,00 cm. Hal ini mengindikasikan adanya dampak PERGUB No 32 tahun 2018 terhadap perubahan struktur ukuran ikan yang tertangkap.

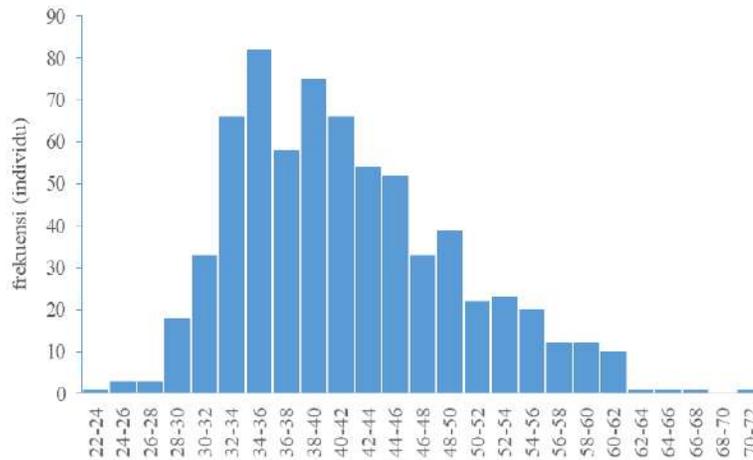
Namun melihat perbaikan performa dengan menggunakan indikator panjang ikan relatif sulit diterapkan di tingkat nelayan dan pedagang pengumpul yang dalam praktik transaksinya menggunakan satuan berat ikan (gram). Sama halnya ketika mengukur efektivitas pelaksanaan PERGUB tersebut yang secara tekstual mengatur pembatasan ukuran ikan yang boleh ditangkap dan dijual dalam bentuk berat minimal, yaitu sebesar 500 gram per ekor. Indikator evaluasi kebijakan tersebut dapat dilakukan dengan mengkonversi ukuran panjang ikan tersebut kedalam satuan berat berdasarkan hubungan antara panjang dan berat ikan (*length-weight relationship*). Penggunaan titik acuan ukuran batas berat minimum ikan untuk mengevaluasi kebijakan tersebut setara dengan panjang minimal ikan berdasarkan kesepakatan para pihak yang terlibat saat menyusun dokumen rencana aksi pengelolaan, yaitu 500 gram berat ikan per ekor yang diatur dalam PERGUB setara dengan 25,00 cm panjang ikan jenis kerapu sunu halus, 26,00 cm panjang ikan kerapu kasar, dan 29,00 cm panjang ikan kerapu lumpur (Agustina *et al.* 2019c). Dari total 1.706 ikan yang diukur, sebagian besar (99,80 persen) ikan tersebut berada di atas ukuran 500 gram sebagaimana yang tertera dalam PERGUB (Tabel 6). Namun jika menggunakan konversi hubungan panjang dan berat ikan menurut hasil kajian Ernaningsih *et al.* 2019, yaitu sebesar 32,00 cm untuk ikan *Plectropomus leopardus* dan hasil penelitian Nuraini (2007) sebesar 33,00 cm untuk ikan *Plectropomus maculatus* dan *Epinephelus coioides*

maka terdapat 95,30 persen yang berada di atas titik acuan tersebut, sedangkan 7,40 persen ikan sampel sisanya masih di bawah batas atau ukuran berat minimal sebagaimana diatur dalam PERGUB.

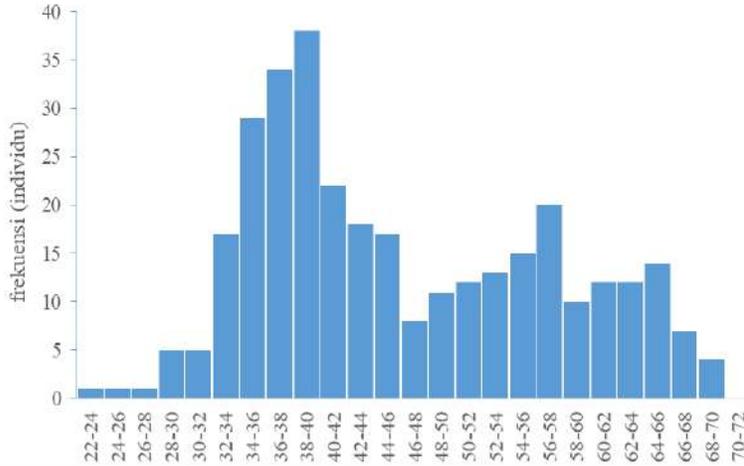
Tabel 6 Perbandingan jumlah ikan sampel yang memenuhi titik acuan dalam PERGUB

Spesies	Berat minimum (gram)	Titik acuan (cm)*	Jumlah sampel		Persentase
			Memenuhi titik acuan (n)	Total sampel (n)	
<i>Plectropomus leopardus</i>	500	25	684	686	99,70
<i>Plectropomus maculatus</i>	500	26	324	326	99,40
<i>Epinephalus coioides</i>	500	29	694	694	100,00
Total			1.702	1.706	99,80

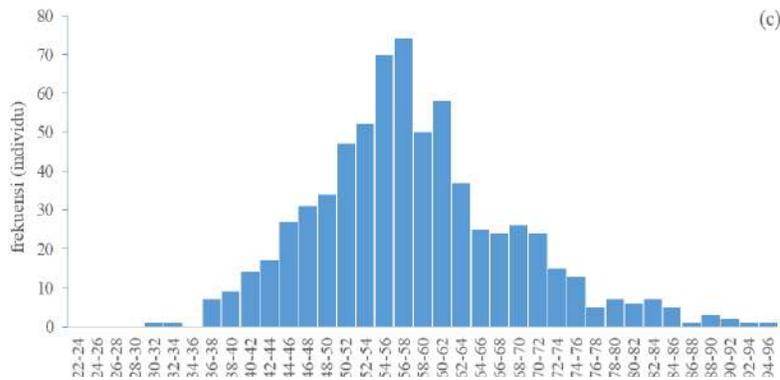
\*Konversi berat 500 gram ikan per ekor setara dengan ukuran minimum panjang ikan



Gambar 8 Distribusi frekuensi panjang ikan *Plectropomus leopardus*



Gambar 9 Distribusi frekuensi panjang ikan *Plectropomus maculatus*



Gambar 10 Distribusi frekuensi panjang ikan *Epinephelus coioides*

#### 4.4.2 Parameter Pertumbuhan

Estimasi parameter pertumbuhan dilakukan berdasarkan data sebaran frekuensi panjang yang diolah melalui metoda pergeseran modus panjang total ikan pada Rstudio *package* TropFishR. Hasil pendugaan parameter pertumbuhan ikan kerapu di perairan Teluk Saleh disajikan pada Tabel 7.

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan nilai panjang infiniti ( $L_{\infty}$ ) ikan *E. coioides* memiliki panjang asimptotik ( $L_{\infty}$ ) yang terbesar diantara jenis kerapu lainnya yaitu sebesar 90,30 cm, sedangkan *Plectropomus leopardus* memiliki panjang  $L_{\infty}$  yang terendah dibandingkan jenis kerapu lainnya yaitu sebesar 75,10 cm. Panjang infiniti ikan *P. leopardus* dicapai pada umur 14 tahun, sedangkan *P. maculatus*, dan *E. coioides* mencapai nilai  $L_{\infty}$  pada saat umur 21 tahun. Sementara itu, laju pertumbuhan ( $k$ ) ikan kerapu memiliki kisaran antara 0,14 hingga 0,22 per tahun dan rata-rata meningkat dibanding periode sebelumnya. Dengan nilai  $k$  dibawah 1 menunjukkan bahwa pertumbuhan kelompok ikan tersebut termasuk

kategori lambat tumbuh (*slow-growing*) sehingga membutuhkan bertahun-tahun untuk mencapai panjang infinitinya (Sparre dan Venema 1999). Ikan yang memiliki pertumbuhan lambat dan berusia panjang sangat sensitif terhadap tingkat penangkapan dan memerlukan waktu yang lama untuk mencapai kondisi stok pulih kembali (Ault *et al.* 2008). Selain itu, ikan kerapu juga memiliki karakteristik relatif lambat dalam mencapai kematangan seksual untuk pertama kali (Heemstra dan Randal 1993; Haight *et al.* 1993; Sadovy de Mitcheson *et al.* 2013), dan dapat berubah jenis kelamin (*sex reversal*) pada umur tertentu menjadi jantan (*protogynous hermaphroditism*) sebagaimana dilaporkan Ferreira (1993), Ferreira (1995) dan Adam (2003). Perubahan jenis kelamin ikan *P. leopardus* biasanya ketika mencapai ukuran 42,00 cm (Adam 2003), *P. maculatus* pada ukuran 35,40 cm atau Ketika berumur 4 tahun (Ferreira 1993), sedangkan *E. coioides* terjadi pada ukuran 79,00 cm (*total length*) atau pada berat 6,50 kg (Achmad *et al.* 2019).

Tabel 7 Parameter pertumbuhan ikan kerapu

Spesies	$L_{\infty}$ (cm)	k (per tahun)	$t_0$ (tahun)	<i>Lifespan</i> (tahun)
<i>Plectropomus leopardus</i>	75,10	0,23	-0,57	14
<i>Plectropomus maculatus</i>	78,40	0,15	-0,88	21
<i>Epinephalus coioides</i>	103,00	0,10	-1,21	30

#### 4.4.3 Mortalitas dan Tingkat Eksploitasi

Pendugaan laju mortalitas total dihitung melalui pendekatan kurva hasil tangkapan berbasis rerata data frekuensi panjang yang dikonversikan menjadi umur ikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga spesies memberikan nilai mortalitas total ( $Z$ ) bervariasi, yaitu 0,77 (*P. leopardus*), 0,46 (*E. coioides*), dan 0,29 (*P. maculatus*). Mortalitas total *P. leopardus* dan *E. coioides* lebih dari mortalitas total spesies lainnya, hal ini mengindikasikan bahwa stok kelompok kerapu tersebut lebih rentan terhadap kematian dibandingkan *P. maculatus*.

Dengan menggunakan pendekatan empiris, mortalitas alami ( $M$ ) spesies dapat diduga Pauly (1980), yaitu sebesar 0,32 (*P. leopardus*), 0,21 (*P. maculatus*), dan 0,21 (*E. coioides*). Mortalitas pada suatu populasi juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu kegiatan penangkapan (*fishing*), pemangsaan (*predation*), penyakit, dan ketuaan (Sparre and Venema 1999). Estimasi mortalitas akibat pemanfaatan ( $F$ ) dihitung berdasarkan parameter mortalitas total dan mortalitas alami (Pauly 1984), yang hasilnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Estimasi tingkat kematian dan eksploitasi ikan kerapu

Spesies	$Z$ (per tahun)	$M$ (per tahun)	$F$ (per tahun)	F/M	E
<i>Plectropomus leopardus</i>	0,77	0,32	0,45	1,44	0,59
<i>Plectropomus maculatus</i>	0,36	0,21	0,15	0,70	0,41
<i>Epinephalus coioides</i>	0,29	0,14	0,15	1,07	0,51

Dengan menggunakan parameter mortalitas, laju pemanfaatan ikan kerapu di Teluk Saleh dapat diduga (Tabel 5), yaitu rasio mortalitas penangkapan terhadap mortalitas total. Laju eksploitasi yang optimal menurut King (1995) terjadi ketika mortalitas penangkapan sebanding dengan mortalitas alaminya, atau nilai  $E$  sebesar 0,50. Tingkat pemanfaatan *P. leopardus* dan *E. coioides* berada diatas nilai optimal atau di atas 0,5 per tahun. Selain alat tangkap pancing, penggunaan alat tangkap panah dengan alat bantu kompressor meningkatkan tekanan penangkapan terhadap jenis ikan tersebut.

Nilai eksploitasi yang melebihi nilai eksploitasi optimal pertahun menunjukan bahwa ikan kerapu di Teluk Saleh telah mengalami *overexploitation*. Tingginya laju eksploitasi ( $E$ ) tersebut disebabkan faktor peningkatan proporsi mortalitas akibat tekanan penangkapan ( $F$ ) terhadap mortalitas alami ( $M$ ). Selama dua tahun terakhir, kondisi tingkat penangkapan *P. leporadus* di Teluk Saleh semakin membaik dari 0,62 (Agustina *et al.* 2019c) menjadi 0,59 dan nilainya lebih tinggi dibandingkan tingkat pemanfaatan ikan tersebut di perairan lainnya di Indonesia, seperti di Karimunjawa (Jawa Tengah) sebesar 0,45 (Agustina *et al.*

2018), perairan Kepulauan Sarrapo (Sulawesi Selatan) sebesar 0,58 (Ernaningsih *et al.* 2019), perairan Teluk Lasongko (Sulawesi Tenggara) sebesar 0,52 (Prasetya, 2010), perairan Teluk Cendrawasih (Papua) sebesar 0,52 (Bawole *et al.* 2017). Tingginya intensitas penangkapan juga disebabkan oleh permintaan ikan kerapu sunu sebagai komoditas ekonomis penting yang terus meningkat (Khasanah *et al.* 2019b) dan harga ikan kerapu sunu yang relatif tinggi dibanding ikan lainnya (sekitar 150-280 ribu per kg untuk ukuran di bawah 1 kg per ekor dan sekitar 100-120 ribu per kg untuk ukuran di atas 1 kg per ekor). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ikan *E. coioides* memiliki laju eksploitasi sebesar 0,51 per tahun dan kebanyakan ditangkap pada ukuran saat relative masih *immature* atau ukuran masih muda (*juvenile*) dan diduga belum sempat memijah.

#### 4.4.4 Ukuran Ikan Pertama Kali Tertangkap ( $L_c$ )

Untuk menghindari penangkapan berlebih (*overfishing*), nilai ukuran rata-rata panjang pertama kali tertangkap ( $L_c$ ) idealnya berada di atas panjang pertama kali dewasa ( $L_m$ ). Tabel 9 memperlihatkan nilai  $L_c$  nilai lebih kecil dari nilai  $L_m$  untuk jenis kerapu yang diteliti. Dari perbandingan nilai selektivitas dan maturitas tersebut menunjukkan bahwa ikan kerapu yang tertangkap di Teluk Saleh masih dalam keadaan belum mencapai matang gonad ( $L_m$ ).

Tabel 9 Ukuran ikan pertama kali tertangkap dan ukuran pertama kali matang gonad

Spesies	$L_c$ (cm)*	$L_m$ 50% (cm)**	$L_m$ 95% (cm)
<i>Plectropomus leopardus</i>	33,48	40,40	44,40
<i>Plectropomus maculatus</i>	34,40	42,00	46,20
<i>Epinephalus coioides</i>	41,40	53,60	59,00

\*Diolah menggunakan aplikasi [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au)

#### 4.4.5 Spawning Potential Ratio (SPR)

Pendugaan status stok spesies alam populasi juga dapat diduga dengan *Spawning Potential Ratio* (SPR). Konsep SPR juga muncul sebagai salah satu *biological reference point* yang penting dalam pengelolaan perikanan terutama untuk perikanan dengan data terbatas atau *data-poor fisheries* (Hordyk *et al.* 2014). Hasil analisis menunjukkan besaran nilai SPR sebagaimana disajikan pada Tabel 10. Pendugaan nilai SPR pada semua spesies berada pada kondisi *fully exploited* (moderate), kecuali *Plectropomus leopardus* dan *Epinephalus coioides*, yaitu pada rentang di atas batas 20 persen (*limit reference point*) (Hordyk *et al.* 2014; Badrudin 2015) namun di bawah batas 30 persen (*target reference point*). Nilai SPR yang tinggi menggambarkan populasi ikan yang sehat, karena ikan dengan kondisi matang cukup tersedia melakukan reproduksi (Agustina *et al.* 2018). Sementara itu, nilai SPR *Plectropomus leopardus* mengalami penurunan dibandingkan dengan tahun 2017 sebesar 0,24 dan kini status stoknya berada pada kondisi *overexploited* yang menunjukkan ikan tersebut mulai banyak ditangkap sebelum mencapai usia dewasa. Demikian halnya dengan *Epinephalus coioides* yang mengalami penurunan nilai SPR dari 0,22 (moderat) ke 0,15 (*overexploited*). Hal ini selaras dengan tingginya tingkat eksploitasi ( $E > 0,5$ ) bagi kedua komoditas tersebut.

Rendahnya nilai SPR dan tingginya nilai tingkat eksploitasi pada jenis kerapu sunu halus memberikan indikasi semakin masifnya tekanan penangkapan (F/M) jenis ini. Oleh karena itu, adanya kebijakan pembatasan ukuran tangkap akan berdampak dalam memberikan kesempatan bagi spesies tersebut untuk tumbuh dewasa, bereproduksi, dan memastikan keberlanjutan stok tersebut (Ault *et al.* 2008).

Tabel 10 Estimasi nilai *spawning potential ratio* ikan kerapu

Spesies	<i>Spawning Potential Ratio</i>
<i>Plectropomus leopardus</i>	0,19 (0,16-0,23)
<i>Plectropomus maculatus</i>	0,25 (0,18 – 0,31)
<i>Epinephelus coioides</i>	0,15 (0,13 – 0,18)

Jika diperbandingkan nilai SPR semua jenis ikan yang diatur dalam PERGUB (11 spesies), secara umum indikator tersebut mengalami peningkatan dibanding sebelumnya, kecuali *Plectropomus leopardus* dan *Epinephelus coioides* (Tabel 11). Peningkatan indikator SPR mengindikasikan bahwa bentuk intervensi pengaturan ukuran tangkap (*legal size limit*) yang dilakukan di Teluk Saleh cukup berdampak terhadap pola penangkapan nelayan, khususnya berkurangnya tekanan penangkapan akibat berkurangnya penggunaan alat tangkap panah. Mengacu pada batas titik acuan SPR (0,2), ikan *Epinephelus fuscoguttatus* berada pada status *overexploited* baik pada tahun 2017 maupun tahun 2018/2019 meskipun mengalami peningkatan nilai SPR dai 0,05 menjadi 0,06. Peningkatan SPR pada spesies ini karena terjadi penurunan hasil tangkapan alat tangkap panah sehingga merubah komposisi ikan *immature* dan pergeseran struktur ukuran panjang ikan yang tertangkap dari 46 cm pada tahun 2017 menjadi 53 cm pada tahun 2018/2019 (Tabel 11).

Tabel 11 Perkembangan nilai rerata panjang ikan tertangkap, rasio kematian dan SPR

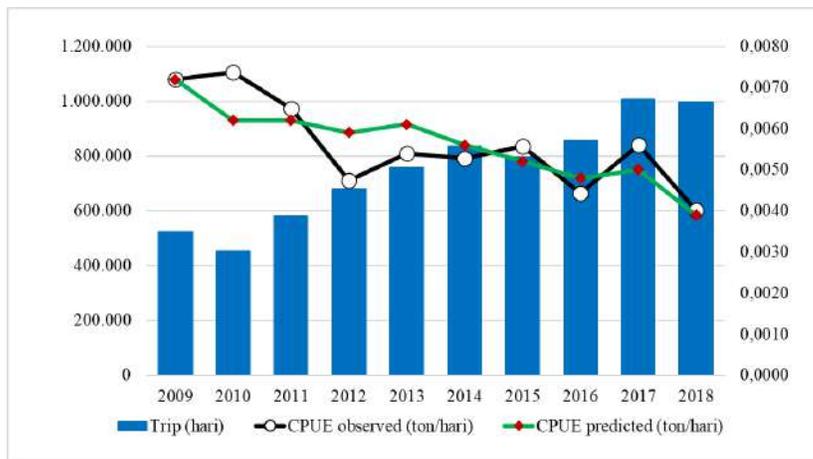
Spesies	Rerata panjang ikan tertangkap (cm)		Rasio kematian (F/M)		Nilai spawning potential ratio (SPR)		Referensi
	2017	2018/2019	2017	2018/2019	2017	2018/2019	
<i>Plectropomus leopardus</i>	37	41	1,63	1,44	0,24	0,19	Hasil penelitian
<i>Plectropomus maculatus</i>	40	47	1,13	0,70	0,21	0,25	
<i>Epinephelus coioides</i>	53	58	1,13	1,07	0,22	0,15	
<i>Plectropomus oligacanthus</i>	38	43	1,50	1,00	0,21	0,25	Agustina <i>et al.</i>
<i>Plectropomus areolatus</i>	35	40	1,07	1,00	0,19	0,20	(2017);
<i>Cephalopolis miniata</i>	27	31	2,13	1,10	0,19	0,22	WCS
<i>Cephalopolis sonnerati</i>	31	36	1,00	0,30	0,44	0,44	(2020)
<i>Variola albimarginata</i>	30	33	2,07	1,50	0,20	0,25	
<i>Variola louti</i>	34	41	1,50	0,92	0,43	0,80	
<i>Epinephelus fuscoguttatus</i>	46	53	2,21	2,20	0,05	0,06	

Status terkini jenis *Epinephelus fuscoguttatus* tersebut bersama *Plectropomus aerolatus* seperti yang ditangkap di Teluk Saleh masuk dalam *red list* status IUCN kategori rentan (*vulnerable*) terhadap ancaman kepunahan yang

lebih tinggi. Sedangkan untuk delapan jenis kerapu lainnya berada pada kategori *least concern* (beresiko rendah) dan beberapa diantaranya seperti *Plectropomus leopardus* dan *Epinephelus coioides* mengalami tren populasi yang menurun (IUCN 2020). Hal ini menggarisbawahi bahwa tantangan pengelolaan dalam rangka menuju keberlanjutan kedua spesies tersebut semakin besar. Perangkat aturan pengurangan tekanan penangkapan seperti pembatasan ukuran tangkap dan pelarangan penangkapan destruktif perlu ditingkatkan efektivitasnya melalui kegiatan sosialisasi, pengawasan dan penegakkan hukum. Penggunaan alat tangkap panah dengan alat bantu kompresor perlu dipantau lebih ketat karena alat tangkap tersebut menyumbang hasil tangkapan ikan ukuran kecil.

#### 4.4.6 Model Surplus Produksi

Berkaitan dengan kecenderungan terjadinya eksploitasi sumber daya perikanan yang berlebih, *maximum sustainable yields* (MSY) digunakan sebagai dasar dalam menganalisis potensi perikanan di Teluk Saleh untuk mengendalikan dan memonitor tingkat eksploitasi di perairan tersebut. Parameter biologi seperti kemampuan daya dukung perairan (K), tingkat pertumbuhan intrinsik ikan (r) dan kemampuan alat tangkap yang digunakan (q) diperoleh melalui analisis surplus produksi (*surplus production model*). Dalam aplikasi model ini perlu diperhatikan beberapa asumsi yaitu kelompok stok ikan kerapu merupakan satu unit stok dan *single species*, total hasil tangkapan yang didaratkan merupakan total ekstraksi dari perairan Teluk Saleh, dan jumlah alat tangkap yang tercatat merupakan alat tangkap yang aktif digunakan dan dilaporkan dalam statistik. Data yang digunakan untuk memperoleh parameter biologi adalah jumlah hasil tangkapan (*catch*) kerapu dan jumlah trip penangkapan. Jumlah upaya penangkapan (hari melaut) menggunakan jumlah kapal perikanan yang melakukan penangkapan ikan kerapu (Gambar 11).



Gambar 11 CPUE dan trip penangkapan kerapu di Teluk Saleh, 2009-2018

Analisis hubungan hasil tangkapan per upaya (Catch per Unit Effort atau CPUE) dengan upaya penangkapan (*effort* atau E) dengan menggunakan model Schaefer menghasilkan persamaan  $CPUE=0,000916-0,0000000047E$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,634 pada tingkat signifikansi atau taraf nyata ( $\alpha$ ) 1 persen ( $P<0,01$ ). Gambar 11 juga menunjukkan nilai CPUE kecenderungan menurun dalam kurun waktu 2009-2018, dan pada tahun 2018 diperkirakan sebesar 4,2 kg per trip. Estimasi parameter biologi dari kelompok kerapu dengan menggunakan model surplus produksi secara ringkas disajikan dalam Tabel 12.

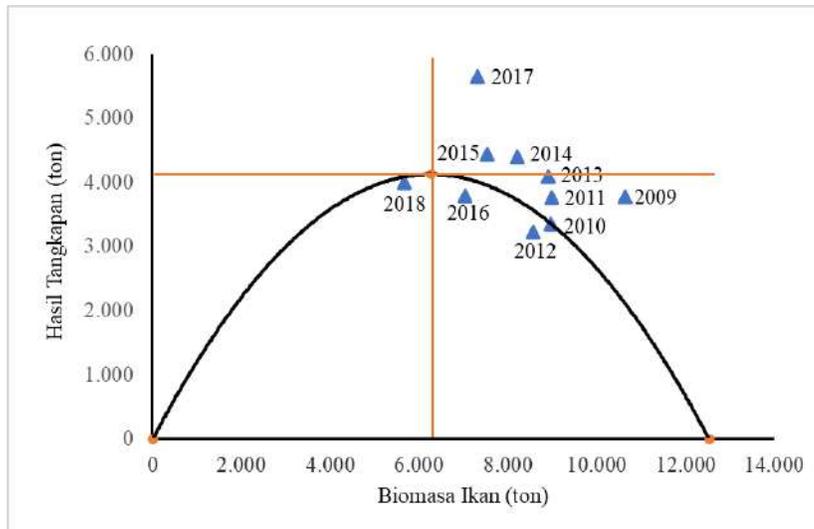
Tabel 12 Parameter biologi model Schaefer perikanan kerapu

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Daya tangkap ( <i>catchability</i> )	q		$6,859 \times 10^{-7}$
Daya dukung ( <i>carrying capacity</i> )	K	ton	12.528
Pertumbuhan intrinsik	r		1,316
Produksi lestari	MSY	ton per tahun	4.123
Biomasa ikan MSY	$B_{MSY}$	ton per tahun	6.264
Upaya MSY	$E_{MSY}$	hari	959.659
$R^2$			0,634*

\*signifikan pada tingkat 1% dan menggunakan software R studio package TrofishR

Produksi perikanan kerapu sejak tahun 2014 telah melewati kondisi produksi lestari (MSY), yaitu sebesar 4.123 ton per tahun. Kondisi ini dipicu dengan kenaikan upaya (trip) penangkapan sepanjang periode tersebut dan melewati titik upaya MSY sejak tahun 2017, yaitu sebesar 959.659 hari. Apabila upaya tersebut terus ditingkatkan tanpa pengendalian hingga melewati kondisi  $E_{MSY}$ , maka perikanan kerapu di Teluk Saleh akan mengarah pada *overfishing*. Penurunan produksi tersebut juga diduga disebabkan berkurangnya jumlah biomas ikan kerapu di Teluk Saleh (Gambar 12). Nilai biomas ikan kerapu di perairan tersebut cenderung menurun hingga di bawah titik  $B_{MSY}$  (6.264 ton per tahun) pada tahun 2018.

Nilai angka hasil tangkapan lestari, biomasa ikan, upaya tangkapan optimum yang diperoleh dari perhitungan ini dapat dijadikan angka acuan yang perlu mendapat perhatian dan dalam penerapannya perlu mempertimbangkan prinsip kehati-hatian dan dilakukan secara bertahap serta perlu dilakukan monitoring secara berkala. Khususnya terkait dengan data upaya penangkapan yang dijadikan dasar perhitungan, tidak dapat diduga dengan akurat karena banyaknya alat tangkap yang digunakan untuk menangkap kerapu seperti pancing, jaring, bagan, panah, bubu yang tidak secara spesifik dilaporkan dalam statistik perikanan digunakan untuk menangkap kerapu.



Gambar 12 Kurva hubungan antara biomas dengan hasil tangkapan

## 4.5 Simpulan dan Saran

### 4.5.1 Simpulan

Hasil studi dengan menggunakan indikator acuan biologi (*biological reference points*) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Dengan mengkonversi data panjang ikan dengan berat menunjukkan sebagian besar (99,8 persen) ikan sampel berada di atas batas berat minimal sebagaimana diatur dalam PERGUB yaitu 500 gram.
- Jenis kerapu yang tertangkap di Teluk Saleh memiliki tingkat pertumbuhan lambat hal ini dicirikan dengan nilai  $k$  yang relatif rendah, yaitu dari 0,10 sampai 0,23 per tahun.
- Jenis ikan tersebut disinyalir telah mengarah terjadinya *growth overfishing* yang ditandai dengan indikator ukuran ikan pertama kali tertangkap ( $L_c$ ) lebih kecil dari ukuran pertama kali matang gonad ( $L_m$ ).
- Tingkat eksploitasi jenis spesies *P. leopardus* dan *E. coioides* memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap meningkatnya tekanan pemanfaatan dibanding *P. maculatus* yang ditandai dengan nilai  $E$  lebih besar 0,5 sehingga status stok kedua jenis ikan berdasarkan parameter SPR ikan berada pada *overexploited* dan banyak ikan yang ditangkap sebelum mencapai usia dewasa.
- P. maculatus* memiliki tingkat penangkapan relatif rendah dan SPR di atas titik acuan (moderat) sehingga pemanfaatannya dapat dikembangkan secara terbatas dengan monitoring ketat.
- Dilihat dari model surplus produksi, perikanan kerapu di Teluk Saleh juga mengarah pada *overfishing*, karena produksi dan upaya yang dilakukan beberapa tahun terakhir telah melewati kondisi lestari.

#### 4.5.2 Saran

Dengan memperhatikan hasil pendugaan parameter biologi tersebut maka beberapa saran yang diperlukan untuk meningkatkan performa melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Perbaiki pendataan dan kajian pendugaan stok sebagai basis informasi pengelolaan yang lebih baik termasuk melalui peningkatan jumlah sampel, pengukuran panjang-berat ikan, biologi reproduksi (histologi), dan identifikasi habitat penting sebagai lokasi pemijahan,
- b. Peningkatan efektivitas dan pengawasan penerapan aturan pembatasan ukuran tangkap ikan kerapu (POKMASWAS), pengendalian upaya penangkapan, pelarangan penggunaan alat tangkap destruktif (racun sinanida) serta alat tangkap panah (*spear gun fishing*) yang diduga menangkap ikan ukuran kecil,
- c. Penutupan musiman penangkapan (*closed fishing season*) selama waktu pemijahan atau penutupan daerah penangkapan secara spasial (*closed fishing area*).

## V PERFORMA EKONOMI PERIKANAN KERAPU DI TELUK SALEH: PENDEKATAN BIOEKONOMI SPASIAL DAN EFISIENSI TEKNIS PENANGKAPAN

### 5.1 Pendahuluan

Regulasi pengelolaan kerapu yang direkomendasikan selama ini berbasis pada pendugaan status stok dengan menggunakan parameter *life history* (Amorim *et al.* 2020; Khasanah *et al.* 2019a; Ernaningsih *et al.* 2019; Agustina *et al.* 2019a; Agustina *et al.* 2018; Bawole *et al.* 2017; Agustina *et al.* 2017). Demikian halnya, dalam mendesain rencana pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh Provinsi Nusa Tenggara Barat tidak sepenuhnya memperhatikan aspek sosial-ekonomi (Retnoningtyas *et al.* 2021). Padahal, tantangan yang dihadapi dalam penerapan regulasi tersebut tidak hanya tergantung pada aspek biologi semata tetapi juga dipengaruhi realita kondisi ekonomi yang ada. Keberadaan usaha perikanan tersebut menjadi tulang punggung perekonomian dan tumpuan penghidupan bagi tidak kurang dari 5.188 nelayan yang bermukim di sepanjang pesisir teluk tersebut. Hal ini disebabkan ikan kerapu terutama (kerapu sunu) dikenal sebagai komoditas *seafood* ekonomis penting yang permintaan terus meningkat baik di pasar domestik maupun internasional.

Beberapa penelitian perikanan kerapu di Indonesia memang telah menggunakan pendekatan bioekonomi konvensional model Gordon-Schaefer yang memadukan aspek dinamika stok dan perilaku ekonomi untuk memperkirakan hasil tangkapan dan upaya penangkapan optimal secara berkelanjutan (Najamuddin *et al.* 2016; Sari *et al.* 2008). Namun, pendekatan bioekonomi tersebut berlaku pada kondisi sumber daya dengan asumsi memiliki distribusi spasial yang homogen dan sering kali kurang tepat digunakan pada kelompok sumber daya dengan heterogenitas spasial tinggi seperti sumber daya kerapu dan kelompok sumber daya ikan demersal serta spesies *sedentary* (Anderson dan Seijo 2010).

Kegagalan memahami dan memprediksi secara akurat bagaimana distribusi upaya penangkapan ikan secara spasial sebagai implikasi kebijakan akan berpotensi memiliki dampak serius bagi kebijakan perikanan itu sendiri (Hernández-Flores *et al.* 2018). Pada akhir tahun 1990-an, berkembang pendekatan bioekonomi multispesies dan diperkenalkan pemodelan bioekonomi spasial (Anderson dan Seijo 2010). Model bioekonomi spasial dipandang sebagai salah satu analisis yang mempertimbangkan pentingnya dimensi ruang dan waktu dalam pengelolaan sumberdaya berbasis bioekonomi (Seijo *et al.* 1998; Sanchirico dan Wilen 2001; Anderson dan Seijo 2010; Conrad dan Smith 2012). Oleh karenanya kajian bioekonomi spasial sangat diperlukan sebagai salah satu *tools* yang bermanfaat untuk mengetahui distribusi spasial alokasi upaya (*trip*) penangkapan optimal di Teluk Saleh sebagai salah satu instrumen penentuan *total allowable effort* (TAE).

Selain itu, performa ekonomi perikanan kerapu yang ditinjau dari efisiensi teknis perikanan kerapu skala kecil di Teluk Saleh perlu dikaji. Hal ini mengingat pada dasarnya tujuan pengelolaan adalah menjamin keberlanjutan stok ikan dan menghasilkan manfaat ekonomi dari usaha perikanan itu sendiri. Kajian ini juga

penting sebagai input untuk meningkatkan efektivitas penerapan kebijakan di masa depan.

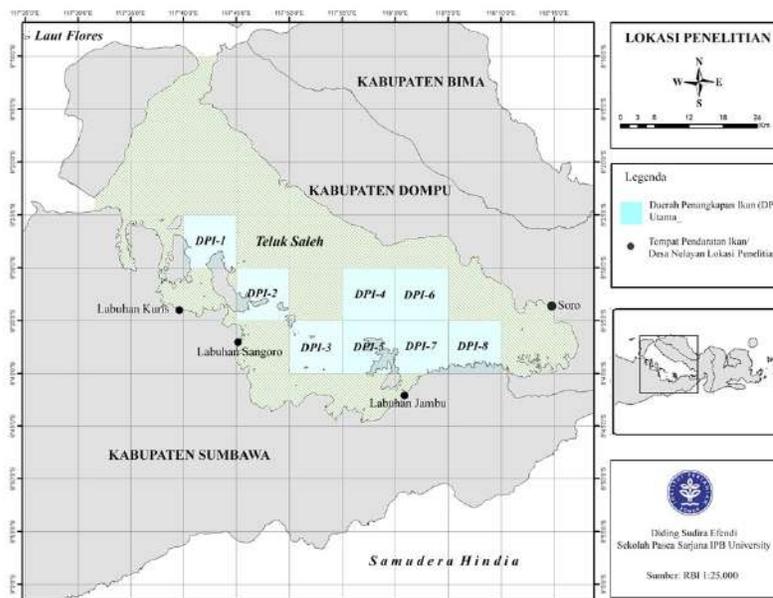
## 5.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji performa ekologi dan ekonomi perikanan kerapu di Teluk Saleh berdasarkan indikator bioekonomi perikanan statis, bioekonomi spasial, dan efisiensi perikanan kerapu skala kecil di Teluk Saleh.

## 5.3 Metode

### 5.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Januari sampai dengan Desember 2019 di empat lokasi pendaratan utama perikanan pancing dengan target ikan kerapu di Teluk Saleh yaitu Labuhan Jambu (Kecamatan Tarano), Labuhan Sangoro (Kecamatan Maronge), Desa Labuhan Kuris (Kecamatan Lape) Kabupaten Sumbawa dan Desa Soro (Kecamatan Kempo) Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat. Adapun lokasi penangkapan ikan kerapu di Teluk Saleh menggunakan sistem satu *grid* dikali satu *grid* dengan ukuran  $5' \times 5'$  atau  $5 \times 5$  mil laut dan dibagi kedalam delapan daerah penangkapan ikan (DPI) utama seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Lokasi penelitian dan pembagian DPI

### 5.3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam kajian ini meliputi data sekunder dan data primer. Data sekunder meliputi data hasil tangkapan kerapu, hasil tangkapan

insidental (kakap, jarang gigi, kuwe, dan ikan lainnya), komposisi hasil tangkapan, harga ikan (target dan insidental), harga perbekalan (BBM, es, umpan), effort (trip penangkapan), jumlah kapal, ukuran kapal, ukuran mesin kapal, dan *fishing ground* (DPI). Data sekunder berasal dari 112 nelayan sampel yang secara rutin dikumpulkan Wildlife Conservation Society (WCS) pada tahun 2019. Data bulanan hasil penangkapan ikan per trip dan harga ikan tersebut digunakan untuk menghitung penerimaan per upaya penangkapan atau *revenue per unit effort* (RPUE).

Untuk analisis bioekonomi statis digunakan data *time series* produksi dan *effort* yang bersumber dari BPS Kab Sumbawa dan Kab Dompu, DKP Provinsi, serta data indeks harga konsumen (IHK) berasal dari BPS pusat untuk Kota Bima sebagai lokasi yang berdekatan dengan Kab Sumbawa dan Kab Dompu. Untuk informasi yang tidak tersedia dalam survey WCS seperti data jumlah rata-rata hari melaut (trip) per bulan, biaya tetap, biaya penyusutan, dan biaya perawatan kapal dilakukan wawancara terhadap nelayan sampel. Wawancara dilakukan terhadap 50 responden nelayan pancing.

Pengumpulan data dilakukan terhadap sebagian populasi atau secara sampling yang dianggap mewakili keseluruhan populasi yang diteliti. Pemilihan desa tersebut sebagai lokasi penelitian dilakukan secara purposif (*purposive sampling*) dan dianggap mewakili seluruh desa nelayan tempat domisili penangkap ikan kerapu di Teluk Saleh berdasarkan tujuan penelitian.

### 5.3.3 Metode Analisis

#### *Analisis Deskriptif*

Metode analisis data menggunakan analisis deskriptif untuk memotret karakteristik perikanan berupa rata-rata, standard deviasi dimensi kapal, kekuatan mesin, nomor pancing, jumlah mata pancing, kedalaman dan lama operasi alat tangkap yang digunakan nelayan.

#### *Analisis Revenue per Unit Effort (RPUE)*

Selain menggunakan analisis hubungan antara hasil tangkapan (*catch*) persatuan upaya penangkapan (unit *effort*) atau CPUE sebagaimana dijelaskan pada sebelumnya, penelitian ini menggunakan analisis *Revenue per Unit Effort* (RPUE). Menurut Béné dan Tewfik (2001), penerimaan bioekonomi persatuan upaya tersebut merepresentasikan nilai (keuntungan) ekonomi yang diharapkan diperoleh nelayan dari kegiatan upaya penangkapan yang dilakukan. Nilai tersebut dapat diestimasi berdasarkan nilai hasil tangkapan per upaya (CPUE) dengan harga ikan. Nilai CPUE tersebut mencerminkan rata-rata kelimpahan suatu spesies pada periode tertentu. Dengan demikian nilai RPUE dirumuskan sebagai berikut:

$$RPUE_{ij} = CPUE_{ij} \times p_{ij} \quad 1$$

dengan  $CPUE_{ij}$  : nilai CPUE bulanan stok  $i$  untuk periode  $j$  dan  $p_{ij}$  : harga spesies  $i$  pada periode yang sama ( $j$ ).

*Analisis Bioekonomi Statis*

Konsep bioekonomi menggunakan model bio-ekonomi yang disusun oleh Gordon-Schaefer (1954). Model tersebut merupakan pengembangan dari model biologi Schaefer (1954), dengan persamaan dinamika populasi:

$$\frac{dX}{dt} = rx \left( 1 - \frac{x}{K} \right) - H \quad (2)$$

dimana H adalah fungsi hasil penangkapan yang tergantung dari input yang digunakan (E), dan jumlah biomas yang tersedia (X), serta koefisien tangkap (q).

Dalam perspektif model Schaefer, pengelolaan terbaik adalah pada kondisi produksi lestari berada pada level tertinggi kurva *effort* (Fauzi 2010) atau dinanal dengan titik maximum sustainable yield (MSY). Pada titik tersebut dicapai pada saat jumlah *effort* ( $E_{MSY}$ ), hasil tangkapan ( $h_{MSY}$ ), tingkat biomas ( $X_{MSY}$ ) yang dapat dihitung dengan formula:

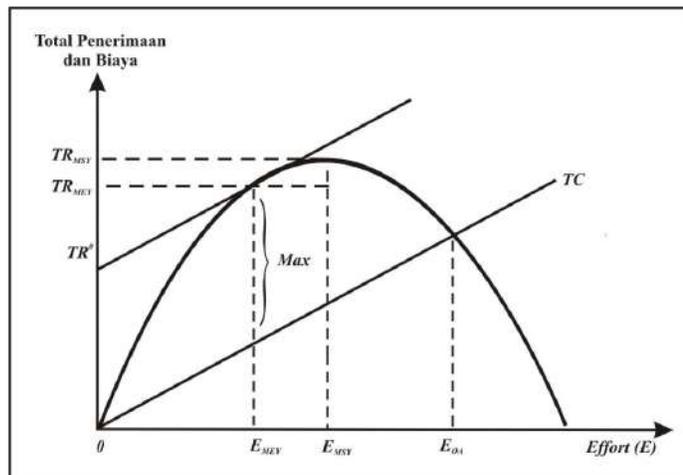
Tabel 13 Formulasi penentuan indikator bioekonomi pada setiap kondisi perusahaan

Kondisi perusahaan	Indikator bioekonomi	Persamaan
MSY	Upaya ( $E_{MSY}$ )	$E_{MSY} = \frac{r}{2q}$
	Hasil tangkapan ( $h_{MSY}$ )	$h_{MSY} = \frac{rK}{4}$
	Biomasa ikan ( $X_{MSY}$ )	$X_{MSY} = \frac{K}{2}$
MEY	Upaya ( $E_{MEY}$ )	$E_{MEY} = \frac{r}{2q} \left( 1 - \frac{c}{pqK} \right)$
	Hasil tangkapan ( $h_{MEY}$ )	$h_{MEY} = \frac{rK}{4} \left( 1 + \frac{c}{pqK} \right) \left( 1 - \frac{c}{pqK} \right)$
	Biomasa ikan ( $X_{MEY}$ )	$X_{MEY} = \frac{K}{2} \left( 1 + \frac{c}{pqK} \right)$
Open access	Upaya ( $E_{OA}$ )	$E_{OA} = \frac{r}{q} \left( 1 - \frac{c}{pqK} \right)$
	Hasil tangkapan ( $h_{OA}$ )	$h_{OA} = \frac{rc}{pq} \left( 1 - \frac{c}{pqK} \right)$
	Biomasa ikan ( $X_{OA}$ )	$E_{OA} = \frac{c}{pq}$

Keterangan: r=pertumbuhan intrinsik, q=daya tangkap (*catchability*), K=daya dukung (*carrying capacity*), c=biaya per ton per trip, p=harga per ton  
Sumber: Fauzi 2010

Pada Gambar 14 mengilustrasikan kondisi keseimbangan keuntungan dan effort pada titik MSY, MEY dan open akses dalam model Gordon-Schaefer. Secara grafis terlihat 'profit maksimum' dicapai pada saat MEY, dan sebaliknya pada titik  $R_{OA}$  menunjukkan total penerimaan sama dengan total biaya. Dengan

demikian, keuntungan ekonomi pada titik tersebut adalah sebesar nol dengan input (*effort*) sebesar  $E_{0A}$ .



Gambar 14 Model Gordon-Schaefer (Sumber?)

Dalam perkembangannya, konsep pengelolaan sumberdaya ikan pada dasarnya ditujukan juga untuk memberikan manfaat ekonomi (dalam bentuk rente ekonomi). Rente tersebut merupakan selisih dari penerimaan yang diperoleh dari ekstraksi sumberdaya ikan dengan biaya yang dikeluarkan. Jika penerimaan tersebut didefinisikan sebagai  $TR = ph$ , dimana  $p$  adalah harga output (ikan) per satuan berat, sementara biaya total didefinisikan linier terhadap input atau  $TC = cE$ . maka manfaat ekonomi bisa ditulis dalam bentuk:

$$\pi = ph - cE \quad (3)$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan hubungan upaya dan hasil tangkapan sebagaimana pada bab sebelumnya ( $ht = \alpha Et - \beta Et^2$ ), penerimaan dari sumberdaya ikan dapat dihitung dari sisi input atau :

$$\pi = p[\alpha E - \beta E^2] - cE \quad (4)$$

Pada penelitian ini menggunakan model bioekonomi statik Copes (1972) dengan menggunakan kerangka dasar biologi Model Schaefer. Model ini mengaitkan harga dan biaya total merupakan fungsi dari output (hasil tangkapan). Dari fungsi biaya  $TC = cE$  diturunkan kurva biaya marjinal jangka panjang (LRMC) menjadi biaya marjinal (MC), yaitu:

$$MC = \frac{c}{\sqrt{a^2 - 4\beta h}} \quad (5)$$

Titik keseimbangan pada kondisi MEY diperoleh dari perpotongan antara kurva permintaan dengan kurva penawaran yang diwakili LRMC, sehingga titik maksimum dicapai pada saat harga sama dengan biaya marjinal ( $p=MC$ ). Sementara itu, pada kondisi *open access*, keseimbangan harga dapat dicapai pada saat kurva permintaan ( $h=m-np$ ) sama dengan kurva penawaran pada model Schaefer ( $h_{OA} = \frac{rc}{pq} \left(1 - \frac{c}{pqK}\right)$ ) seperti pada Tabel 13.

Estimasi harga output ( $p$ ) dari data sekunder sebelumnya dikonversi ke pengukuran riil dengan cara menyesuaikan dengan indeks harga konsumen (IHK) yang berlaku di Teluk Saleh. Secara matematis dinotasikan sebagai berikut (Fauzi dan Anna 2005):

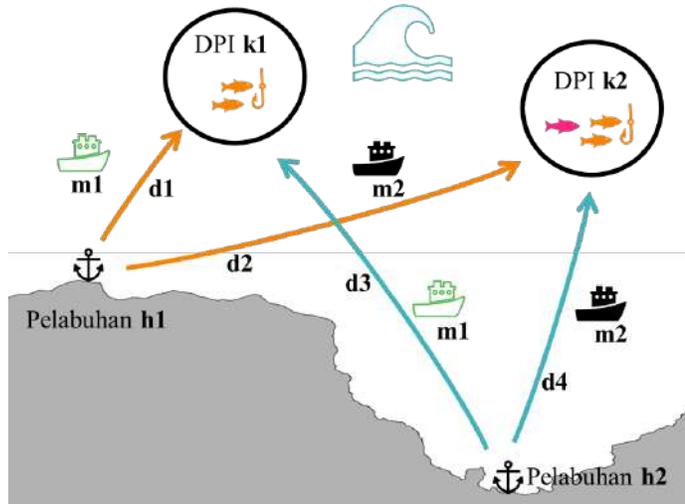
$$P_t = \frac{IHK_t}{IHK_{standar}} P_{standar} \quad (6)$$

$p_t$  adalah harga ril pada tahun ke- $t$ ,  $p_{standar}$  adalah harga nominal pada tahun standar (tahun 2012),  $IHK_t$  adalah Indeks Harga Konsumen pada tahun  $t$ ,  $IHK_{standar}$  adalah Indeks Harga Konsumen pada tahun standar (tahun 2012). Pengolahan data dibantu dengan menggunakan software MAPLE (algoritma terlampir).

#### *Analisis Bioekonomi Spasial*

Model bioekonomi spasial digunakan pada kondisi sumber daya ikan yang memiliki heterogenitas spasial ekologi dan ekonomi (Anderson dan Seijo 2010; Conrad dan Smith, 2012) di dalam perairan itu sendiri (zona konservasi dan non-konservasi, tipe habitat, dan lain-lain). Menurut penelusuran literatur, analisis bioekonomi spasial di Indonesia baru digunakan untuk menghitung alokasi trip dan rente ekonomi pada kelompok perikanan krustasea seperti perikanan lobster di perairan selatan Gunungkidul (Damora *et al.* 2019) dan perikanan rajungan di perairan timur Lampung (Ekawati *et al.* 2019), sementara pendekatan ini belum banyak digunakan pada perikanan karang (kerapu) dan demersal.

Penggunaan analisis pemodelan spasial pada perikanan kerapu di Teluk Saleh menggunakan formulasi dasar yang dikembangkan Seijo *et al.* (1998) dalam rangka menentukan alokasi trip penangkapan dan nilai keuntungan ekonomi yang diperoleh secara spasial (daerah penangkapan ikan) dan temporal (musim penangkapan). Analisis bioekonomi untuk perikanan kerapu secara spasial di Teluk Saleh dengan skema konsep seperti dalam Gambar 11.



Gambar 15 Ilustrasi konsep bioekonomi spasial di Teluk Saleh

Gambar 15 dapat dilihat alokasi spasial dinamika perikanan dari kapal tipe  $m$  (misalnya terdiri dari kapal tipe  $m_1$  dan  $m_2$ ) dari pelabuhan perikanan  $h$  berangkat menuju fishing ground  $k$  (diilustrasikan  $k_1$  dan  $k_2$ ) untuk menangkap kerapu pada saat  $t$  atau  $f_{kkm}(t)$  dihitung dengan rumus (Seijo *et al.* 1998, Seijo 2007) :

$$f_{kkm}(t) = AE_{kkm}(t) \cdot \text{DAYS} \cdot V_{hm}(t) \quad (7)$$

di mana:

$$SAE_{kkm}(t) = \frac{P_k \cdot \text{quasi } \pi_{kkm}(t)}{\sum_k \left( \frac{D_{kh} \phi^m}{D_{kh} \phi^m} \right)} \quad (8)$$

- $SAE_{kkm}(t)$  : alokasi upaya penangkapan secara spasial (trip)  
 $\text{DAYS}$  : rata-rata hari melaut efektif perbulan (hari)  
 $V_{hm}(t)$  : jumlah kapal tipe  $m$  pada lokasi pendaratan  $h$  yang melakukan upaya penangkapan  
 $P_k$  : peluang menemukan spesies target pada tingkat keuntungan di daerah penangkapan  $k$   
 $\text{quasi } \pi_{kkm}(t)$  : quasi rent dari biaya variabel yang diterima oleh kapal perikanan tipe  $m$  dari lokasi pendaratan  $h$  dan daerah penangkapan  $k$ .  
 $D_{kh}$  : jarak daerah penangkapan dengan lokasi pendaratan  $h$  (km)  
 $\phi^m$  : Faktor pembobot / friksi dari jarak yang ditempuh kapal tipe  $m$ .

Nilai keuntungan kapal dalam jangka pendek (harian) diestimasi dari nilai rente quasi yang diterima rata-rata kapal tipe  $m$  dari pelabuhan  $h$  dengan persamaan:

$$(9) \quad \text{quasi} \quad \pi_{kkm}(t) = TR_{kkm}(t) - VC_{kkm}(t)$$

di mana:

$TR_{kkm}(t)$  : penerimaan total yang diterima oleh kapal  $m$  dari lokasi pendaratan  $h$ , dari hasil menangkap ikan di daerah penangkapan  $k$  pada saat  $t$  (Rp).

$VC_{kkm}(t)$  : biaya variabel yang dikeluarkan oleh kapal  $m$  dari lokasi pendaratan  $h$ , dari hasil menangkap ikan di daerah penangkapan  $k$  pada saat  $t$  (Rp).

Biaya variabel upaya penangkapan harian didefinisikan:

$$(10) \quad VC_{kkm}(t) = \varpi q_m B_k(t) + \theta D_{kh} + OVC_m$$

di mana:

$D_{kh}$  : transfer cost yang merupakan fungsi dari jarak

$\theta$  : biaya bahan bakar rata-rata per-km jarak yang ditempuh

$\varpi$  : nilai proporsi hasil tangkapan yang dibayarkan sebagai upah ke ABK

$q_k$  : koefisien daya tangkap (*catchability*) dari kapal  $m$

$B_k$  : volume hasil tangkapan yang ditangkap di daerah penangkapan  $h$  (kg)

$OVC$  : biaya variabel lainnya (umpan, pemeliharaan dan reparasi alat tangkap)

Total keuntungan ekonomi yang diterima oleh kapal  $m$  dari pelabuhan asal  $h$  pada musim penangkapan tertentu, dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\pi_{kkm}(t + DT) = \pi_{kkm}(t) + \int_t^{t+DT} (TR_{kkm}(t) - \pi TC_{kkm}(t)) dt \quad (11)$$

di mana:  $TR(t)$  adalah penerimaan kotor perikanan pada saat  $t$  (Rp) dan  $TC(t)$  adalah biaya penangkapan pada saat  $t$  (Rp)

Total penerimaan (TR) dan total biaya (TC) dihitung dengan formula:

$$(12) \quad TR_{kkm}(t) = (q_k B_k(t) P_{tar} + Y_{inc} \cdot P_{inc}) f_{kkm}(t)$$

$$(13) \quad TC_{kkm}(t) = FC_m V_{hm} + VC_{kkm}(t) f_{kkm}(t)$$

dimana:.

$P_{tar}$  : harga rata-rata ikan target (kerapu) (Rp/kg)

$P_{inc}$  : harga rata-rata ikan hasil tangkapan insidental (Rp/kg)

$Y_{inc}$  : Hasil tangkapan insidental rata-rata per trip (Kg)

$F_m$  : upaya penangkapan kapal  $m$  yang berangkat dari pelabuhan  $h$  dan menangkap ikan di daerah penangkapan  $k$  (trip)

$FC_m$  : *daily fixed cost*, termasuk pembayaran bunga untuk modal yang dipinjam, biaya administrasi untuk kapal  $m$  (Rp)

- $V_{hm}$  : jumlah kapal  $m$  di pelabuhan  $h$   
 $VC_{kh}$  : biaya variabel untuk kapal  $m$  yang berangkat dari pelabuhan  $h$  dan menangkap ikan di daerah penangkapan  $k$  (Rp)

#### Data Envelopment Analysis

Analisis efisiensi teknis penangkapan ikan digunakan menggunakan pendekatan DEA (data envelopment analysis) yang dikembangkan Charnes *et al.* (1978). Model yang digunakan dalam analisis efisiensi perikanan kerapu di Teluk Saleh menggunakan Model DEA berorientasi pada input (input-oriented) berdasarkan asumsi model *variable returns to scale* (VRS). Model ini dianggap tepat diaplikasikan pada aktivitas produksi perikanan yang bersifat *decreasing return to scale* (Fauzi dan Anna 2005). Coelli (2008) mengukur nilai DEA tipe VRS dengan menggunakan formula:

$$\begin{aligned}
 &TE = \min \theta \\
 &\text{Subject to:} \\
 &-y_i + Y\lambda \geq 0 \\
 &\theta x_i - X\lambda \geq 0 \\
 &\lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{14}$$

dimana,  $\theta$  adalah efisiensi teknis (ET) dari decision making units (DMU),  $y_i$ = output (*revenue*),  $x_i$ = input yang digunakan, terdiri dari biaya BBM, biaya perbekalan, dan biaya operasional (umpan, es, oli, perawatan dan reparasi),  $\lambda$ =variabel pembobotan output dan input sebagai benchmark DMU mencapai efisiensi. Jika nilai  $\theta=1$  berarti DMU efisien sedangkan nilai  $\theta<1$  menunjukkan tidak efisien. Metode analisis tersebut menggunakan teknik data envelopment analysis (DEA) yang dilakukan dengan bantuan *software* Frontier Analyst-Banxia.

Dalam rangka menentukan tingkat ketidakefisienan antara kapal mengikuti fungsi berikut:

$$U_i = \delta_0 + \delta Z_i + w_i \tag{15}$$

$U_i$  adalah inefisiensi ( $\theta = \exp(-U)$ ),  $\delta$ =parameter,  $i$ =kapal ke 1,2...37,  $Z_i$ =variabel yang mempengaruhi inefisiensi, dan  $w_i$ = error term. Variabel bebas terdiri dari umur nelayan (AGE), pengalaman (EXP), tanggungan keluarga (HOUSEHOLD SIZE), jumlah trip (TRIP), jumlah fishing ground per trip (SPOT), jarak ke fishing ground (DISTANCE), jumlah mata pancing (TOTAL HOOK), dan nomor mata pancing (NO HOOK).

## 5.4 Hasil dan Pembahasan

### 5.4.1 Karakteristik Penangkapan Kerapu

Berdasarkan penelusuran literatur, tidak ada data spesifik yang menyebutkan jumlah armada beserta alat tangkap yang digunakan nelayan guna menangkap kerapu di Teluk Saleh. Data yang disajikan di DKP Kabupaten hanya menyebutkan jumlah kapal dan alat tangkap di seluruh kabupaten dan tidak merinci tipe alat tangkap yang khusus digunakan untuk

mencari kerapu. Namun studi yang dilakukan WCS pada tahun 2017 setidaknya memberikan gambaran total armada penangkap kelompok ikan tersebut secara rinci menurut kecamatan disepanjang pesisir Teluk Saleh. Armada yang teridentifikasi menggunakan alat tangkap yang digunakan untuk menangkap ikan kerapu di Teluk Saleh adalah sebanyak 3.192 unit, meliputi panah, rawai dasar, pancing ulur, bagan perahu, jaring insang, dan bubu. Kapal tersebut tersebar di 12 kecamatan, yaitu Kecamatan Lape 155 kapal, Moyo Hilir 235 kapal, Moyo Utara 96 kapal, Maronge 216 kapal, Plampang 192 kapal, Tarano 254 kapal, Kempo 891 kapal, Manggalewa 74 kapal, dan Pekat 123 kapal (Agustina *et al.* 2017).

Pada tahun 2019, komposisi jumlah pancing ulur yang digunakan nelayan yang menangkap ikan kerapu di Teluk Saleh sebesar 39,00 persen dari seluruh alat tangkap yang menangkap kerapu, rawai dasar 23,00 persen, pancing tonda 4,00 persen, bagan 6,00 persen, jaring insang 1,00 persen, dan panah 27,00 persen (Agustina *et al.* 2019c). Komposisi alat tersebut mengalami perubahan dibandingkan dengan tahun 2017, yaitu pancing ulur 18,00 persen, rawai dasar 26,00 persen, bagan 7,00 persen, jaring insang dan bubu masing-masing 1,00 persen, dan panah 47,00 persen (Agustina *et al.* 2017). Dengan demikian ada perubahan komposisi nelayan panah yang hampir berkurang setengahnya, yaitu dari 47,00 persen menjadi 27,00 persen. Alat tangkap panah di Teluk Saleh dominan dioperasikan dengan alat bantu penangkapan kompresor (Gambar 16). Secara rinci, jumlah nelayan mengoperasikan pancing sebanyak 2003 orang yang 1973 nelayan diantaranya berdomisili di 9 kecamatan sekitar Teluk Saleh, sedangkan sisanya berasal dari kecamatan sekitarnya.



Gambar 16 Tipe armada penangkapan dan alat tangkap panah

Sebagian besar alat tangkap yang digunakan nelayan di sekitar Teluk Saleh tersebut dalam keadaan tidak berijin. Hal ini memang disebabkan karakteristik aktivitas perikanan tangkap di kawasan Teluk Saleh didominasi oleh perikanan skala kecil dengan ukuran kapal kurang dari 10 GT sehingga mereka cukup melaporkan ke dinas terkait dengan spesifikasi armada penangkapan yang digunakan. Namun beberapa kapal di atas 7 GT telah mengantongi izin pas kecil dari Dinas Perhubungan. Namun bagi kapal bagan yang ukurannya hingga 30 GT diwajibkan mendapatkan izin dari DKP Provinsi. Karakteristik aktivitas perikanan tangkap di kawasan Teluk Saleh didominasi oleh perikanan skala kecil. Secara umum armada penangkapan

kerapu menggunakan teknologi penangkapan yang sederhana dan biasa dilakukan oleh 1 orang per kapal (tidak mempunyai anak buah kapal). Kapal perikanan penangkap kerapu yang beroperasi di perairan tersebut berukuran kurang dari 2 GT dengan rerata panjang kapal antara 6,3-8,5 meter dan berbahan kayu yang dioperasikan oleh mesin dalam dan ketinting (Tabel 14).



Gambar 17 Tipe armada penangkapan dan alat tangkap pancing

Alat tangkap yang digunakan untuk perikanan tersebut berupa pancing yang dalam hal ini diklasifikasikan dalam dua jenis (Gambar 17), yaitu pancing ulur (*dropline/handline*) dan rawai dasar (*bottom longline*). Akan tetapi dalam praktiknya, beberapa nelayan memiliki lebih dari satu jenis alat tangkap, misalnya alat tangkap utama berupa pancing ulur sekaligus mempunyai alat tangkap rawai yang biasa digunakan pada musim-musim tertentu. Alat tangkap rawai ini yang dianggap cukup efektif untuk menangkap ikan kerapu sehingga alat tangkap ini banyak dioperasikan oleh nelayan (Wudianto *et al.* 1995). Pada umumnya nelayan pancing rawai mengoperasikan jumlah mata pancing lebih banyak dibanding nelayan pancing ulur dengan kedalaman yang disesuaikan dengan dasar perairan (berbatu atau berlumpur) dan target tangkapan.

Tabel 14 Data spesifikasi armada penangkapan kerapu di Teluk Saleh

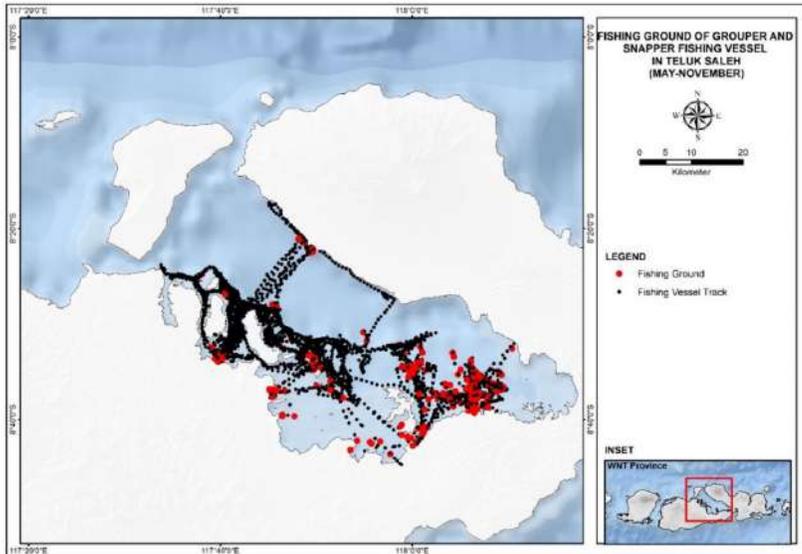
Spesifikasi	Satuan	Desa sampel			
		Lab Jambu	Lab Sangoro	Lab Kuris	Soro
Panjang kapal	m	7,00	8,50	6,30	6,90
Ukuran kapal	GT	1,80	1,70	1,30	1,20
Daya mesin	PK	19,40	20,80	9,40	8,80
<b>Rawai Dasar</b>					
• Nomor mata pancing		8	7		8
• Jumlah mata pancing	Unit	257	252		360
• Kedalaman operasi	m	67	75		31
• Jumlah setting per <i>trip</i>	<i>spot</i>	2	2		1
• Lama operasi per <i>trip</i>	jam	12	12		12
• Lama trip per bulan	hari	23	23		23
<b>Pancing Ulur</b>					
• Nomor mata pancing		10		13	
• Jumlah mata pancing	Unit	50		2	
• Kedalaman operasi	m	48		43	
• Jumlah setting per <i>trip</i>	<i>spot</i>	3		3	
• Lama operasi per <i>trip</i>	jam	10		16	

Dengan menggunakan nilai indeks musim penangkapan (IMP), diduga musim penangkapan ikan kerapu berlangsung antara bulan April-Nopember dengan puncak musim terjadi pada bulan April. Musim paceklik terjadi saat musim barat tiba yaitu berkisar diantara bulan Desember hingga Maret kemungkinan diduga karena berdasarkan BMKG musim kemarau tahun 2019 lebih panjang dari kondisi normal klimatologis ([www.kompas.com](http://www.kompas.com)) yang berlangsung hingga Desember 2019. Hasil ini sedikit berbeda dengan pola musim penangkapan dari penelitian terdahulu oleh Agustina *et al.* (2017) yang melaporkan bahwa pada bulan November-April berlangsung musim paceklik. Informasi pola musim penangkapan ikan kerapu di Teluk Saleh tersebut diperlukan untuk mengetahui waktu atau musim yang paling tepat untuk menangkap ikan kerapu sekaligus mengurangi resiko bahaya akibat cuaca yang tidak menguntungkan.

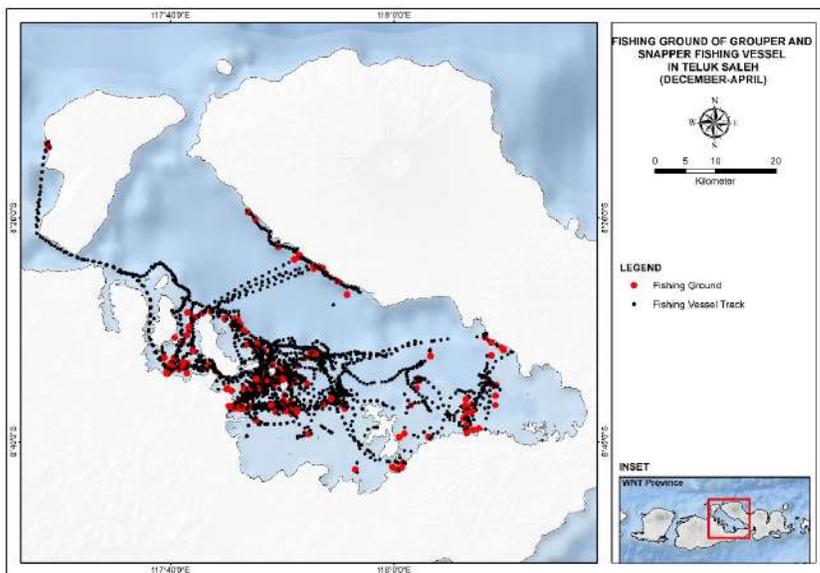
Daerah penangkapan ikan nelayan pancing di Teluk Saleh berada di perairan sekitar Pulau Ngali, Pulau Liang, Gili Tapan, Pulau Rakit, Pulau Moyo dan Tambora. Natsir *et al.* (2019) melaporkan bahwa pada umumnya perikanan pancing di teluk tersebut mempunyai daerah penangkapan yang berbeda dengan alat tangkap panah. Dalam aspek operasionalnya, alat tangkap pancing cenderung lebih aktif dan memiliki jangkauan daerah penangkapan yang lebih tersebar di sekitar pesisir Teluk Saleh, meliputi pesisir Pulau Liang, Pulau Ngali, Pulau Rakit, Pulau Moyo, Pulau Satonda, dan Pulau Medang, sedangkan pola penangkapan dengan alat tangkap panah terpusat di tengah teluk, seperti Pulau Rakit, Pulau Liang, Pulau Ngali, dan Pulau Moyo (Agustina *et al.* 2017).

Berdasarkan pemantauan pergerakan kapal yang dipasang *SPOT Trace* yang dilakukan oleh WCS, nelayan dengan alat tangkap pancing menangkap ikan di sekitar Pulau Liang, Pulau Ngali, dan Pulau Rakit. Pada musim timur, selama tiga tahun terakhir menunjukkan bahwa nelayan pancing banyak menangkap di daerah penangkapan ikan (DPI)-7 yang posisinya sebelah timur Pulau Rakit arah timur laut Desa Labuhan Jambu (Gambar 18). Sementara itu, pada musim barat, daerah penangkapan utama alat tangkap ini berada di perairan Pulau Liang dan Pulau Ngali dekat Labuhan Sangoro karena banyak terdapat pulau kecil untuk berlindung (Gambar 19).

Bagi nelayan rawai dasar, keputusan tidak melaut pada musim barat juga banyak dipengaruhi ketersediaan umpan yang diperoleh dari alat tangkap bagan. Namun demikian, terdapat sekitar 40 persen nelayan responden yang masih tetap pergi melaut dengan menggunakan umpan yang diperoleh dari hasil pancingan mereka sendiri. Meskipun hasil yang didapatkan pada musim barat tidak sebesar yang diperoleh pada musim timur, masih adanya nelayan yang tetap melakukan aktivitas penangkapan kerapu diduga karena komoditas ikan tersebut memiliki harga yang lebih stabil dibanding ikan lokal. Harga ikan kerapu itu sendiri berbeda menurut jenis spesies dan ukurannya, seperti ikan *P. leopardus* harga ikan ukuran super (0,5 – 1 kg per ekor) bisa mencapai Rp270 ribu per kg. Sementara harga ikan kerapu jenis lainnya rerata sebesar Rp46 ribu per kg.



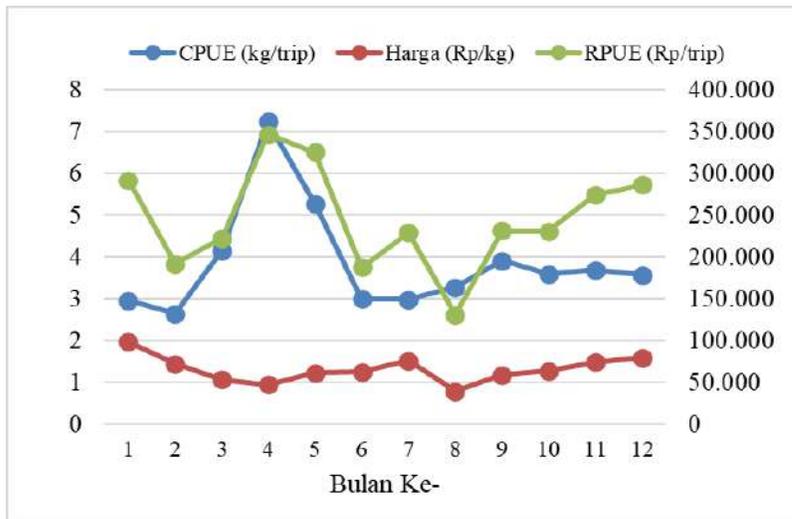
Gambar 18 Pergerakan kapal pancing penangkap kerapu dan daerah penangkapan ikan pada musim timur (Mei-November) berdasarkan GPS tracker (WCS, 2019)



Gambar 19 Pergerakan kapal pancing penangkap kerapu dan daerah penangkapan ikan pada musim barat (Desember-April) berdasarkan GPS tracker (WCS, 2019)

#### 5.4.2 Penerimaan Bioekonomi per Upaya Penangkapan (RPUE)

Baik nilai hasil tangkapan per upaya (CPUE) maupun penerimaan nelayan per upaya (RPUE) kegiatan penangkapan kerapu di Teluk Saleh berfluktuasi setiap bulan yang mencerminkan dinamika musim penangkapan (Gambar 20). Secara umum, rata-rata hasil tangkapan per unit upaya (CPUE) perikanan kerapu di Teluk Saleh pada tahun 2019 sebesar 4,20 kg per trip. Gambar 20 memperlihatkan bahwa musim ikan kerapu paling menonjol dengan musim puncak terjadi sebanyak dua kali dalam setahun, yaitu pada bulan April dan September. Kelimpahan ikan kerapu mencapai puncaknya terjadi pada bulan April yaitu rata-rata 7,20 kg per trip. Pada bulan tersebut biasanya menandai awal berlangsungnya musim kemarau dan beberapa ikan kerapu mulai memijah. Seiring dengan banyaknya kelimpahan ikan (CPUE) pada bulan tersebut maka nilai penerimaan nelayan dari upaya penangkapan (RPUE) juga paling tinggi dicapai, yaitu sebesar Rp347.028 per trip. Nilai RPUE kemudian berangsur turun sampai bulan Agustus dan beranjak naik kembali pada akhir musim barat (September) karena pengaruh harga dan pasokan. Harga ikan kerapu pada umumnya mencapai puncaknya menjelang tahun baru imlek (*Chinese New Year*) sekitar bulan Januari. Namun secara umum, nilai RPUE ikan kerapu di Teluk Saleh pada tahun 2019 rata-rata sebesar Rp254.530 per trip atau penerimaan nelayan sebesar Rp6.108.720 per bulan (dengan asumsi 24 hari efektif melaut dalam sebulan) setara dengan 3 kali lipat dari Upah Minimum Kabupaten (UMK) Sumbawa pada tahun 2019. Fluktuasi nilai RPUE yang diperoleh nelayan kerapu di Teluk Saleh juga dipengaruhi harga ikan tersebut yang biasanya ditentukan oleh pedagang pengepul dan mengalami kenaikan pada saat tahun baru imlek.

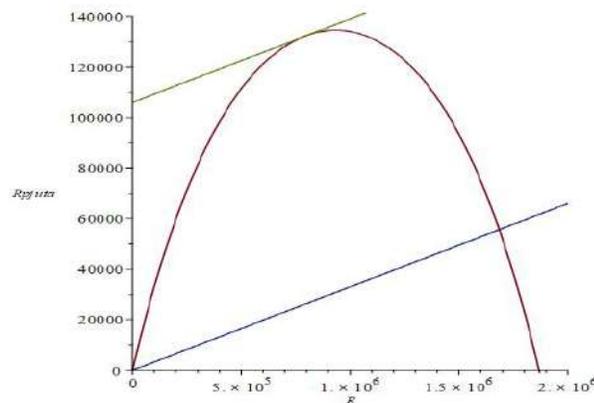


Gambar 20 CPUE dan RPUE ikan kerapu di Teluk Saleh tahun 2019

### 5.4.3 Optimasi Bioekonomi Statis

Sebagaimana dibahas pada bab sebelumnya bahwa kondisi produksi lestari (MSY) perikanan kerapu di Teluk Saleh tercapai pada saat  $E_{MSY}$  sebesar 959.659 hari operasi per tahun dan hasil tangkapan pada kondisi MSY sebesar 4.123 ton per tahun. Berdasarkan nilai tersebut diperoleh rente ekonomi (selisih TR dengan TC) sebesar Rp107,61 milyar per tahun. Apabila upaya tersebut terus ditingkatkan hingga melampaui titik  $E_{MSY}$ , maka total penerimaan justru akan mengalami penurunan sementara total biaya penangkapan semakin meningkat.

Secara teori ekonomi, pemanfaatan sumberdaya pada kondisi *maximum economic yield* (MEY) akan memberikan keuntungan maksimum. Berdasarkan analisis data yang dilakukan diketahui besarnya keuntungan (rente ekonomi) pada kondisi tersebut mencapai Rp109,68 milyar per tahun. Keuntungan tersebut tercapai pada tingkat effort ( $E_{MEY}$ ) sebesar 850.504 hari operasi per tahun dengan hasil produksi ( $h_{MEY}$ ) sebesar 4.068 ton per tahun. Pada titik keseimbangan MSY ini, jumlah biomas ikan mencapai titik lebih tinggi dibandingkan pada kondisi MSY (Gambar 21).



Gambar 21 Hubungan *effort* dengan total penerimaan dan total biaya

Pada kasus perikanan *open access* (OA), produksi perikanan kerapu pada tingkat kesetimbangan dicapai pada saat effort ( $E_{OA}$ ) sebesar 1.730.055 hari operasi per tahun. Jumlah trip tersebut hampir dua kali lebih banyak dari kondisi MEY. Hasil tangkap yang dicapai ( $h_{OA}$ ) paling rendah dibanding rezim pengusahaan lainnya, yaitu sebesar 1.461 ton per tahun dengan rente ekonomi yang diperoleh sebesar nol. Hal ini berarti dalam kondisi akses terbuka, pada jangka panjang rata-rata perolehan nelayan kerapu di Teluk Saleh setara dengan biaya yang dikeluarkan. Dari sudut pandang teori ekonomi, keseimbangan *open access* menimbulkan terjadinya alokasi sumberdaya yang tidak tepat (tenaga kerja dan modal) karena kelebihan sumberdaya tersebut bisa dialokasikan untuk kegiatan ekonomi lainnya yang lebih produktif.

Untuk melihat tingkat penggunaan input (upaya penangkapan) dan hasil tangkapan yang optimal pada berbagai kondisi pengusahaan yaitu MSY,

MEY, dan *open access* dapat dilihat pada Tabel 15. Tabel tersebut juga menunjukkan upaya penangkapan, hasil tangkapan dan rente ekonomi dari upaya penangkapan kerapu pada berbagai kondisi pengusahaan. Dengan membandingkan kondisi aktual rata-rata upaya penangkapan dan hasil tangkapan selama dua terakhir yang masing-masing sebesar 983.830 hari dan 4.823 ton per tahun, maka kondisi pengusahaan perikanan kerapu menunjukkan gejala *overfishing* baik secara biologi maupun secara ekonomi.

Tabel 15 Optimalisasi bioekonomi dalam berbagai kondisi pengusahaan perikanan kerapu di Teluk Saleh

Indikator bioekonomi	Kondisi pengusahaan		
	Optimal MSY	Optimal MEY	<i>Open Access</i>
Upaya penangkapan (hari melaut per tahun)	959.659*	850.504	1.730.055
Biomasa ikan (ton per tahun)	6.264	6.974	1.231
Hasil tangkapan (ton per tahun)	4.123	4.068	1.461
Rente ekonomi (Rp milyar per tahun)	107,61	109,68	0

\* Hari melaut dalam setahun=jumlah kapal × trip perbulan × jumlah bulan dalam setahun

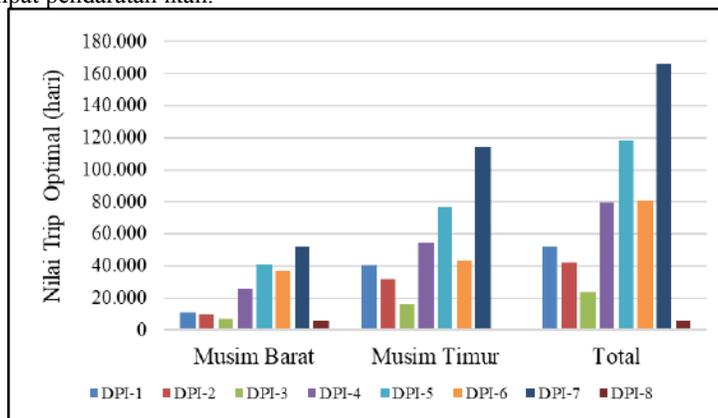
Meskipun status penerimaan usaha penangkapan semakin berkurang, namun jika usaha tersebut masih mempunyai rente ekonomi positif (total penerimaan masih melebihi total biaya penangkapan) akan tetap menarik pelaku perikanan untuk masuk ke dalam jenis penangkapan tersebut yang justru akan semakin meningkatkan upaya penangkapan (*effort*). Tingkat upaya penangkapan yang semakin meningkat akan menambah biaya operasi penangkapan sehingga pada gilirannya rente ekonomi yang diperoleh akan jauh berkurang (nelayan akan merugi).

#### 5.4.4 Bioekonomi Spasial

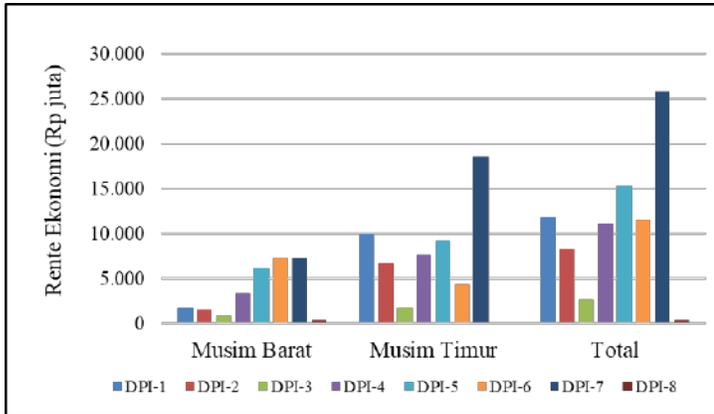
Berdasarkan karakteristik ekologi dan ekonomi serta hasil telaah perikanan kerapu sebelumnya menunjukkan bahwa perikanan jenis ini telah mengalami tingkat eksploitasi tinggi. Perikanan pancing di Teluk Saleh telah berkembang secara intensif baik dari segi jumlah maupun dari teknik penangkapan yang terdistribusi menurut daerah dan musim penangkapan. Akan tetapi sesuatu hal yang tidak dapat diabaikan adalah perilaku ekonomi yang rasional yang melekat pada para pelaku di dalam usaha penangkapan tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan disain pengelolaan perikanan kerapu berbasis bioekonomi spasial untuk mengendalikan intensitas penangkapan tersebut. Model bioekonomi spasial ini mampu melihat alokasi spasial interaksi dinamik upaya penangkapan dan total keuntungan ekonomi optimal (Seijo *et al.* 1998; Hernández-Flores *et al.* 2018). Secara sederhana, keuntungan ekonomi optimal ditentukan oleh biomassa yang ditangkap, harga dan biaya operasional dengan asumsi besarnya jumlah peluang ketertangkapan, harga dan biaya operasional penangkapan ikan pada setiap lokasi penangkapan sama untuk kasus perikanan di kawasan teluk (Seijo *et al.*

1998), serta biaya perjalanan (BBM) untuk mencapai *fishing ground* yang berbeda.

Jumlah alokasi trip optimal tersebut dapat digunakan sebagai acuan trip yang diperbolehkan pada aktivitas perikanan kerapu dengan menggunakan pancing di Teluk Saleh. Penetapan alokasi trip optimal disesuaikan dengan stratifikasi daerah penangkapan dan musim penangkapan (Ekawati *et al.* 2019). Jumlah alokasi trip optimal untuk melaut yaitu 568.226 hari, terdiri atas alokasi pada musim timur sebesar 378.029 hari sedangkan pada musim barat hanya setengahnya atau sebanyak 190.297 hari (Gambar 22). Secara spasial jumlah alokasi optimal tertinggi di DPI-7 (165.883 hari), yang terdiri dari trip pada musim timur dan musim barat, yaitu masing-masing 114.159 hari dan 51.724 hari. DPI tersebut menjadi daerah penangkapan favorit nelayan yang berasal dari Desa Labuhan Jambu karena posisinya relatif lebih dekat dibanding DPI lainnya. Kemudian disusul DPI-5 yang posisinya bersebelahan DPI-7 dengan memiliki alokasi trip total sebesar 118.097 hari (114.159 hari pada musim timur dan 41162 pada musim barat). Sementara itu, alokasi trip terendah diperuntukan di DPI-8 sebesar 6.108 trip. Jumlah trip yang rendah disebabkan nelayan dari Desa Soro lebih memilih menangkap ikan di lokasi perairan yang tidak jauh dan tidak terlalu lama ditempuh dari tempat pendaratan ikan.



Gambar 22 Alokasi trip optimal penangkapan kerapu menurut musim dan DPI

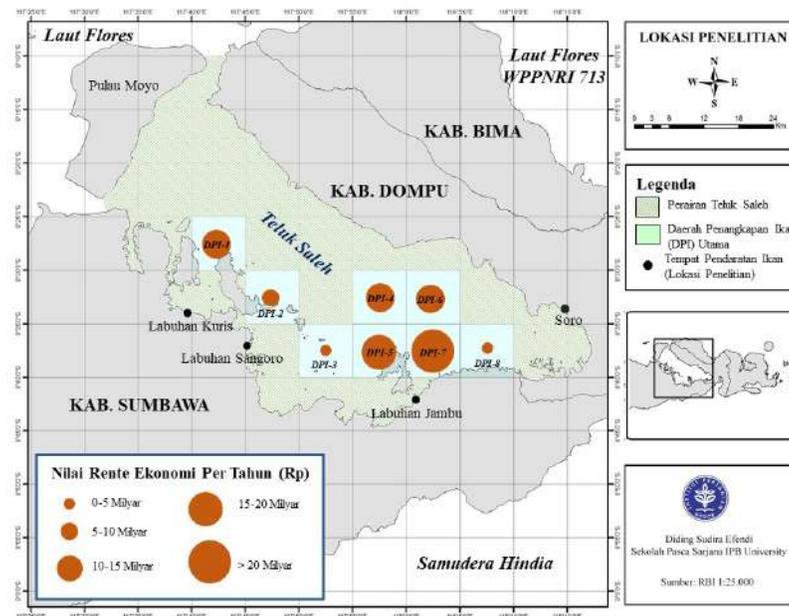


Gambar 23 Nilai rente ekonomi perikanan kerapu menurut musim dan DPI

Pengaturan alokasi penangkapan secara spasial penting dilakukan dalam rangka mengantisipasi respon dari estimasi optimal keuntungan yang diperoleh nelayan kerapu di Teluk Saleh. Pada dasarnya nelayan akan memilih lokasi yang lebih menguntungkan (Sanchirico dan Wilen 2001; Kroetz dan Sanchirico, 2015). Berdasarkan analisis data yang dilakukan diketahui besarnya keuntungan (rente ekonomi) secara agregat dari alat tangkap pancing mencapai Rp87,2 milyar per tahun, yaitu Rp58,4 milyar pada musim timur dan Rp28,8 milyar pada musim barat (Gambar 23). Sementara itu, berdasarkan tipe alat tangkap, keuntungan yang diperoleh perikanan pancing ulur secara keseluruhan di semua *fishing ground* sebesar Rp45,1 milyar per tahun lebih tinggi dibanding pancing rawai sebesar Rp42,1 milyar per tahun. Hal ini dapat dipahami bahwa target utama perikanan pancing ulur adalah ikan kerapu sunu yang memiliki nilai jual tinggi, sementara biaya yang dikeluarkan relatif sedikit dibanding pancing rawai.

Distribusi keuntungan spasial perikanan kerapu di Teluk Saleh disajikan Gambar 24 Kondisi keuntungan ekonomi tertinggi tercapai pada DPI-7 (Rp25,8 milyar per tahun) dan terendah di DPI-8 (Rp457 juta per tahun). DPI-7 memiliki tingkat keuntungan tertinggi sebagai respon dari banyaknya trip penangkapan yang dialokasikan. Selain itu di lokasi tersebut juga banyak ditemukan gugusan terumbu karang dangkal (takat) dan hutan mangrove serta lokasinya berdekatan dengan kawasan konservasi Pulau Rakit sehingga diduga memberikan dampak positif berupa limpahan ikan (*spill-over effect*). Akan tetapi dalam rezim akses terbuka kondisi demikian perlu diwaspadai dengan kehati-hatian. Mengingat bagi nelayan skala kecil, setiap kapal bebas menangkap ikan di mana saja. Daerah penangkapan yang lebih menguntungkan tentunya memiliki daya tarik untuk nelayan lain memasuki perairan tersebut. Hasil interview dengan nelayan menunjukkan bahwa mereka cenderung melakukan imitasi (meniru perilaku) nelayan dan berpikir pragmatis guna memperoleh hasil tangkapannya tertinggi dalam waktu singkat. Nelayan yang memiliki preferensi waktu (*time preferences*) jangka pendek atau yang berpikiran jangka pendek (*shortsighted*) akan menangkap lebih banyak ikan tanpa mempertimbangkan keberlanjutan kondisi stok sumberdaya tersebut dimasa mendatang (Akpalu 2008). Nelayan kerapu skala

kecil di Teluk Saleh lebih suka memaksimalkan keuntungan dalam jangka pendek daripada manfaat jangka panjang yang dipengaruhi faktor harga komoditas ikan kerapu yang tinggi sementara biaya produksi yang dikeluarkan rendah. Padahal dengan stok ikan yang semakin berkurang, peningkatan *effort* akan menambah biaya operasi penangkapan sehingga pada gilirannya rente ekonomi yang diperoleh nelayan akan jauh berkurang (*decreasing return to scale*).



Gambar 24 Nilai rente ekonomi tahunan perikanan kerapu di Teluk Saleh

Pengelolaan dengan model ini diharapkan dapat melengkapi langkah pengendalian penangkapan saat ini sebagaimana ditetapkan Pergub NTB No 32 tahun 2018 yang mengatur pembatasan penangkapan kerapu di perairan Teluk Saleh (resolusi rendah) terutama terkait dengan implementasi opsi penutupan musim penangkapan. Studi yang dilakukan Bode *et al.* (2016) untuk perikanan kerapu sunu secara komersial di Australia menunjukkan bahwa kebijakan pengelolaan yang berdasarkan variasi ekologis dan ekonomi (resolusi tinggi) akan meningkatkan performa kinerja pengelolaan itu sendiri. Namun demikian, agar langkah tersebut berjalan efektif, diperlukan peran pemerintah dalam menyiapkan kelembagaan seperti menetapkan alokasi dan perangkat pengawasannya (Hafsaridewi *et al.* 2019) dalam rangka mendorong peningkatan kepatuhan nelayan. Semua regulasi tersebut tidak akan cukup efektif mereduksi kelebihan kapasitas (trip) penangkapan jika stakeholder khususnya nelayan tidak berpartisipasi aktif dalam pengambilan keputusan dan mematuhi regulasi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penguatan kelembagaan lokal seperti kelompok usaha bersama, selain berupa kegiatan ekonomi yang bermanfaat bagi nelayan (Sasarari *et al.* 2019), lembaga

tersebut berperan dalam meningkatkan kesadaran publik dalam konteks penerapan strategi kebijakan pengelolaan.

#### 5.4.5 Efisiensi Teknis Penangkapan Ikan

Dengan menggunakan model berorientasi input, maka model tersebut akan menghitung pengurangan input yang diperlukan untuk menghasilkan kinerja yang efisien dengan output yang tetap. Variable input yang digunakan dalam analisis DEA terdiri dari 3 input yang dikeluarkan nelayan per trip penangkapan yaitu biaya bahan bakar minyak (BBM), biaya perbekalan (makanan dan minuman), dan biaya operasional (es, umpan, oli pemeliharaan dan reparasi dan pengecatan kapal). Output yang digunakan berupa penerimaan nelayan (revenue) dalam setiap trip penangkapan (Tabel 14). Penggunaan data input dan output berupa nilai (Rp) selain data kuantitatif memungkinkan dilakukan dalam analisis DEA sebagaimana dibuktikan Portela (2014) dan dan Pinello *et al.* (2016).

Tabel 16 Variabel input dan output yang digunakan pada *Data Envelopment Analysis*

Variabel	Rawai dasar		Pancing ulur	
	Rerata (Rp)	Standard Deviation (Rp)	Rerata (Rp)	Standard Deviation (Rp)
<b>Output</b>				
Penerimaan	342.966	74.949	437.774	127.653
<b>Input</b>				
Total biaya	133.530	18.528	82.078	14.215
Biaya BBM	32.417	5.715	28.688	9.300
Perbekalan	36.750	12.372	32.088	9.788
Biaya operasi lainnya	64.363	14.535	21.303	3.976

Hasil analisis DEA memperlihatkan perikanan kerapu di Teluk Saleh secara keseluruhan memiliki tingkat efisiensi bervariasi dari 0,264 sampai 1 dengan rerata skor efisiensi ( $\theta$ ) sebesar 0,627 atau (62,7 persen). DEA dapat pula digunakan untuk menghitung perbaikan angka efisiensi yaitu dengan mengurangi input atau menambah output (Cooper *et. al.* 2004). Secara umum terlihat bahwa efisiensi perikanan kerapu di Teluk Saleh bisa ditingkatkan dengan cara mengurangi penggunaan input. Dari hasil analisis DEA tipe BCC diketahui juga faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya inefisiensi sehingga harus dikendalikan. Terdapat 6 variabel bebas yang secara signifikan mempengaruhi ketidakefisienan perikanan kerapu di Teluk Saleh pada taraf kepercayaan 95 persen dengan koefisien determinasi sebesar 57,0 persen (Tabel 17).

Tabel 17 Parameter estimasi nilai inefisiensi teknis

<i>Variable</i>	<i>Coefficient</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	1,208	3,382	0,002
EXP	-0,0116	-1,857	0,072
HOUSEHOLD_SIZE	-0,210	-4,369	0,001*

TRIP	0,017	1,715	0,095
GT	-0,307	-2,611	0,013**
NUM_OF_HOOK	0,002	4,067	0,001*
F value	8,831		
F critical value in the table	2,494		
R Square (R <sup>2</sup> )	0,570		

Keterangan \* - signifikan pada  $p < 0,01$ ; \*\* - signifikan pada  $p < 0,05$ .

Dari Tabel 17 dan Tabel 18 juga terlihat bahwa pengalaman melaut, jumlah tanggungan keluarga dan besaran tonase kapal berdampak pada peningkatan efisiensi. Hal ini dicirikan dengan parameter variable ini bernilai negative terhadap inefisiensi atau bisa dikatakan sebaliknya bahwa variable tersebut memberikan dampak positif pada pencapaian efisiensi penangkapan). Nelayan yang memiliki banyak pengalaman biasanya bisa diperoleh dari keterampilan yang dimiliki dan pengetahuan lokal hasil pengamatannya bertahun-tahun dalam mendeteksi *fishing ground* berdasarkan tanda-tanda alam (posisi gunung) sehingga menghasilkan tangkapan yang lebih baik dari nelayan lainnya. Hasil penelitian ini konsisten dengan hasil temuan Squires *et al.* (2003), Sesabo dan Tol (2007), dan Jeon *et al.* (2006). Nelayan dengan pengetahuan yang lebih banyak akan dengan mudah menemukan posisi *fishing ground*, pola cuaca, arus, pasang surut dan kondisi dasar perairan (Squires *et al.* 2003).

Tabel 18 Faktor-faktor yang menyebabkan efisiensi dan inefisiensi penangkapan kerapu di Teluk Saleh

No	Faktor penyebab efisiensi	Faktor penyebab inefisiensi
1.	Pengalaman melaut	Jumlah trip penangkapan
2.	Jumlah tanggungan keluarga	Banyaknya mata pancing
3.	Tonase kapal (GT)	

Demikian halnya dengan nelayan yang memiliki jumlah tanggungan keluarga ternyata lebih efisien. Variabel tersebut sangat signifikan ( $p < 0.01$ ) mempengaruhi nilai efisiensi. Kondisi tersebut dimungkinkan karena adanya tuntutan untuk memenuhi kebutuhan (pengeluaran) rumah tangga yang semakin tinggi seiring dengan semakin banyaknya tanggungan keluarga dan memiliki ketergantungan tinggi pada aktivitas penangkapan sebagai sumber utama penghasilan keluarga. Variabel gross tonnages (GT) juga berdampak signifikan terhadap efisiensi penangkapan ( $p < 0,05$ ). Sebaliknya, penelitian ini mengidentifikasi faktor-faktor penyebab inefisiensi penangkapan, yaitu jumlah trip dan jumlah mata pancing. Dengan kata lain, kedua variabel tersebut yang bertanda negatif menunjukkan keduanya akan mengurangi tingkat efisiensi (Jamnia *et al.* 2015). Nelayan yang memiliki hari melaut lebih lama cenderung tidak efisien karena akan mengeluarkan banyak ongkos penangkapan (biaya BBM, perbekalan, umpan, es, dan biaya operasional lainnya) dalam perjalanan mencari spot atau *fishing ground*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa faktor ketersediaan sumberdaya ikan yang terbatas juga menyebabkan jangkauan daerah penangkapan semakin jauh dan trip menjadi lebih lama.

Dari sisi alat penangkapan yang digunakan, nelayan yang mengoperasikan banyak mata pancing (mencapai 300-360 buah) ternyata tidak lebih efisien dibandingkan dengan nelayan mengoperasikan sedikit mata pancing (50-150 buah) pada  $p < 0,01$ . Hal ini karena dengan sumberdaya yang terindikasi mengalami tangkap lebih dan menghadapi masalah kapasitas lebih, penambahan jumlah mata pancing justru akan menyebabkan inefisiensi dan bahkan seringkali berpotensi mengakibatkan *ghost fishing* (pancing putus tersangkut di terumbu karang). Dengan demikian, diperlukan upaya tuntut menambah pengaturan batasan pengoperasian jumlah mata pancing yang digunakan, disamping aturan pembatasan ukuran mata pancing (*hook size*) sebagaimana tertuang dalam PERGUB saat ini.

## 5.5 Simpulan dan Saran

### 5.5.1 Simpulan

- a. Secara temporal, kelimpahan (CPUE) ikan kerapu berfluktuasi menurut musim penangkapan (bulan) dengan mencapai titik puncaknya pada bulan April sebesar 7,20 kg per trip yang setara dengan nilai RPUE sebesar Rp347.028 per trip.
- b. Perikanan kerapu di area tersebut sangat rentan terhadap penangkapan ikan berlebih (*overfishing*) baik secara biologi maupun ekonomi, hal ini ditunjukkan dengan nilai hasil tangkapan aktual (rerata 2 tahun terakhir) melebihi pada kondisi MSY dan MEY sedangkan bila menggunakan data aktual upaya penangkapan rerata selama 10 tahun terakhir menunjukan perikanan tersebut mengarah kondisi *overfishing*
- c. Keuntungan semu yang mungkin diperoleh nelayan pancing secara agregat yaitu sebesar Rp87,20 milyar per tahun yang setara 79,50 persen dari rente ekonomi dari semua alat tangkap pada kondisi MEY (Rp109,68 milyar per tahun).
- d. Secara spasial, nilai rente ekonomi tertinggi tercapai pada DPI-7 dengan jumlah alokasi trip optimal sebesar 165.883 trip per tahun, sedangkan secara temporal nilai rente ekonomi dan trip optimal terjadi pada musim timur.
- e. Perikanan kerapu di Teluk Saleh sebagian besar dalam keadaan tidak efisien yang disebabkan penggunaan jumlah hari melaut dan jumlah pancing yang terlalu banyak.

### 5.5.2 Saran

- a. Hasil studi menunjukkan bahwa rente ekonomi yang paling menguntungkan berada di DPI-7 yang berada di sekitar kawasan konservasi, sehingga dalam pelaksanaannya diperlukan pendekatan kehati-hatian.
- b. Studi ini juga menggarisbawahi pentingnya pengaturan teknis penangkapan seperti pengaturan trip penangkapan (jumlah hari melaut) sebagai kerangka pembatasan jumlah *effort* yang diizinkan (*total*

*allowable effort*) sebagai instrumen tambahan dalam memperbaiki kinerja pengelolaan perikanan di masa yang akan datang.

- c. Keberhasilan penerapan *total allowable effort* (TAE) ditentukan oleh akurasi jumlah kapal yang aktif melalui registrasi atau pencatatan dan perizinan kapal berukuran kecil di sekitar Teluk Saleh sesuai dengan ketentuan regulasi, monitoring dan evaluasi secara berkala, pengawasan dan penegakan hukum yang efektif terhadap pengaturan jumlah mata pancing yang digunakan, kondisi sosiokultural komunitas lokal dan tingkat kepatuhan terhadap aturan.
- d. Dalam praktik TAE diperlukan keterlibatan yang lebih besar dari masyarakat lokal dalam forum komite pengelolaan perikanan karang berkelanjutan Provinsi NTB dan mendorong pembentukan kelembagaan pengelolaan formal seperti dalam bentuk *co-management* termasuk pemberdayaan kelompok masyarakat pengawas dan peningkatan kapasitas dan kesadaran nelayan dalam konteks penerapan strategi kebijakan pengelolaan perikanan berkelanjutan.

## VI SKENARIO PERIKANAN KERAPU DI TELUK SALEH BERBASIS AGEN

### 6.1 Pendahuluan

Di dalam konteks kebijakan, pengaturan (*governance*) dan pengelolaan (*management*) pemanfaatan sumberdaya perikanan skala kecil (SSF) agar dapat berkelanjutan (*sustainable*) menjadi tantangan besar bagi para pembuat kebijakan. Hal ini karena perikanan jenis ini merupakan sebuah sistem yang kompleks. Paradigm *complex adaptive system* yang meyakini bahwa perilaku nelayan dipengaruhi oleh pembelajaran terhadap lingkungan sekitarnya dalam waktu yang lama termasuk dalam mematuhi regulasi atau melanggar aturan yang ada (Madsen *et al.* 2020). Dalam rangka meningkatkan efektivitas kebijakan perikanan membutuhkan pemahaman tentang bagaimana nelayan merespon strategi pengelolaan dalam sistem perikanan secara keseluruhan, yaitu karakteristik gabungan dan interaksi antara sumber daya, ilmu pengetahuan, pengambilan keputusan, dan perilaku kelompok pengguna (Rice *et al.* 2007). Namun, sebelum diimplementasikan, strategi pengelolaan perlu dievaluasi (*policy impact assessment*) terkait dengan *robustness* dalam menghadapi banyak ketidakpastian. Ini membutuhkan pemodelan dan simulasi. Sampai saat ini, model bioekonomi yang digunakan untuk menginformasikan pengambilan keputusan untuk masalah perikanan masih terbatas (Carrella *et al.* 2020). Beberapa model perikanan yang ada, kurang mempertimbangkan aspek heterogenitas perilaku manusia untuk memahami implikasinya terhadap kondisi perikanan (Wijermans *et al.* 2020). Oleh karena itu, pendekatan baru yang lebih holistik untuk pengelolaan sumber daya perikanan yang mencakup aspek sistem manusia dan biofisik sangat diperlukan.

Sebagai platform simulasi, sebuah *agent-based model* (ABM) didisain sedemikian rupa untuk dapat merepresentasikan karakteristik dan perilaku setiap nelayan sebagai agen mulai merencanakan aktivitas penggunaan alat tangkap (*planning*), melakukan penangkapan hingga pendaratan (*landings*). Pemodelan ABM juga digunakan untuk mengeksplorasi secara kualitatif perilaku agen otonom (nelayan) dalam merespon kebijakan perikanan berdasarkan simulasi (Bailey *et al.* 2018), seperti mengetahui dampak penerapan kuota terhadap perikanan *multi spesies* dan *multigear* (Little *et al.* 2009). Macal dan North (2010) mendefinisikan ABM sebagai model komputer yang mensimulasikan sekumpulan individu (*agent*) yang masing-masing memiliki atribut dan perilaku yang unik (*behaviour*) serta berhubungan antara individu lainnya dan lingkungan (*interaction*). Struktur elemen, lingkungan, dan interaksi tersebut pada gilirannya menghasilkan perilaku sistem dan dampak (*system behaviour* dan *outcomes*). Kompleksitas muncul ketika masing-masing agen di dalam sistem pada faktanya berjumlah banyak. Berbeda dengan pendekatan simulasi lain (misalnya *system dynamics simulation*), ABM dapat mempertimbangkan persepsi, nilai-nilai preferensi, dan pelaku bersifat otonom (*autonomous*), memiliki karakter yang spesifik dan unik (*heterogeneity*), serta saling berinteraksi dan beradaptasi secara dinamis. Oleh karena itu, memahami respon agen (nelayan) terhadap perubahan

peraturan sangat penting untuk mengevaluasi keberhasilan regulasi tersebut (Mavruk *et al.* 2020).

Berdasarkan perspektif ini, keberhasilan penerapan kebijakan pengelolaan perikanan yang diterapkan pemerintah daerah NTB perlu memperhatikan dinamika kondisi sosial ekologis nelayan sebagai target kebijakan tersebut. Perbedaan kemampuan beradaptasi dan berperilaku antara individu nelayan dapat mempengaruhi keberhasilan penerapan kebijakan pengelolaan di lapangan. Perilaku nelayan dalam memutuskan atau merevisi strategi guna merespon aturan menjadi fokus utama di dalam penelitian ini, seperti meniru (*imitation*) perilaku yang diamati dan *social learning* di Kawasan Konservasi Laut, keputusan memilih lokasi penangkapan ikan, bahkan termasuk tindakan pembangkangan terhadap aturan yang telah ditetapkan. Biasanya, nelayan cenderung mengadopsi perilaku orang lain yang lebih sukses, misalnya dengan pertimbangan ekonomi. Nelayan akan mengamati apakah kemampuan ekonomi nelayan lainnya meningkat atau menurun sebagai akibat penerapan suatu kebijakan. Model ABM berfungsi memberikan *insight* dan prediksi kepada pembuat keputusan mengenai dampak dari perubahan parameter atau perilaku agen dalam model. Bagi manajer perikanan, ABM dapat digunakan sebagai alat yang memprediksi bagaimana individu akan merespon perubahan peraturan atau pengaturan spesies ikan yang boleh ditangkap (Carrella *et al.* 2020).

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi untuk mengetahui perubahan perilaku sistem sebagai resultan kompleksitas opsi-opsi kebijakan untuk meningkatkan kelestarian sumberdaya ikan kerapu dan kesejahteraan nelayan di perairan Teluk Saleh. Dengan begitu, opsi-opsi kebijakan yang diterapkan pemerintah daerah tersebut diharapkan dapat memicu terjadinya perubahan perilaku sistem (*system changes*) yang didahului oleh perubahan struktur dan interaksi antar agen yang terdapat di dalam sistem perikanan tradisional di Teluk Saleh.

## 6.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji skenario atau opsi pengelolaan perikanan kerapu skala kecil di Teluk Saleh berbasis agen.

## 6.3 Metode

### 6.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak Januari 2019 hingga Juni 2020. Lokasi penelitian mencakup perairan Teluk Saleh, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

### 6.3.2 Pengumpulan Data

Untuk kebutuhan pemodelan berbasis agen dilakukan pengumpulan data primer dengan wawancara dengan nelayan sebanyak 50 responden yang meliputi data persepsi, data kecepatan kapal, Wildlife Conservation Society Tahun 2019 dan data hasil tangkapan dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sumbawa dan BPS Kabupaten Dompu serta laporan statistik dari

Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Provinsi, DKP Kabupaten Sumbawa dan DKP Kab Dompu.

### 6.3.3 Metode Analisis

Persepsi nelayan dilakukan menggunakan format kuisioner spesifik untuk mengukur sikap dan pendapat responden yang menunjukkan tingkat persetujuan (ordinal data) terhadap 11 pernyataan yang diajukan. Respon tingkat persetujuan responden tersebut menggunakan skala Likert yang terdiri dari 5 pilihan skala dari Sangat tidak setuju (1), tidak setuju (2), netral (3), setuju (4) dan Sangat Setuju (5). Selanjutnya analisis ini menggunakan teknik-teknik *statistika deskriptif* dengan Uji Korelasi Spearman (Cahyadinata *et al.* 2019). Uji statistik dilakukan untuk menduga tingkat signifikansi hubungan antara opini responden terhadap masing-masing dari 11 pernyataan yang secara signifikan berbeda pada alpha 0,05 ( $P < 0,05$ ) (Hayati *et al.* 2020).

Sementara implementasi model berbasis agen (*agent based model*) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak POSEIDON (Bailey *et al.* 2018) dengan fokus pada skenario *Flexible*. POSEIDON merupakan program ABM menggunakan MASON library (Luke *et al.* 2005) yang didisain untuk perikanan dengan fitur geografis (pantai dan perairan), biologi (biomasa ikan, reproduksi, dan pola migrasi), nelayan, harga ikan, lingkungan, serta kebijakan pengelolaan perikanan dan konservasi (*Marine Protected Area*). Model tersebut telah diterapkan pada perikanan pelagis di Selat Sunda (Yonvitner *et al.* 2020), perikanan *groundfish* di Pantai Barat Amerika (Carella *et al.* 2020), perikanan kakap merah laut dalam di WPP 712 Indonesia, dan yang lainnya. Sementara itu, penggunaan *software* ABM lainnya seperti Netlogo dalam model perikanan pernah dilakukan oleh Susiloningtyas *et al.* (2015) untuk mengkaji model pengelolaan aktivitas migrasi musiman nelayan andon dengan pengaturan alat tangkap serta kelimpahan dan hasil tangkapan serta studi Wijermans *et al.* (2020) yang mengkonstruksi model diversitas perilaku nelayan terhadap stok ikan, pendapatan dan tingkat kepuasan pada perikanan Laut Baltik Swedia.

Model berbasis agen seperti POSEIDON sangat cocok untuk perikanan multispecies yang kompleks dimana armada penangkapan ikan sangat heterogen seperti perikanan kerapu di Teluk Saleh. Model ini mensimulasikan interaksi antara komponen tersebut seperti terlihat pada Gambar 25. Model mensimulasikan perilaku dari masing-masing nelayan (Tabel 19) untuk memutuskan kegiatan penangkapan pada berbagai layer biomasa ikan. Kapal (nelayan) akan menentukan waktu dan lokasi penangkapan sebagai respons terhadap ketersediaan ikan, *fishing ground*, kebijakan pengelolaan perikanan, harga dan biaya (Bailey *et al.* 2018; Madson *et al.* 2020). Dengan menjalankan banyak simulasi, model ini dapat mengevaluasi dampak perikanan untuk berbagai strategi pengelolaan.

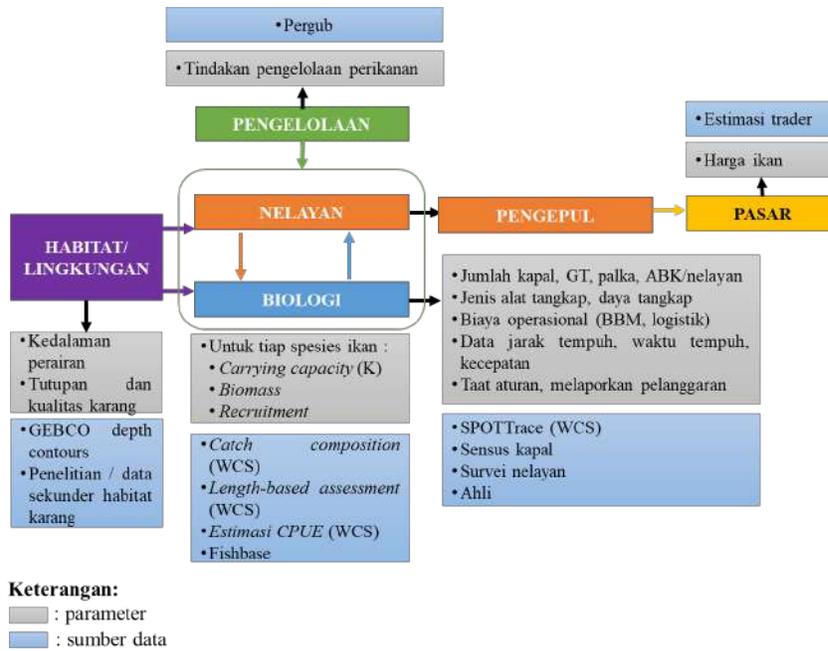
Tabel 19 Daftar agen, atribut dan perilaku di dalam model dasar perikanan kerapu di Teluk Saleh

Nama Agen	Atribut	Perilaku
Ikan dan lingkungannya	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomasa ikan (ton)</li> <li>• Daya dukung (<i>carrying capacity</i>)</li> <li>• Preferensi habitat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertumbuhan ikan</li> <li>• Pergerakan ikan</li> <li>• Menyediakan jasa lingkungan sebagai tempat siklus hidup ikan</li> </ul>
Nelayan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jumlah nelayan</li> <li>• Ukuran kapal</li> <li>• Struktur biaya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memutuskan lokasi dan waktu penangkapan</li> <li>• Memutuskan waktu istirahat (tidak melaut)</li> <li>• Memutuskan jenis alat tangkap yang digunakan</li> <li>• Memutuskan jumlah perbekalan (BBM)</li> </ul>

Pada penelitian ini menggunakan pemodelan dengan *software* POSEIDON 1,0 memperhatikan beberapa asumsi, yaitu:

- a. Sumberdaya ikan menyebar merata setiap perairan
- b. Jumlah armada setiap waktunya sama beroperasi di Teluk Saleh dan tidak keluar atau masuk dari daerah lain
- c. Perilaku kapal mengikuti algoritma adaptif "*explore-exploit-imitate*"
- d. Alat tangkap pancing ulur dan rawai dikategorikan sebagai pancing
- e. Ikan kerapu hasil tangkapan dijual rata-rata sekitar Rp46.000 per kg dengan harga solar sekitar Rp6.000 per liter.
- f. Pergerakan ikan kerapu mencapai 10.458 m<sup>2</sup> (Zeller 1997)

Dengan tidak adanya data habitat, distribusi spasial dari kelimpahan relatif ditentukan untuk ikan kerapu didekati berdasarkan kedalaman perairan, menggunakan pendekatan probabilistik sederhana. Informasi kedalaman tersedia secara nasional untuk Indonesia dari The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO: <https://www.gebco.net/>).



Gambar 25 Model POSEIDON dan kebutuhan data yang digunakan (dimodifikasi dari POSEIDON Team 2019)

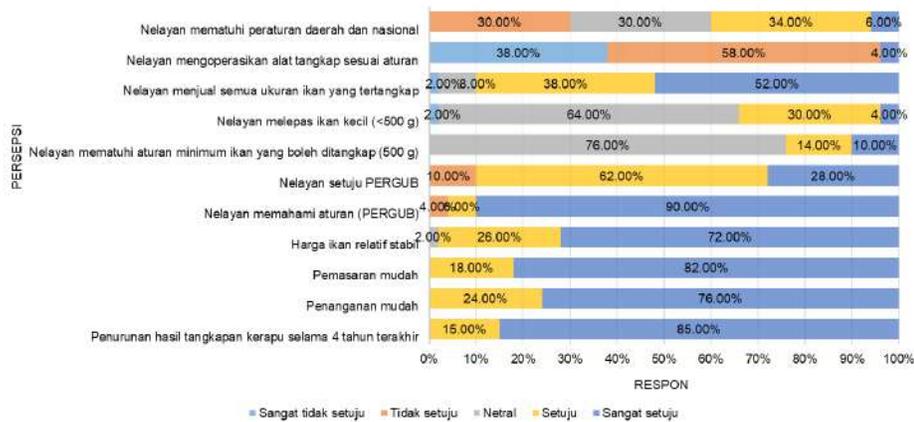
Tahap selanjutnya adalah melakukan proses penentuan skala prioritas atas berbagai kebijakan strategis yang akan diambil berdasarkan analisis *trade-off*. Teknik analisis ini membantu pengambil keputusan dalam pengelolaan konflik sumberdaya dan kebutuhan pemangku kepentingan (Brown *et al.* 2001) menggunakan *multi-criteria analysis* dengan memberikan penilaian berupa “*cost-benefit indicators*”.

## 6.4 Hasil dan Pembahasan

### 6.4.1 Persepsi nelayan

Analisis data dari survei yang dilakukan di empat lokasi menunjukkan munculnya berbagai persepsi atau pemahaman nelayan kerapu di lapangan. Gambar 26 menunjukkan adanya keberagaman persepsi masyarakat terhadap PERGUB pada tingkat kesalahan ( $\alpha = 0,01$ ;  $Z_{\frac{1}{2}\alpha} = Z_{0,005} = 2,58$ ). Secara umum, persepsi nelayan terhadap aturan tersebut diklasifikasikan dalam kategori cukup dengan skor rata-rata 2,934 dalam skala likert. Sebanyak 85,00 persen nelayan menyatakan sangat setuju dan 15,00 persen sisanya berpendapat setuju bahwa kelimpahan sumberdaya kerapu di Teluk Saleh menurun dalam empat tahun terakhir. Dari studi juga menunjukkan bahwa nilai CPUE mengalami penurunan hampir setengahnya selama 4 tahun terakhir, yaitu dari sebesar 3,35 individu per trip (Agustina *et al.* 2017) menjadi 3,50 kg per trip penangkapan pada tahun 2019. Demikian halnya

dengan status stok kelompok ikan yang diamati masih mengindikasikan terjadinya *fullyexploited* kecuali jenis *P. maculatus*. Hal ini ditunjukkan dengan Nilai SPR yaitu berada dibawah 20 persen (*limit reference point*) dan menggambarkan banyak ikan ditangkap sebelum mencapai usia dewasa. Ikan kerapu sunu halus (*Plectropomus leopardus*) di Teluk Saleh diduga telah mengalami *overexploited* dengan nilai SPR sebesar 0,17.



Gambar 26 Persepsi responden terhadap aktivitas perikanan dan PERGUB (n= 50)

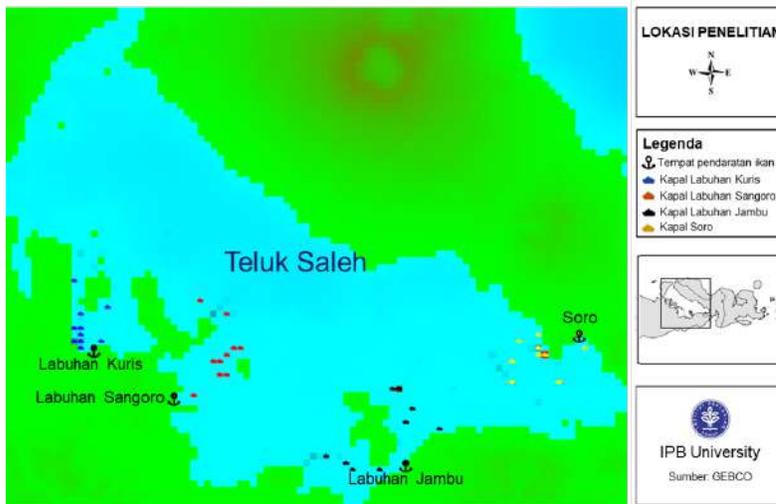
Penurunan stok kerapu dipengaruhi adanya peningkatan intensitas penangkapan dan banyaknya jumlah nelayan aktif menangkap ikan tersebut. Tingginya intensitas penangkapan disebabkan oleh permintaan ikan kerapu sebagai komoditas ekspor terus meningkat. Sebagian besar nelayan menyatakan bahwa tidak ada persoalan dalam aspek pemasaran dan harga ikan kerapu relatif stabil (khususnya kerapu sunu relatif tinggi dibanding ikan local lainnya sehingga secara ekonomi masih dianggap masih menguntungkan. Nelayan biasanya menjual hasil tangkapannya kepada pedagang pengepul yang ada di sekitar tempat tinggalnya. Pedagang pengumpul tersebut biasanya juga menentukan harga jual ikan.

Implementasi Pergub di Teluk Saleh belum begitu optimal karena banyak diantara para nelayan yang belum memahaminya dengan baik. Meskipun informasi pengaturan penangkapan tersebut juga dapat diketahui dari pedagang pengepul dan sosialisasi dari pemerintah daerah dan WCS. Persepsi masyarakat terhadap aturan pengelolaan yang masih beragam dari yang sangat setuju (28,00 persen), setuju (62,00 persen), dan tidak setuju (10,00 persen) dan netral (62,00 persen). Dari aspek biologi mereka setuju untuk kepentingan keberlanjutan sumberdaya ikan, namun dalam realitanya nelayan dihadapkan pada rasionalitas ekonomi yang memaksa mereka menangkap ikan semua ukuran guna menutupi biaya operasional sekali melaut seperti BBM dan perbekalan. Begitu pun ketika mereka mendapatkan ikan juvenil, sebagian besar (64,00 persen) responden menyatakan antara setuju dan tidak setuju (netral) untuk melepaskan ikan tersebut kembali ke habitatnya. Ikan kecil yang tertangkap dikonsumsi sendiri untuk kebutuhan lauk-pauk dan mereka beranggapan bahwa ikan kecil yang

dipancing akan mati karena mengalami dekomposisi. Dengan pertimbangan tersebut pula, terdapat 2,00 persen menyatakan ketidaksetujuannya untuk melepaskan Kembali ikan kecil yang tertangkap, sedangkan sebanyak 34,00 persen nelayan yang menyatakan kesetujuannya untuk melepaskan ikan kecil yang tertangkap jika ikan tersebut benar-benar dalam keadaan hidup dalam rangka menjaga kelestarian sumber daya. Ikan yang sesuai *size limit* (diatas 500 gram) sebagaimana ketentuan PERGUB semuanya dijual nelayan ke pengepul. Terhadap ukuran alat tangkap yang diperbolehkan seperti penggunaan nomor mata pancing lebih kecil dari 4), sebagian besar responden (96,00 persen) tidak menyetujuinya, yaitu tidak setuju (38,00 persen) sampai setuju (58,00 persen). Secara umum, nelayan di Teluk Saleh memiliki persepsi yang berbeda dalam mematuhi PERGUB dan peraturan terkait dari yang setuju (40 persen responden), netral (30 persen) dan tidak setuju (30 persen).

#### 6.4.2 Skenario kebijakan dengan menggunakan model berbasis agen

POSEIDON mensimulasikan fitur geografis seperti jarak, stok ikan, dan pelabuhan, perilaku agen dalam kegiatan penangkapan ikan. Gambar 27 mengilustrasikan skema model POSEIDON dengan jangkar melambangkan pelabuhan, ruang biru adalah perairan teluk, dan ruang hijau adalah daratan, sementara ikon perahu berwarna biru, merah, hitam dan kuning yang melakukan trip penangkapan mulai berangkat dari pelabuhan menuju ke daerah penangkapan ikan hingga kembali ke pelabuhan asal. Ikon perahu berwarna biru mewakili perahu yang berasal dari Desa Labuhan Kuris, ikon perahu warna merah mewakili perahu berasal dari Desa Labuhan Sangoro, ikon perahu warna hitam menunjukkan perahu dari Desa Labuhan Kuris, dan ikon perahu warna kuning menandakan perahu berasal dari Desa Soro. Setiap trip penangkapan, nelayan membuat keputusan ke mana harus pergi, apa yang akan ditangkap, dan untuk berapa lama mereka akan menangkap ikan.



Gambar 27 Simulasi pergerakan kapal penangkapan ikan di Teluk Saleh

Nelayan berkompetisi dalam mencari ikan dengan mengoptimalkan Upaya Tangkapan Per Unit (CPUE) dan pendapatan mereka. Untuk itu, nelayan yang menjadi responden telah merencanakan perjalanan melaut sebelumnya. Semua nelayan (100 persen) tersebut lebih memilih lokasi untuk mendapatkan penghasilan yang memuaskan. Kriteria kepuasan yang ingin dicapai nelayan, yaitu ketika memiliki pendapatan tertinggi dibanding nelayan lainnya (65 persen) dan ketika penghasilan mereka menutup biaya operasional (35 persen).

Dari keseluruhan nelayan tersebut, nelayan yang merencanakan perjalanan menuju lokasi penangkapan ikan sejak di rumah sebanyak 80,00 persen dan 20,00 persen sisanya diputuskan di laut setelah melihat kondisi cuaca dan umpan. Nelayan biasanya menggunakan pengetahuan lokal dengan melihat posisi geografis secara alamiah (90,00 persen) untuk menandai lokasi penangkapan maupun dengan menggunakan GPS dan *fish finder* (10 persen). Nelayan akan berpindah daerah penangkapan disebabkan faktor cuaca sebanyak 45,00 persen, hasil dibawah harapan (35,00 persen), dan kombinasi faktor cuaca dan hasil (20,00 persen). Sementara itu, sebagian besar nelayan (95,00 persen) memutuskan tidak melaut karena acara keagamaan dan 5,00 persen nelayan menyebut faktor lainnya seperti cuaca serta tidak ada umpan sehingga mereka tetap tinggal di rumah.

Penelitian ini mensimulasikan perikanan dalam kondisi tanpa pengelolaan (akses terbuka) selama 6 tahun sebagai referensi untuk membandingkan setiap tindakan pengelolaan. Kondisi tanpa tindakan pengelolaan dikenal juga sebagai *anarchy* (terminology dalam model). Simulasi dimulai pada tahun 2018 sebelum kebijakan diterapkan pada akhir tahun 2018. Model skenario ABM dapat menghasilkan *tracking* pergerakan kapal untuk melihat daerah penangkapan selama model dijalankan. Keputusan agen dalam menentukan tujuan daerah penangkapan (spot) bersifat trade-off antara mengeksplorasi slot baru atau mengeksploitasi slot yang dikunjungi sebelumnya (Madsen *et al.* 2020). Dalam konteks perilaku adaptif agen "*explore-exploit-imitate* (EEI)", hasil wawancara menunjukkan bahwa seluruh agen yang disurvei menyatakan bahwa nelayan bereksperimen mencari daerah penangkapan baru. Nelayan mengalokasikan waktu untuk menjelajahi (*explore*) lokasi baru penangkapan ikan yang belum pernah dikunjungi sebesar 22,50 persen dari total alokasi penangkapan ikan. Namun, sebagian besar waktu perjalanan 77,50 persen responden dihabiskan untuk mengeksploitasi (*exploit*) lokasi yang sebelumnya menghasilkan tangkapan yang memuaskan. Sebanyak 70,00 persen nelayan akan meniru (*imitate*) strategi temannya yang sukses mendapatkan hasil yang memuaskan. Nelayan berbagi informasi kepada teman dekat dan kerabat mengenai lokasi penangkapan (82,00 persen).

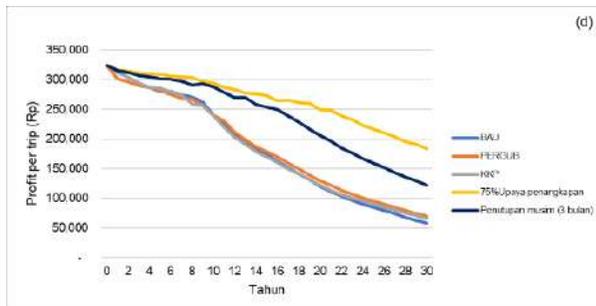
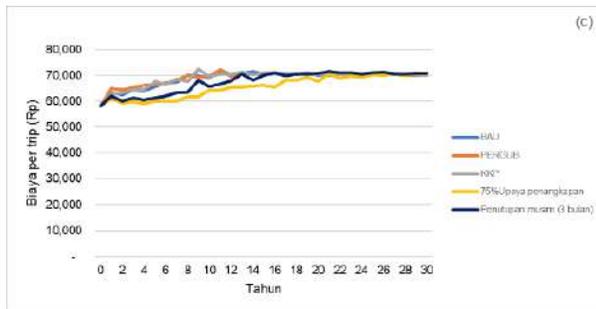
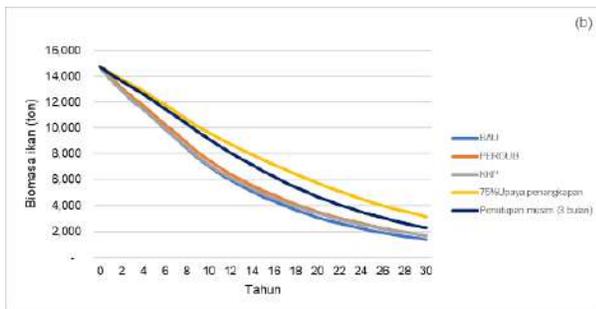
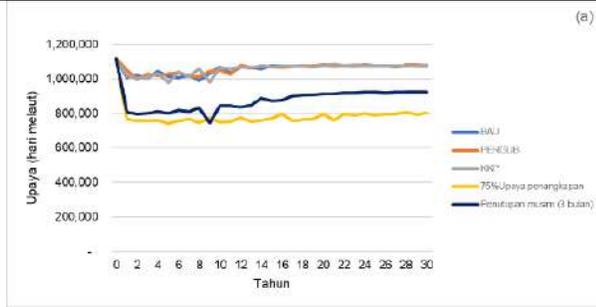
Dengan tingkat penangkapan saat ini akan menyebabkan penurunan total ikan hasil tangkapan yang pada akhirnya mengurangi keuntungan hingga mencapai 5 kali pada tahun ke-30, walaupun dari segi upaya terus meningkat. Berdasarkan analisis hasil ABM di 4 tempat pendaratan ikan utama di Teluk Saleh (Labuhan Kuris, Labuhan Sangoro, Labuhan Jambu,

dan Soro) selama 30 tahun dengan rerata upaya penangkapan (*effort*) sebesar 1.058.188 hari. Namun secara umum jumlah upaya penangkapan perikanan meningkat jika dilihat dari segi banyaknya operasi penangkapan di laut (*days at sea*) sehingga biaya yang dikeluarkan oleh nelayan juga bertambah besar dalam periode tersebut. Dengan semakin berkurangnya kondisi biomasa ikan dan hasil tangkapan yang diperoleh nelayan, maka hasil tangkapan per satuan upaya (CPUE) nelayan semakin menurun, yaitu dari 3,85 kg per trip pada tahun ke-1 menjadi sebesar 0,69 kg per trip pada tahun ke-30 (Tabel 20). Hasil simulasi (Gambar 28) juga memperlihatkan terjadinya konsentrasi penangkapan di dekat pelabuhan (*fishing front*) akibat dari persaingan usaha untuk mendapatkan hasil tangkapan (*race for fish*) di akhir tahun simulasi. Hal ini merupakan perilaku bentukan nelayan sebagai respon dari penerapan skenario *status quo*.

Tabel 20 Indikator hasil analisis Poseidon dengan skenario BAU

Tahun	Indikator				
	Upaya per tahun (hari)	Biomasa ikan (ton)	Biaya per trip (Rp)	Profit per trip (Rp)	CPUE (Kg per trip)
0	1.118.753	14.746	58.297	323.754	3,85
1	1.007.909	13.757	63.209	313.551	3,73
2	1.023.474	12.896	62.537	303.802	3,47
3	1.006.798	12.151	64.466	294.422	3,26
4	1.045.326	11.425	64.177	286.425	3,02
5	1.015.594	10.715	65.756	279.682	2,96
6	1.010.140	9.963	67.293	280.434	2,93
7	1.023.699	9.195	67.434	273.770	2,82
8	992.171	8.444	70.201	270.308	2,78
9	1.032.812	7.716	69.786	261.706	2,58
10	1.069.360	7.067	69.096	240.109	2,31
11	1.032.697	6.498	71.988	227.198	2,20
12	1.070.974	5.986	70.503	209.289	1,98
13	1.066.723	5.528	70.884	195.113	1,85
14	1.060.375	5.105	71.572	184.792	1,75
15	1.077.052	4.706	70.517	172.676	1,63
16	1.073.795	4.331	70.755	162.268	1,54
17	1.073.163	3.982	70.808	151.616	1,45
18	1.077.685	3.659	70.511	140.847	1,36
19	1.069.649	3.363	71.041	131.141	1,28
20	1.082.592	3.096	70.193	119.640	1,18
21	1.077.979	2.853	70.484	110.942	1,11
22	1.078.077	2.632	70.477	102.995	1,05
23	1.075.718	2.428	70.635	96.498	0,99
24	1.080.632	2.240	70.319	89.732	0,93
25	1.076.341	2.066	70.592	84.296	0,89
26	1.076.761	1.906	70.568	78.460	0,84
27	1.072.414	1.758	70.866	73.179	0,80
28	1.082.837	1.622	70.164	67.348	0,76
29	1.078.616	1.498	70.454	62.361	0,72

30	1.073.723	1.383	70.761	57.940	0,69
Rerata	1.058.188	5.958	68.914	182.139	1,89



Gambar 28 Hasil simulasi lima skenario terhadap upaya penangkapan (a), biomasa ikan (b), biaya per trip (c), dan profit per trip (d)

Dalam rangka pengelolaan perikanan yang lebih baik, beragam tindakan pengelolaan perikanan yang direkomendasikan dan tentunya perlu disesuaikan dengan tujuan pengelolaan itu sendiri. Tindakan pengelolaan biasanya bertujuan mengendalikan penangkapan ikan dengan peraturan yang membatasi hasil tangkapan (kuota atau jumlah tangkapan yang diperbolehkan (JTB), pembatasan akses atau upaya penangkapan (perizinan, penutupan area, dan musim penangkapan) atau dengan pengendalian tidak langsung seperti ukuran minimum tangkapan dan pembatasan alat tangkap (Beddington dan Hilborn 2013). Berbagai pendekatan baru juga telah banyak dikenalkan dan diterapkan untuk memperbaiki pengelolaan perikanan antara lain pendekatan kehati-hatian, *ecosystem approach* (EAF), pengelolaan adaptif, dan *harvest control rules* (Rice *et al.* 2007). Namun demikian langkah pengelolaan tersebut memiliki tingkat keberhasilan yang beragam. Perangkat kebijakan tersebut mempunyai efektivitas yang berbeda ketika diaplikasikan di lapangan. Mungkin saja instrumen tertentu berhasil di suatu perikanan tertentu tetapi gagal diterapkan di jenis perikanan lainnya. Beberapa literatur mengemukakan bahwa kegagalan penerapan kebijakan tersebut karena berbagai alasan, seperti kendala legal-formal (belum adanya kepastian hukum dalam bentuk aturan formal), kendala sosial dalam bentuk penolakan di lapangan dan tingkat kepatuhan yang rendah (bentuk insentif dan sanksi) yang dipengaruhi konsistensi dan komitmen pemerintah dalam menegakkan aturan (*law enforcement*) termasuk dukungan sumberdaya manusia dan anggaran serta rendahnya tingkat kesadaran dan partisipasi pelaku usaha itu sendiri. Bagi pelaku yang terdampak, terlihat bahwa rendahnya tingkat partisipasi karena mereka tidak dilibatkan dalam proses pengambilan keputusan, dan serta secara individu mereka belum menyadari sepenuhnya manfaat yang diterima dari kebijakan yang dibuat. Pada akhirnya, ada pengakuan dan pemahaman yang meningkat akan pentingnya jenis informasi terkait ‘perilaku sosial’ dalam pengambilan keputusan yang baik dalam pengelolaan sumber daya.

Pengambilan keputusan pengelolaan perikanan harus mempertimbangkan faktor operasional, ekonomi dan sosial yang lebih luas jika ingin mengelola perikanan secara efektif. Pemahaman operasi penangkapan ikan – di mana kapal menangkap ikan, bagaimana mereka menangkap ikan, peralatan apa yang mereka gunakan, kapan dan di mana pendaratan terjadi, rantai pasokan, dan sebagainya – sangat penting untuk memaksimalkan efektivitas keputusan pengelolaan pada saat yang sama meminimalkan berdampak pada profitabilitas operasi penangkapan ikan (Davis dan Hanich 2020). POSEIDON dapat memodelkan perilaku dari masing-masing nelayan tersebut sebagai respons terhadap perubahan kebijakan pengelolaan perikanan (Bailey *et al.* 2018; Madson *et al.* 2020)

Pilihan strategi kebijakan yang dibangkitkan dalam penelitian ini adalah:

- (a) Skenario ke-1: status quo (*business as usual*),
- (b) Skenario ke-2: kebijakan saat ini (PERGUB)

- (c) Skenario ke-3: pelarangan penangkapan di zona inti (*no take zones*) kawasan konservasi perairan (KKP)
- (d) Skenario ke-4: pengurangan upaya sebanyak 75 persen dari kondisi saat ini,
- (e) Skenario ke-5: penutupan musim selama tiga bulan dalam setahun.

Perbandingan hasil eksekusi antar skenario tersebut terhadap nilai upaya penangkapan, biomasa ikan, biaya per trip, profit (rente ekonomi) yang diperoleh per trip, dan *catch per unit effort* (CPUE) yang selengkapnya disajikan dalam Tabel 21. Dari lima skenario tersebut terlihat bahwa Skenario ke-4 (pengurangan jumlah upaya penangkapan sebanyak 75 persen) mempunyai skor tertinggi dengan rerata 100,00 persen dengan upaya penangkapan sebesar 784.815 hari melaut dalam setahun dan masih dibawah tingkat upaya optimal ( $F_{MSY}$  sebesar 959.659 hari dan  $F_{MEY}$  sebesar 850.504 hari), biomasa ikan tertinggi dibandingkan dengan skenario lainnya (8.092 ton per tahun), biaya terendah (Rp65,64 ribu per trip), profit tertinggi (Rp265,38 ribu per trip), dan CPUE tertinggi (2,68 kg per trip), sedangkan skenario *business as usual* (Skenario ke-1) memiliki peringkat paling rendah dengan rerata skor 1,53 persen (Tabel 21). Upaya pembatasan upaya penangkapan yang ditempuh dengan mengurangi hari melaut sebesar 75 persen kiranya merupakan pilihan kebijakan yang relatif memiliki resiko sedikit dari tiap kapal pada kondisi saat ini (18 hari dari 24 hari per bulan). Secara statistik, hasil simulasi menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan (pada alpha 0,05) berbeda dengan skenario basis (*status quo*).

Tabel 21 Analisis *cost-benefit indicators* simulasi lima skenario model pengelolaan berbasis agen menggunakan *trade-off analysis*

Kriteria	Satuan	Skenario					
		1	2	3	4	5	
<i>The effects table</i>	Upaya*	hari/tahun	1.058.188	1.060.936	1.059.345	784.815	878.328
	Biomasa ikan	ton/tahun	5.958	6.327	6.150	8.092	7.413
	Biaya*	Rp/kapal/hari	68.914	69.126	68.982	65.642	67.568
	Keuntungan	Rp/kapal/hari	182.139	186.047	182.310	265.382	237.565
	CPUE	Kg/trip	1,89	1,91	1,89	2,68	2,42
Skor tanpa pembobotan	Upaya*	persen	1,00	0,00	0,58	100,00	66,13
	Biomasa ikan	persen	0,00	17,26	8,96	100,00	68,19
	Biaya*	persen	6,07	0,00	4,13	100,00	44,71
	Keuntungan	persen	0,00	4,69	0,21	100,00	66,58
	CPUE	persen	0,58	2,35	0	100,00	66,59
Rerata skor	persen	1,53	4,86	2,77	100,00	62,44	
Peringkat		5	3	4	1	2	

Keterangan: \**cost indicator*

Pilihan alternatif kedua adalah Skenario ke-5, yaitu penutupan musim penangkapan selama tiga bulan. Konsekuensi dari pengelolaan penangkapan ikan melalui skenario tersebut menghasilkan keuntungan, biomasa ikan, dan CPUE berada di bawah skenario ke-4 (ideal), namun upaya penangkapan dan biaya operasional sedikit lebih banyak.

Namun dalam pemilihan kedua strategi ini (skenario ke-4 dan skenario ke-5) perlu dilakukan secara hati-hati dengan memperhatikan dampak sosial-ekonomi yang ditimbulkan seperti pengangguran akibat pengurangan kapal,

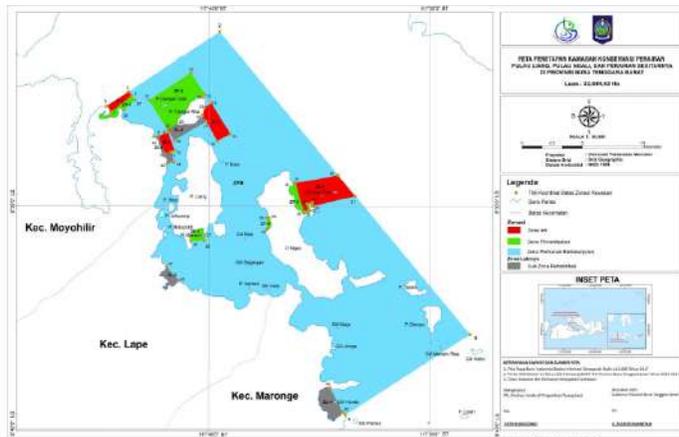
user 21/8/21 20.04

Comment [7]: A b c d e???

resistensi dari nelayan, kemiskinan, konflik sosial, dan persoalan sosial lainnya dan perlu memperhatikan tindakan terhadap kapal-kapal yang dikeluarkan dari perairan, bentuk kompensasi dan siapa yang akan memberikan kompensasi.

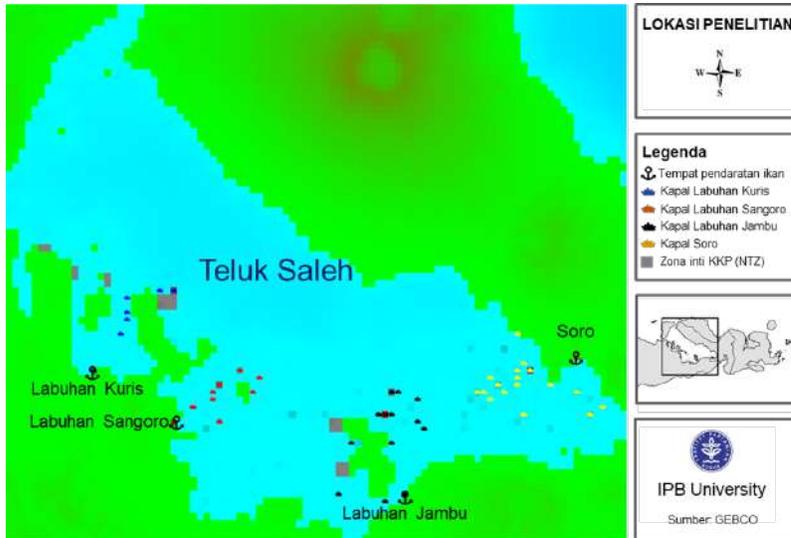
Walaupun masih diperdebatkan, peran Kawasan Konservasi Perairan (KKP) sebagai salah satu *tools* pengelolaan perikanan semakin dilihat sebagai salah satu alat terpenting untuk pengelolaan perikanan. Bahkan McClanahan (2021) mengemukakan bahwa kawasan konservasi terbukti lebih lestari dalam pengelolaan perikanan dalam jangka panjang dibandingkan dengan instrumen pembatasan alat tangkap. Studi Hilborn *et al.* (2004) membuktikan bahwa pada situasi *overfishing*, keberadaan zona inti (*no-take zone/NTZ*) pada kawasan konservasi mampu memberikan manfaat bagi perikanan multi-spesies, stok dengan mobilisasi rendah (tidak bermigrasi jauh) seperti kerapu. Galal *et al.* (2002) juga melaporkan peningkatan yang signifikan dalam kelimpahan dan ukuran rata-rata ikan karang target di Laut Merah, dengan CPUE di daerah penangkapan yang berdekatan meningkat dua pertiga selama periode 5 tahun. Peran NTZ dalam menyediakan stok ikan di daerah sekitarnya yang berdekatan biasa dikenal dengan efek limpahan (*spill over effect*). Studi empiris dari Stobart *et al.* (2006), menunjukkan peningkatan konsentrasi upaya penangkapan di dekat NTZ (*fishing the line*). Sementara Pickens *et al.* (2013) mengatakan KKP ternyata belum efektif dalam melindungi spesies ikan karang yang dikelola.

Sebagaimana diketahui di Teluk Saleh terdapat 2 kawasan konservasi perairan (KKP), yaitu Pulau Liang, Pulau Ngali dan Perairan sekitarnya dan Suaka Alam Perairan Pulau Lipan dan Pulau Rakit (Keputusan Gubernur NTB No 523-640 Tahun 2018). KKP Pulau Liang, Pulau Ngali, dan Perairan Sekitarnya dikelola sebagai Taman Wisata Perairan Pulau Liang, Pulau Ngali, dan Perairan Sekitarnya dengan luas keseluruhan 32.644,43 hektar, yang terdiri atas zona inti dengan luas 1.405,54 hektare; zona pemanfaatan dengan luas 1.428,82 hektare; zona perikanan berkelanjutan dengan luas 29.052,15 hektare; dan zona lainnya dengan luas 757,92 hektare (Gambar 29). Sementara itu Suaka Alam Perairan Pulau Lipan dan Pulau Rakit memiliki luas total sebesar 26.640,76 hektar.



Gambar 29 Peta Kawasan konservasi perairan Pulau Liang, Pulau Ngali dan perairan sekitarnya (Sumber: Kepmen KP No. 20 tahun 2020)

Dengan memasukkan skenario pelarangan tangkap di KKP ke dalam model (skenario ke-3) maka tampilan hasil simulasinya dapat dilihat pada Gambar 30. Hasil simulasi sebagai respon dari adanya zona inti KKP memberikan dampak pada biaya penangkapan menjadi lebih tinggi dibanding dengan skenario yang lainnya (Rp68.982,00), dan lebih rendah dari kondisi ketika PERGUB diterapkan (skenario ke-2). Hal ini dimungkinkan karena diperlukan tambahan upaya dan biaya yang dikeluarkan untuk menghindari zona larangan penangkapan. Namun secara keseluruhan, skenario ke-3 memberikan hasil simulasi yang hampir sama dengan kondisi saat tanpa pengelolaan. Kondisi tersebut disebabkan persentasi luasan zona inti kawasan konservasi relatif lebih kecil dibandingkan dengan daerah penangkapan di seluruh perairan Teluk Saleh, yaitu seluas 4.355 hektar atau sebesar 2,91 persen dari keseluruhan luas perairan Teluk Saleh (149.500 hektar).



Gambar 30 Simulasi perubahan perilaku nelayan dalam merespon kebijakan pelarangan penangkapan di zona inti kawasan konservasi perairan (zona inti digambarkan dengan segiempat warna abu-abu)

Studi terbaru dari Madsen *et al.* (2020) mengemukakan bahwa terjadi perubahan pola perilaku nelayan yang banyak menangkap di sekitar zona inti (*fishing the line*). Dengan demikian dalam tataran operasionalnya, nelayan menangkap ikan di zona pemanfaatan berkelanjutan yang berlokasi di dekat zona inti. Namun yang perlu diantisipasi adalah terjadinya pelanggaran dengan menangkap ikan di zona terlarang tersebut. Berdasarkan kajian Madsen *et al.* (2020), respon nelayan bisa saja berpotensi melakukan pelanggaran jika tidak dilakukan pengawasan dan penegakkan hukum yang ketat.

Dari hasil analisis juga terlihat bahwa daerah penangkapan dari nelayan memiliki perilaku bentukan sebagai adaptasi dari berbagai skenario di atas, yaitu aktivitas mereka semakin lama terkonsentrasi mendekati tempat pendaratan ikan (*fishing base*) dan di daerah sekitar zona inti. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Yonvitner *et al.* 2020) karena nelayan akan lebih memilih lokasi penangkapan ikan yang lebih dekat ke pelabuhan dengan pertimbangan efektivitas (Madsen *et al.* 2020) dan pengaruh harga BBM (Yonvitner *et al.* 2020). Apabila dicermati, kondisi ini sedikit berbeda dengan beberapa literatur yang menunjukkan bahwa ketika sumber daya yang diduga mengarah *overfishing*, nelayan akan memerlukan waktu melaut lebih lama dan lebih jauh dari domisili mereka (Halim *et al.* 2020), sehingga pengeluaran konsumsi BBM dan biaya operasionalnya juga akan semakin besar.

## 6.5 Simpulan dan Saran

### 6.5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis model berbasis agen dalam pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Hasil analisis persepsi nelayan memberikan diagnostik awal bahwa rata-rata nelayan memiliki persepsi yang baik terhadap aturan penangkapan, namun terdapat kesenjangan antara pendapat dengan tingkat kepatuhan terhadap aturan.
- b. Secara umum, kondisi saat ini dengan berbagai alternatif kebijakan yang ditawarkan dengan menggunakan ABM tidak mempunyai pengaruh signifikan, kecuali penerapan kebijakan melalui pengurangan upaya penangkapan sebesar 75 persen dan penutupan musim selama tiga bulan.
- c. Skenario terbaik adalah skenario ke-4 yaitu pengurangan upaya penangkapan sebesar 75 persen. Skenario tersebut memberikan nilai indikator rerata tertinggi terutama dalam hal biomasa ikan, rente ekonomi, dan CPUE jika dibandingkan pilihan-pilihan kebijakan lainnya, sebaliknya terhadap *cost indicators* (biaya dan upaya penangkapan) memperlihatkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario lainnya.

### 6.5.2 Saran

POSEIDON merupakan salah satu *tools* untuk pengambilan keputusan berdasarkan pilihan skenario dan membantu mengidentifikasi skenario terbaik yang direkomendasikan. Namun dalam praktek perumusan strategi pengelolaan berbasis *agent-based model* terdapat beberapa saran sebagai berikut:

- a. Model tersebut memerlukan pemahaman terhadap perilaku agent (nelayan) yang heterogen dalam mensikapi/mengantisipasi perubahan kebijakan pengelolaan perikanan. Agen juga dimodelkan memiliki alat tangkap yang sama, biaya operasional yang sama dan tujuan yang sama (berorientasi memaksimalkan profit). Perbedaan sikap dan input produksi tersebut berlaku sama untuk semua nelayan. Oleh karena itu disarankan pemodelan dapat dirinci menurut alat tangkap dan individu agen.
- b. Pemodelan sebaiknya diperkaya dengan data yang lebih lengkap terkait dengan lokasi dan luasan tutupan karang dan biomassa ikan menurut lokasi sehingga tidak diasumsikan identik dengan kedalaman (*bathimetry*), komoditas di-*breakdown* menurut spesies menurut grid (spot) dalam peta, dan mensimulasikan lebih banyak agen dalam model.

## VII DINAMIKA EKOLOGI DAN EKONOMI PERIKANAN KERAPU

### 7.1 Pendahuluan

Perikanan merupakan kegiatan yang memiliki berbagai tujuan (*multi-objective activities*) seperti tujuan sosial, budaya, politik, ekonomi dan ekologi (Charles 2001). Dengan demikian, kebijakan yang mendukung perikanan berkelanjutan tidak cukup hanya menasar kelestarian sumber daya ikan dan keberlanjutan usaha perikanan saja, tetapi juga keberlangsungan nelayan kecil yang menggantungkan kehidupannya pada hasil melaut. Namun pada kenyataannya, pengelola perikanan sering dihadapkan pada pencapaian tujuan yang ada kalanya terjadi pertentangan satu sama lain (*conflicting objectives*). Hal inilah yang menyebabkan kurang efektifnya kebijakan di atas, karena kebijakan perikanan kadang dihadapkan pada tujuan yang bertentangan misalnya, antara kepentingan untuk meningkatkan stok biologi dengan meningkatkan hajat hidup masyarakat nelayan sekitar.

Dalam literatur pengelolaan perikanan, pemerintah berupaya mencapai tujuan pengelolaan yang telah disepakati melalui penggunaan instrumen pengelolaan perikanan. Secara umum, bentuk tindakan pengelolaan perikanan termasuk perikanan karang (kerapu) berupa pembatasan hasil tangkapan (jumlah tangkapan yang diperbolehkan), pengaturan upaya penangkapan (*fishing effort*), pengaturan secara teknis penangkapan (seperti pembatasan ukuran ikan, penutupan musim, dan area penangkapan/kawasan konservasi perairan), hak akses area perikanan, dan instrumen ekonomi (Friedlander 2015). Pemilihan instrumen tersebut didasarkan pada tujuan yang ingin dicapai. Bagi perikanan kerapu di Teluk Saleh, pemerintah daerah (Provinsi NTB) sebagai otoritas pengelola perikanan di Teluk Saleh mengatur upaya penangkapan melalui pembatasan ukuran ikan yang boleh ditangkap dan pengaturan ukuran mata jaring/pancing serta musim penangkapan. Kombinasi langkah pengendalian tersebut diharapkan dapat meningkatkan populasi dan kesejahteraan ekonomi nelayan secara berkelanjutan.

Pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh agar dapat berkelanjutan menjadi tantangan besar bagi para pembuat kebijakan karena perikanan tersebut merupakan sebuah sistem perikanan skala-kecil yang kompleks dan dinamis. Sejalan dengan dinamika perkembangan lingkungan, fenomena tangkap lebih (*overfishing*) perikanan kerapu dan degradasi habitat ekosistem terumbu karang mulai terlihat di wilayah ini akibat dari praktik penangkapan ikan yang ekseksif dan destruktif. Tentunya jelas bagi semua pihak, kondisi ini serta menjadi ancaman utama bagi keberlanjutan sektor perikanan tangkap di Teluk Saleh secara keseluruhan. Kecenderungan terjadinya penurunan populasi ikan yang diperkirakan masih akan terus terjadi mengindikasikan perlunya suatu desain pengelolaan yang komprehensif, tidak saja melibatkan aspek teknis seperti kondisi sumberdaya dan lingkungan biofisik melainkan juga aspek lainnya seperti sosial dan ekonomi dari masyarakat yang memanfaatkannya. Hal ini disebabkan dalam sistem perikanan skala kecil di Teluk Saleh merupakan sebuah sistem yang terdiri dari elemen-elemen yang tidak terpisahkan antara satu dan lainnya. Oleh karena

itu, sebuah kebijakan pengelolaan seharusnya didisain untuk menysasar elemen-elemen yang diperkirakan dapat menjadi *leverage point* bagi sistem yang bersangkutan; dimana intervensi yang dikenakan pada elemen tersebut akan memberikan dampak yang sistemik bagi elemen lainnya.

Dalam praktek pengelolaan perikanan berkelanjutan membutuhkan perangkat dan proses yang dapat membantu memahami kompleksitas dan dinamika perikanan tersebut serta merancang alternatif kebijakan yang lebih baik. Salah satunya melalui pemodelan (*modeling*) dinamika sistem kompleks yang dibangun baik secara analitik (persamaan *difference*<sup>1</sup> dan diferensial) maupun komputasi (simulasi) (Purnomo 2012; Fauzi 2019). Pemodelan mengandung makna sebuah metode untuk mengembangkan model-model simulasi untuk membantu memahami kompleksitas dinamika sistem serta merancang atau mengevaluasi kebijakan. Pemodelan sistem dan simulasinya adalah cara yang *robust* dan teruji dalam membuat ragam skenario dan dampaknya terhadap sumberdaya dimasa yang akan datang (Purnomo 2012). Dalam bidang perikanan, model dasar dinamika sistem perikanan mensimulasikan interaksi antara sistem biologi dan sistem ekonomi yang berguna untuk mendukung pengambilan kebijakan perikanan (Ruth dan Hannon 2012). Model dinamik mampu meng-*explore* konsekuensi dari pilihan-pilihan kebijakan sebagai upaya mengatasi fenomena *overfishing* dan ketidakadilan dalam pemanfaatan sumberdaya perikanan (Rammelt dan van Schie 2016), mampu mengevaluasi performa, dan memprediksi dampak kebijakan di masa depan (Kusumo *et al.* 2020).

Pemodelan dinamika sistem ini menjadi penting untuk mengetahui keterkaitan antar variabel yang dikaji dan mensimulasikan perilaku sistem bila terjadi intervensi kebijakan. Sebagai platform simulasi, model dinamika sistem ini didisain sedemikian rupa untuk dapat merepresentasikan dinamika sistem perikanan kerapu di Teluk Saleh secara empirik dan memprediksi fenomena perubahan biologi dan ekonomi di masa mendatang sebagai dampak dari penerapan skenario alternatif kebijakan yang berbeda.

## 7.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dinamika sistem perikanan kerapu di Teluk Saleh terhadap kondisi stok (biomas) dan pendapatan nelayan dan membuat skenario kebijakan yang lebih baik.

## 7.3 Metode

### 7.3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak Januari sampai Desember 2019. Lokasi penelitian mencakup perairan Teluk Saleh (Kabupaten Sumbawa dan Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat)

### 7.3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder meliputi data runtun waktu (time series) hasil

<sup>1</sup> Persamaan *difference* adalah persamaan yang menyatakan bahwa keadaan masa nanti bergantung pada keadaan sekarang dan berbagai faktor lainnya (Purnomo 2012)

tangkapan yang bersumber dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sumbawa dan BPS Kabupaten Dompu (antara tahun 2009 dan 2018) serta data harga ikan, biaya penangkapan, dan upaya penangkapan yang diperoleh dari WCS (antara tahun 2016 dan 2018). Untuk data harga, biaya operasional, dan upaya penangkapan tahun 2019 menggunakan hasil pengumpulan data primer berdasarkan wawancara dengan nelayan di 4 lokasi pengamatan (Labuhan Sumbawa, Labuhan Kuris, Labuhan Sangoro, dan Labuhan Jambu). Beberapa parameter yang digunakan dalam model dinamis ini seperti nilai *catchability* ( $q$ ), pertumbuhan intristik ( $r$ ), *carrying capacity* ( $K$ ), initial biomass menggunakan hasil analisis surplus produksi Schaefer sebagaimana dijelaskan pada bab sebelumnya.

### 7.3.3 Metode Analisis

#### *Model Pertumbuhan Logistik*

Dalam literatur dinamika populasi perikanan, perubahan stok ikan ditentukan oleh pola rekrutmen, pertumbuhan ikan, kematian alami, dan kematian akibat penangkapan. Secara matematis, jika laju rekrutmen dan pertumbuhan ikan melebihi tingkat kematian alami dan akibat penangkapan akan menyebabkan nilai stok ikan menjadi positif, dan begitupun sebaliknya.

Jika diasumsikan belum terjadi usaha penangkapan ikan pada suatu perairan, maka laju pertumbuhan ikan, dengan mengabaikan faktor waktu, dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad (1)$$

dimana  $X$  adalah populasi (stok) ikan dalam periode waktu  $t$  tertentu;  $F(X)$  adalah laju pertumbuhan populasi (*instantaneous growth rate*), yang selanjutnya dinyatakan dalam satuan biomas<sup>2</sup>. Persamaan tersebut menunjukkan laju relatif pertumbuhan populasi, disebut dengan surplus biomas. Surplus tersebut berasal dari penambahan biomas dikurangi dengan tingkat mortalitas alami. Laju pertumbuhan biomas diasumsikan berbentuk fungsi logistik, yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$F(x) = rX \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad (2)$$

Notasi  $r$  adalah konstanta pertumbuhan alami<sup>3</sup>;  $k$  menunjukkan nilai *carrying capacity*, yaitu kemampuan maksimum lingkungan untuk mendukung kehidupan populasi dan laju pertumbuhan biomas.

Secara keseluruhan, pengaruh dari adanya usaha penangkapan terhadap sumberdaya perikanan (populasi lestari) pada setiap periode waktu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{dX}{dt} = F(X) - H_t \quad (3)$$

<sup>2</sup> Pertumbuhan populasi dapat berupa penambahan jumlah ikan dalam suatu populasi dan juga dapat berupa penambahan berat keseluruhan, sehingga terminologi biomas lebih tepat untuk digunakan. Pertumbuhan biomas berarti pertumbuhan populasi, baik kuantitas dan kualitas (berat dan ukuran tubuh).

<sup>3</sup> Laju pertumbuhan intrinsik adalah konstanta yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu spesies untuk dapat bertahan hidup dan berkembang biak dalam suatu lingkungan.

dimana  $H$  adalah laju penangkapan. Persamaan 3 menyatakan bahwa perubahan populasi dalam suatu periode waktu merupakan selisih antara fungsi pertumbuhan biologis dan jumlah penangkapan dalam periode tersebut.

Jika kemudian produksi perikanan ( $H_t$ ) tergantung dari input yang digunakan ( $E$ ), dan jumlah biomas yang tersedia ( $X$ ), serta *catchability* ( $q$ ), atau secara eksplisit fungsi produksi yang digunakan adalah:

$$H = qXE \quad (4)$$

#### *Model Sistem Dinamik*

Ruth dan Hannon (2012) membangun model dasar dinamika sistem perikanan yang mensimulasikan interaksi antara sistem biologi dan sistem ekonomi dengan submodel *fish stock*, *fish production*, *effort*, dan *economic calculation* yang berguna untuk mendukung pengambilan kebijakan perikanan. Sigurðardóttir (2016) mengaplikasikan model dinamika sistem untuk mengevaluasi dampak pengelolaan perikanan (pembatasan upaya penangkapan dan kuota) di Islandia terhadap sistem stok ikan, mata pencaharian dan keuntungan. Di Indonesia, penerapan model sistem dinamis dalam kebijakan pengelolaan perikanan dan konservasi telah banyak dilakukan seperti dilakukan oleh Sari (2018), Kusumo *et al.* (2020), dan yang lainnya.

Model perikanan yang dibangun dalam penelitian ini mengacu pada konsep bioekonomi Gordon-Schaefer (1954) dan model basik dinamika sistem yang dikembangkan Ruth dan Hannon (2012). Keterkaitan antara variabel penyusun model sistem dinamis perikanan kerapu di Teluk Saleh dinyatakan dalam diagram hubungan sebab akibat (*ausal loop diagram*) sebagaimana ditampilkan pada Gambar 31. Arah panah menunjukkan hubungan diantara elemen sistem dan dapat memperlihatkan *feedback loops* dari sistem yang dinyatakan sebagai *polarity* (positif atau negatif) berdasarkan arah perubahannya (Kusumo 2020). Model konseptual tersebut kemudian dirinci menjadi sebuah diagram stok dan aliran yang dibuat dengan bantuan perangkat lunak Stella Architect Version 2.1.1. Model tersebut dibangun oleh empat variabel stok (state), yaitu biomas, upaya, daya dukung habitat, dan *Comulative Present Value of Profit* (CPVP). Masing-masing variabel stok tersebut memiliki variabel aliran (*flow*) keluar dan *flow* masuk stok tersebut. Pada variabel biomas misalnya, mempunyai variabel *flow* masuk berupa pertumbuhan biomas yang menguatkan (*reinforcing/R*) biomas sedangkan *flow* keluar berupa kematian yang memiliki umpan balik (*feedback*) negatif terhadap biomas (*balancing/B*). *Reinforcing* pada hubungan pertumbuhan biomas dengan biomas disebabkan semakin besar populasi ikan maka terdapat kesempatan bertambahnya tingkat kelahiran (tanda arah panah positif) dan banyaknya kelahiran akan memperbesar populasi itu sendiri (tanda arah panah positif). Sebaliknya umpan balik negatif (*balancing*) terjadi pada hubungan antara biomas dengan kematian, semakin bertambahnya jumlah populasi akan memperbesar laju kematian (tanda arah panah positif) tetapi tingginya tingkat kematian baik secara alamiah ataupun akibat eksploitasi penangkapan akan mengurangi besarnya populasi yang ada (tanda arah panah negatif). Penelitian ini juga mengeksplorasi dua intervensi kebijakan, yaitu pembatasan hasil tangkapan



### Evaluasi Model

Validasi model dilakukan melalui penggunaan uji statistik *mean absolute percentage error* (MAPE) yang merupakan rerata dari persentase absolut galat dengan formulasi:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_i - O_i}{O_i} \right| \quad (5)$$

dimana,  $P_i$  = data prediksi model ke- $i$ ,  $O_i$  = data pengamatan (observasi) ke- $i$ ,  $n$  = jumlah data. Uji statistik tersebut digunakan untuk menduga tingkat akurasi variabel output dari suatu model (Kim and Kim 2016; Mehdiyev *et al.* 2016).

### Trade-off Analysis

Analisis ini digunakan untuk menentukan skala prioritas atas berbagai kebijakan strategis yang akan diambil berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Menurut Brown *et al.* (2001), teknik analisis ini membantu pengambil keputusan dalam pengelolaan konflik sumberdaya dan kebutuhan pemangku kepentingan. Teknik ini menggunakan *multi-criteria analysis* sebagai dasar pembuatan peringkat dari alternatif pilihan skenario kebijakan berbasis informasi yang disajikan dalam sebuah *effects 20t* serta mengkonversinya dalam sebuah skala nilai (*scores*). Teknik ini prinsipnya memberikan penilaian berupa “*cost-benefit indicators*”. Pembuatan skala penilaian (*scoring*) untuk indikator yang memberikan dampak positif dari sebuah manajemen strategi menggunakan rumus:

$$x_s = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100 \quad (6)$$

Sementara itu, konversi penilaian indikator berupa “cost” diformulasikan dalam persamaan:

$$x_s = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \times 100 \quad (7)$$

dimana  $x_s$  = nilai skor,  $x$  = nilai yang akan dikonversi dalam skor,  $x_{\max}$  = nilai maksimum,  $x_{\min}$  = nilai minimum.

## 7.4 Hasil dan Pembahasan

### 7.4.1 Formulasi Model Konseptual

Sebuah model dapat dibagi menjadi beberapa submodel yang lebih kecil dalam rangka memudahkan pengorganisasian model tersebut. Model konseptual perikanan kerapu di Teluk Saleh yang dibangun terdiri atas 4 sub-model, yaitu: sub-model stok ikan dan ekosistem, sub-model hasil tangkapan ikan, sub-model upaya penangkapan ikan, dan sub-model bioekonomi



Gambar 32 Sub-model stok ikan dan ekosistem

Adapun persamaan yang digunakan dalam penyusunan sub-model SDI dan ekosistem sebagai berikut:

$$\text{biomas}(t) = \text{biomas}(t - dt) + (\text{pertumbuhan\_biomas}) * dt \quad (8)$$

$$\text{INIT biomas} = 5515.562 \quad (9)$$

INFLOWS:

$$\text{pertumbuhan\_biomas} = \text{biomas} * (\text{tingkat\_kelahiran} - \text{tingkat\_kematian}) - \text{biomas} * \text{daya\_tangkap} * \text{upaya} \quad (10)$$

$$\text{daya\_dukung} = \text{daya\_dukung\_max}$$

$$\text{daya\_dukung\_max}(t) = \text{daya\_dukung\_max}(t - dt) + (\text{pemulihan\_habitat} - \text{degradasi\_habitat}) * dt \quad (11)$$

$$\text{INIT daya\_dukung\_max} = 12697.88 \quad (12)$$

INFLOWS:

$$\text{pemulihan\_habitat} = \text{restorasi\_habitat} * \text{tingkat\_pemulihan} * \text{daya\_dukung\_max} \quad (13)$$

OUTFLOWS:

$$\text{degradasi\_habitat} = \text{daya\_dukung\_max} * (\text{tingkat\_degradasi} * \text{efek\_alat\_tangkap}) \quad (14)$$

$$\text{daya\_tangkap} = 0.0000006825947 \quad (15)$$

$$\text{densitas} = \text{biomas} / \text{daya\_dukung} \quad (16)$$

$$\text{efek\_alat\_tangkap} = \text{GRAPH}(\text{upaya})$$

$$\text{Points: } (0.0, 0.00669285092428), (10.0, 0.0179862099621), (20.0, 0.0474258731776), (30.0, 0.119202922022), (40.0, 0.26894142137), (50.0, 0.500), (60.0, 0.73105857863), (70.0, 0.880797077978), (80.0, 0.952574126822), (90.0, 0.982013790038), (100.0, 0.993307149076) \quad (17)$$

$$\text{efek\_densitas\_pada\_kelahiran} = \text{GRAPH}(\text{densitas})$$

$$\text{Points: } (0.000, 1.26150007933), (0.100, 1.24715751335), (0.200, 1.20976914106), (0.300, 1.11861228903), (0.400, 0.92844439486), (0.500, 0.635), (0.600, 0.34155560514), (0.700, 0.151387710968), (0.800, 0.0602308589355), (0.900, 0.0228424866519), (1.000, 0.00849992067384) \quad (18)$$

$$\text{efek\_densitas\_pada\_kematian} = \text{GRAPH}(\text{densitas}) \quad (18)$$

$$\text{Points: } (0.000, 0.00107085614789), (0.100, 0.00287779359393), (0.200, 0.00758813970841), (0.300, 0.0190724675235), (0.400, 0.0430306274192), (0.500, 0.0800), (0.600, 0.116969372581), (0.700, 0.140927532476), (0.800, 0.152411860292), (0.900, 0.157122206406), (1.000, 0.158929143852) \quad (19)$$

$$\text{kematian\_alami} = 0.16 \quad (20)$$

$$\text{pertumbuhan\_alami} = 1.275337 \quad (21)$$

$$\text{restorasi\_habitat} = 1 \quad (22)$$

$$\text{tingkat\_degradasi} = 0.02 \quad (23)$$

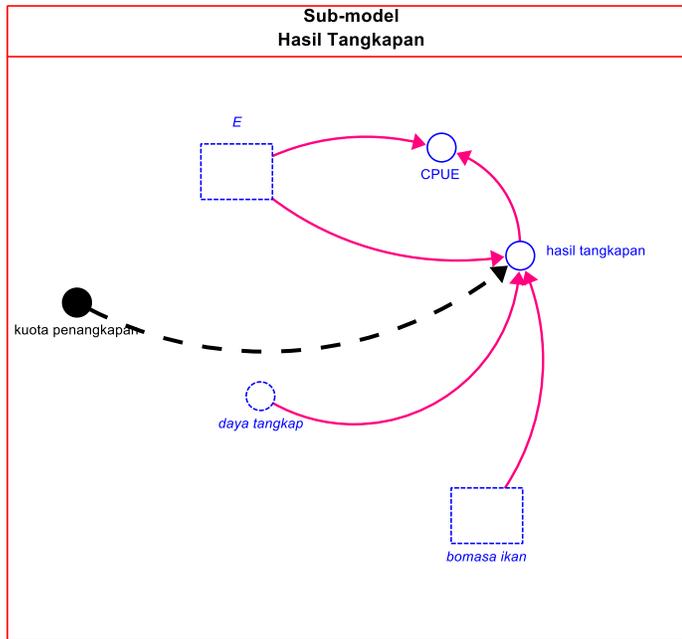
$$\text{tingkat\_kelahiran} = \text{pertumbuhan\_alami} * \text{efek\_densitas\_pada\_kelahiran} \quad (24)$$

$$\text{tingkat\_kematian} = \text{kematian\_alami} * \text{efek\_densitas\_pada\_kematian} \quad (25)$$

$$\text{tingkat\_pemulihan} = 0.01 \quad (26)$$

Sub-model hasil tangkapan ditentukan oleh besarnya jumlah biomas, *catchability* (q), dan effort penangkapan (E). Semakin besar parameter tersebut akan mempengaruhi besarnya hasil tangkapan yang diperoleh nelayan. Dari nilai hasil tangkapan dan upaya penangkapan kemudian dapat

diperoleh nilai hasil tangkapan per upaya atau *catch per unit effort* (CPUE) yang mencerminkan produktivitas pemanfaatan sumberdaya dari alat tangkapan yang digunakan. Indikator CPUE biasa digunakan untuk memberikan gambaran mengenai kelimpahan relatif dari stok ikan yang dieksploitasi dan tingkat penangkapan pada suatu daerah penangkapan (Gulland 1969). Kecenderungan naik turunnya CPUE suatu sumber daya dapat menunjukkan kondisi stok ikan terhadap tekanan penangkapan. Adapun pembatasan hasil tangkapan (*harvest restriction*) dilakukan melalui sistem kuota penangkapan dalam model, nilai kuota dibuat secara konstan (Rammelt dan Schie 2016). Sub-model produksi penangkapan ikan dapat dilihat pada Gambar 33 dan persamaan berikut:



Gambar 33 Sub-model hasil tangkapan

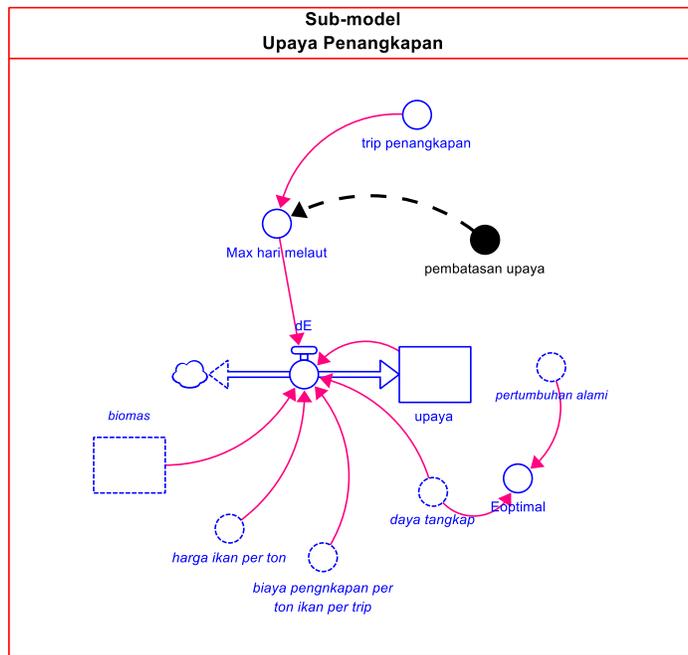
$$CPUE = \text{hasil\_tangkapan} / \text{upaya} \quad (27)$$

$$\text{hasil\_tangkapan} = \text{upaya} * \text{daya\_tangkap} * \text{biomas} \quad (28)$$

$$\text{kuota\_penangkapan} = 1 \quad (29)$$

Merujuk pada Ruth and Hannon (2012), tingkat pemanfaatan hasil tangkapan yang optimal dari suatu populasi ikan ditentukan oleh tingkat upaya penangkapan. Sub-model upaya penangkapan tersebut merupakan fungsi dari jumlah hari operasi, daya tangkap, biaya penangkapan, harga ikan hasil tangkapan, dan biomas ikan. Jumlah hari operasi penangkapan ditentukan dengan jumlah kapal yang aktif melakukan kegiatan penangkapan dalam satu tahun yang terdiri dari kapal dengan alat tangkap pancing ulur (*handline*), pancing rawai, panah (*speargun*) dengan asumsi tidak ada

kegiatan penangkapan merusak (*destructive fishing*) seperti bom dan *potassium*. Pada model perikanan Ruth and Hannon (2012) juga menggunakan asumsi bahwa nelayan memanfaatkan semua keuntungannya untuk menambah *effort* sehingga perubahan upaya penangkapan dapat digambarkan dari perubahan keuntungan yang diperoleh. Dengan asumsi harga konstan maka penambahan upaya penangkapan ditentukan oleh *catchability* (daya tangkap) yang merepresentasikan teknologi alat tangkap yang digunakan, biomas, harga dan biaya yang dikeluarkan. Gambar 34 menampilkan sub-model upaya penangkapan sedangkan formulasi yang digunakan dalam penyusunan sub-model upaya penangkapan adalah sebagai berikut:



Gambar 34 Sub-model upaya penangkapan

$$E_{optimal} = \text{pertumbuhan\_alami} / (2 * \text{daya\_tangkap}) \quad (30)$$

$$\text{max\_hari\_melaut} = \text{trip\_penangkapan} * \text{pembatasan\_upaya} \quad (31)$$

$$\text{pembatasan\_upaya} = 1.5 \quad (32)$$

$$\text{trip\_penangkapan} = 1008000 \quad (33)$$

$$\text{upaya}(t) = \text{upaya}(t - dt) + (dE) * dt \quad (34)$$

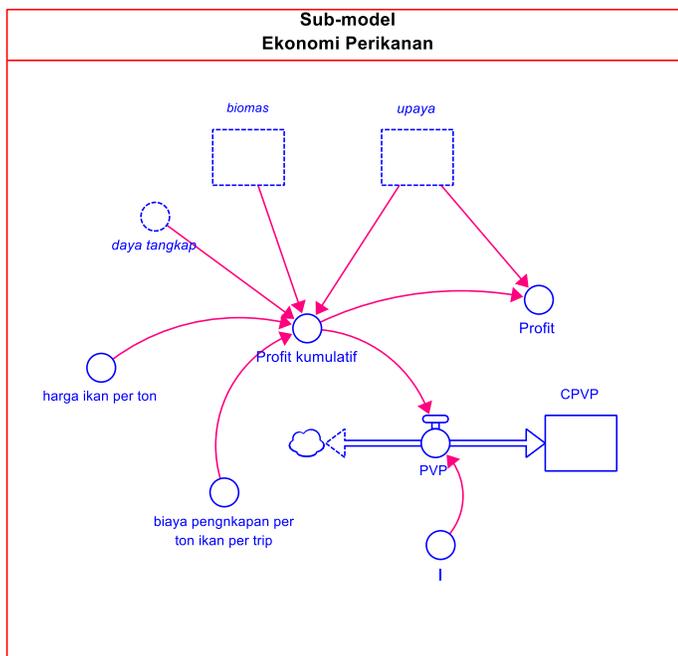
$$\text{INIT upaya} = 1008000 \quad (35)$$

INFLOWS:

$$dE = \text{upaya} * (\text{harga\_ikan\_per\_ton} * \text{daya\_tangkap} * \text{biomas} * 1000 - \text{biaya\_pengkapan\_per\_ton\_ikan\_per\_trip}) * (1 - \text{upaya} / \text{Max\_hari\_melaut}) \quad (36)$$

Sub-model bioekonomi perikanan digunakan untuk memahami keterkaitan antara aspek ekonomi dalam pemanfaatan stok ikan dengan

karakteristik biologi dari stok ikan sendiri yang secara umum menyangkut proses pertumbuhan alamiah, biomas dan kondisi lingkungan perairan. Dari aspek ekonomi sendiri terdapat faktor yang mempengaruhi analisis bioekonomi seperti harga ikan, biaya penangkapan, suku bunga, dan aspek penangkapan seperti upaya penangkapan dan daya tangkap. Faktor ekonomi yang menjadi daya tarik seseorang memasuki usaha perikanan adalah harapan memperoleh profit (rente ekonomi). Secara teoritis, manfaat ekonomi atau rente ekonomi yang diperoleh dari aktivitas penangkapan dipengaruhi oleh variabel penerimaan penangkapan ikan dan biaya penangkapan ikan. Total biaya operasional penangkapan ikan terdiri dari biaya bahan bakar, umpan, es, dan konsumsi (perbekalan) selama melaut, sedangkan total penerimaan merupakan perkalian dari fungsi hasil tangkapan (*catchability*, biomas, dan upaya penangkapan) dengan harga ikan hasil tangkapan. Nilai *Present Value of Profit* (PVP) dipengaruhi profit penangkapan pada tingkat suku bunga 0,055 persen (*BI rate*). Sub-model bioekonomi perikanan tersebut disajikan pada Gambar 35. Sementara itu, persamaan yang digunakan dalam membangun sub-model tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 35 Sub-model ekonomi perikanan

$$\text{biaya\_pengkapan\_per\_ton\_ikan\_per\_trip} = 33000/1000000 \quad (37)$$

$$CPVP(t) = CPVP(t - dt) + (PVP) * dt \quad (38)$$

$$INIT CPVP = 0 \quad (39)$$

INFLOWS:

$$PVP = Profit\_kumulatif * EXP(-I * TIME) \quad (40)$$

$$\text{harga\_ikan\_per\_ton} = 46000/1000000 \quad (41)$$

$$I = 0.055 \quad (42)$$

$$\text{Profit} = \text{Profit\_kumulatif/upaya} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \text{Profit\_kumulatif} = \\ \text{upaya} * (\text{biomas} * \text{daya\_tangkap} * \text{harga\_ikan\_per\_ton} * 1000 - \\ \text{biaya\_pengnkapan\_per\_ton\_ikan\_per\_trip}) * 1000000 \end{aligned} \quad (44)$$

#### 7.4.2 Parameterisasi Model

Dari hasil analisis parameter biologi yang dibahas di bab sebelumnya, diperoleh nilai estimasi parameter utama populasi, yaitu biomas awal sebesar 5.515,56 ton (pada tahun 2018) dan daya dukung yaitu sebesar 12.697,88 ton dengan pertumbuhan alami sebesar 1,31 dan tingkat kematian alami sebesar 0,16. Selain dipengaruhi parameter tersebut, besarnya biomas tergantung pada hasil tangkapan yang merupakan fungsi dari catchability (0,0000006825947), effort, dan biomas itu sendiri. Sementara itu, jumlah effort ditentukan jumlah hari operasi, daya tangkap, biaya penangkapan, harga ikan hasil tangkapan, dan biomas ikan (Ruth and Hannon 2012). Nilai awal upaya penangkapan sebesar 1.008.000 hari melaut dalam setahun dari 3727 kapal yang beroperasi di Teluk Saleh pada tahun 2018 dengan asumsi jumlah trip dalam setahun sebanyak 288 hari per kapal. Harga ikan kerapu hasil tangkapan nelayan pada kondisi baseline rata-rata sebesar Rp46.000 per kg dengan biaya operasi per ton per trip sebesar Rp33.000. Dari hasil analisis diperoleh nilai keuntungan (rente ekonomi) sebesar Rp167.408 per kapal per trip. Besaran masing-masing parameter tersebut disajikan pada Tabel 22.

Tabel 22 Parameter dan persamaan yang digunakan pada sistem dinamik perikanan kerapu di Teluk Saleh

Parameter	Simbol	Persamaan	Nilai	Satuan
Biomass	X(t)	$X(t - dt) + (dX) * dt$	INIT X = 5.515,562	ton
Kumulatif Nilai Profit	CPV P(t)	$CPVP(t - dt) + (PVP) * dt$	INIT CPVP = 0	
Upaya (t)	E(t)	$E(t - dt) + (dE) * dt$	INIT E = 1.008.000	hari
Perubahan upaya	dE	$E*(P*q*X*1.000-J)*(1-E/Max\_hari\_melaut)$		hari/tahun
Perubahan biomas	dX	$X*(tingkat\_kelahiran-tingkat\_kematian)-X*q*E$		ton/tahun
Trip			288	hari
Hasil tangkapan	Y	$X*q*E$		ton
Biaya	J		0,033	Rp1 juta per
CPUE		Y/E		ton per trip
Hari_melaut_ per_tahun		trip*kapal_aktif		hari
Max_hari_m		trip_penangkapan*pembatas		hari

elaut Kapal aktif	an_effort	3.192	kapal
----------------------	-----------	-------	-------

Tabel 22 Parameter dan persamaan yang digunakan pada sistem dinamik perikanan kerapu di Teluk Saleh (lanjutan)

Parameter	Simbol	Persamaan	Nilai	Satuan
Daya dukung	K_max(t)	$K_{max}(t - dt) + (pemulihan - degradasi_{habitat}) * dt$	INIT K_max = 12.528	ton
degradasi_habitat		$K_{max} * (tingkat_{degradasi} * efek_{alat_{tangkap}})$		
pemulihan		$restorasi_{habitat} * tingkat_{pemulihan} * K_{max}$		
densitas		$X/K$		
Profit Present Value of Profit	PVP	$Profit_{kumulatif} * EXP(-I * TIME)$		Rp
Harga	P		0,046	Rp1 juta per ton per trip
Kematian alami	M		0,16	
Profit komulatif		$E * (q * Price * X * 1.000 - J)$		Rp1 juta
Profit per kapal		$Profit_{kumulatif} / E$		
Daya tangkap	q		0,00000068	
Pertumbuhan intrinsik	r		1,31	ton/ periode
Suku bunga	i		0,055	
Potensi lestari	MSY	$r * K / 4$		

7.4.3 Evaluasi Model

Tahapan evaluasi model sangat penting dan menentukan akurasi model simulasi dengan gambaran kondisi pengamatan (aktual) dalam sebuah sistem dinamik. Dalam penelitian ini validasi model dilakukan terhadap data ikan hasil tangkapan dan keuntungan (profit) yang diterima nelayan. Nilai MAPE terhadap data jumlah produksi ikan antara tahun 2009 dan 2018 sebesar 0,87 (Tabel 23) yang artinya bahwa rata-rata tingkat kesalahan model sistem dinamis yang dibangun adalah 13,0 persen atau model tersebut dapat menggambarkan fenomena aktual sebesar 87,0 persen. Secara statistik dengan menggunakan uji-t, model tersebut juga memiliki *p-value* sebesar 0,379 pada  $\alpha=0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan rerata antara data pengamatan (*observed*) dengan data perhitungan model (*predicted*).

Tabel 23 Nilai MAPE menggunakan data ikan hasil tangkapan (ton)

Tahun	Model (P)	Pengamatan (O)	MAPE
2009	3.020,70	3.773,13	0,20
2010	2.701,44	3.347,70	0,19
2011	3.264,43	3.766,35	0,13
2012	3.658,17	3.224,11	0,13
2013	3.943,31	4.089,62	0,04
2014	4.205,22	4.401,09	0,04
2015	4.077,92	4.442,51	0,08
2016	4.275,11	3.797,56	0,13
2017	4.713,91	5.652,77	0,17
2018	4.881,89	3.992,3	0,22
			0,13

Keterangan: P=*predicted*, O=*observed*

Validasi model juga dilakukan terhadap keuntungan nelayan. Data yang digunakan adalah data hasil pengamatan profit (keuntungan) nelayan selama tahun 2016-2018 (Tabel 24). Nilai MAPE yang diperoleh sebesar 0,05. Hal ini menunjukkan model yang digunakan cukup valid dengan kesalahan model sebesar 5,0 persen atau model tersebut menggambarkan kondisi aktual sebesar 95,0 persen. Model tersebut juga cukup valid jika dinilai berdasarkan uji-t yaitu memiliki *p-value* sebesar 0,719 pada  $\alpha=0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan rerata antara data pengamatan dengan data perhitungan model.

Tabel 24 Nilai MAPE menggunakan data keuntungan nelayan (Rp)

Tahun	Model (P)	Pengamatan (O)	MAPE
2016	181.450	195.300	0,07
2017	171.588	163.300	0,05
2018	167.408	169.770	0,01
			0,05

Sumber: Hasil analisis data

#### 7.4.4 Analisis Sensitivitas Model

Analisis sensitivitas bertujuan untuk menentukan sejauhmana tingkat sensitivitas dari perilaku model dengan perubahan nilai parameter tertentu (Grant *et al.* 1997). Analisis tersebut dapat membuktikan bahwa model yang telah dibangun dapat diterima dengan melaksanakan serangkaian uji model simulasi (Ferretti *et al.* 2016). Simulasi analisis sensitivitas dilakukan menggunakan perangkat lunak *Stella Architect* versi 2.1.1. Parameterisasi input adalah variabel bebas menggunakan distribusi data dengan menggunakan nilai bertambah yang sama (*incremental*). Penelitian ini mengeksplor dua kategori *management measures* (tindakan pengelolaan)

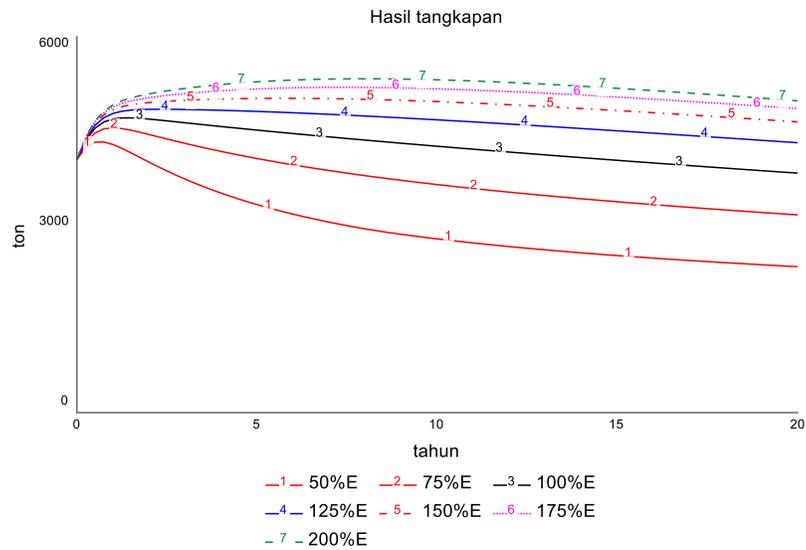
untuk meningkatkan keberlanjutan perikanan sebagai variabel bebas yaitu: (1) jumlah hari melaut dan (2) jumlah kuota penangkapan. Perubahan variabel bebas tersebut selanjutnya dianalisa terhadap variabel tak bebas, yaitu: biomas ikan (ton) per tahun dan keuntungan yang diperoleh nelayan (Rp per trip).

Analisis sensitivitas terhadap perubahan jumlah hari melaut merepresentasikan pengendalian input baik berupa pembatasan alat tangkap maupun penutupan musim yang merupakan bentuk intervensi pemerintah daerah sebagaimana tercantum PERGUB No 32 Tahun 2018. Jumlah hari melaut yang disimulasikan terbagi dalam empat kategori yang dihitung secara kumulatif untuk seluruh kapal yang beroperasi di Teluk Saleh (Tabel 25). Masing-masing simulasi dijalankan dengan menggunakan random *seed* yang sama 25 persen, sedemikian sehingga jumlah ikan pada saat awal simulasi tepat sama (50 persen), dan perbedaan yang dihasilkan hanya disebabkan oleh simulasi yang dipergunakan. Asumsi yang digunakan dalam simulasi ini adalah jumlah kapal yang beroperasi sekarang sebanyak 3.193 kapal dengan rerata trip dalam sebulan sekitar 24 hari.

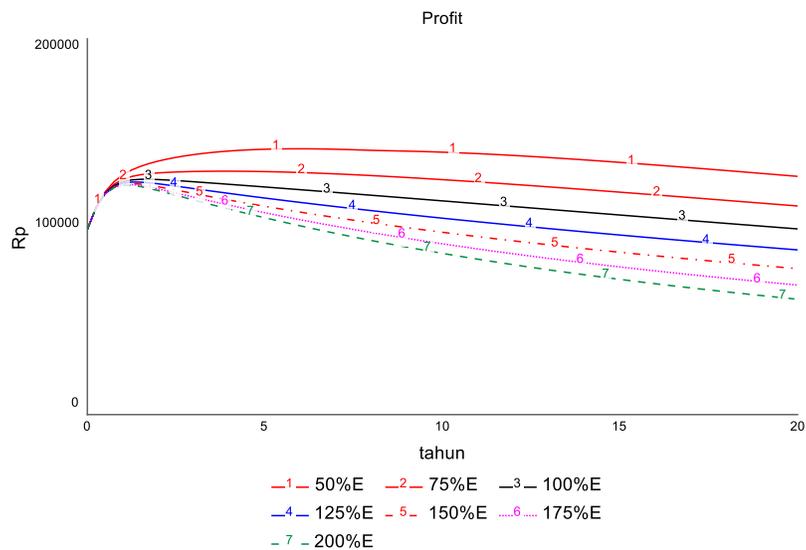
Tabel 25 Nilai variabel jumlah hari melaut per tahun

Simulasi ke-	Jumlah hari melaut dari <i>effort</i> eksisting (persen)
1	50
2	75
3	100
4	125
5	150
6	175
7	200

Setiap eksperimen tersebut kemudian divisualisasikan dengan menggunakan dalam bentuk gambar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengurangan jumlah hari melaut memiliki sensitivitas tinggi terhadap hasil tangkapan nelayan (Gambar 36) dan keuntungan yang diterima nelayan (Gambar 37).



Gambar 30 Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan upaya (hari melaut) terhadap hasil tangkapan (ton)



Gambar 37 Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan upaya (hari) terhadap profit yang diterima nelayan per hari (Rp)

Data hasil analisis sensitivitas juga diuji dengan menunjukkan uji-t antara simulasi ke-1 hingga simulasi ke-7. Hasil dari uji-t tersebut menunjukkan semua simulasi berpengaruh signifikan terhadap simulasi basis yang dicirikan dengan  $p\text{-value} < 0,05$ . Perubahan jumlah upaya memberikan

dampak yang paling signifikan baik terhadap biomas maupun profit nelayan terjadi pada simulasi ke-1 (perubahan upaya sebesar 75 persen terhadap upaya saat ini sebagaimana disajikan pada Tabel 26).

Tabel 26 Hasil uji-t antara data perubahan upaya dengan hasil tangkapan ikan dan profit

Uji-t	Biomass	Profit nelayan
	Simulasi ke-2 terhadap basis	Simulasi ke-2 terhadap basis
DF	21	21
t Stat	-12,32761589	11,325835833
P(T<=t) two-tail	8,43436E-11*	3,75029E-10*
t Critical two-tail	2,085963447	2,085963447

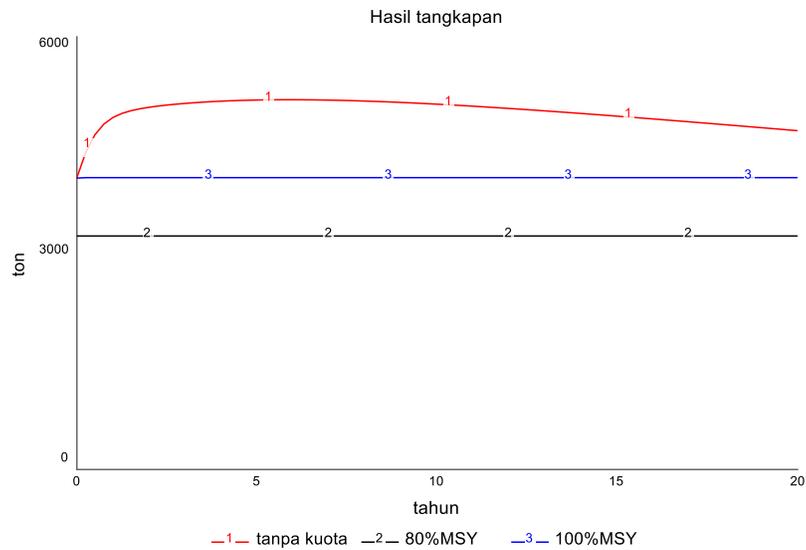
\*Signifikan pada alpha 0,05

Analisis sensitivitas juga dilakukan dengan menggunakan kuota penangkapan atau jumlah ikan yang boleh ditangkap (JTB) sebagai salah satu pengendalian output penangkapan. Penggunaan kuota penangkapan dalam perikanan termasuk perikanan karang bertujuan untuk membatasi hasil tangkapan tahunan dan mengurangi potensi terjadinya *overfishing* (Friedlander 2015). Analisis ini menggunakan kriteria besarnya kuota penangkapan terhadap nilai *maximum sustainable yield* (MSY) yaitu dari tanpa kuota, 80 persen hingga akhir simulasi sebesar 100 persen. Kuota penangkapan yang disimulasikan berupa persentase kuota terhadap MSY seperti pada Tabel 27.

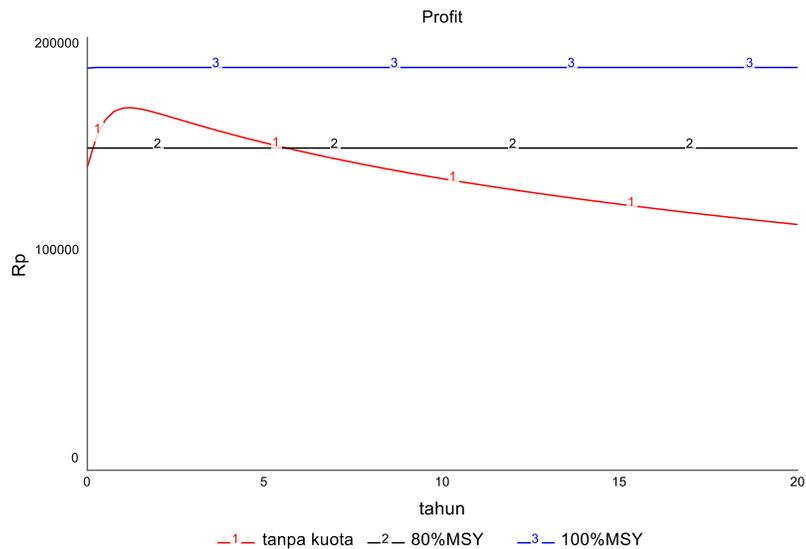
Tabel 27 Nilai variabel kuota terhadap MSY

Simulasi ke-	Kuota (persen)
1	Tanpa kuota
2	80 persen dari MSY
3	100 persen dari MSY

Secara umum, analisis ini melihat perbedaan antar berbagai skenario yang telah dibangun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besaran proporsi kuota penangkapan memiliki sensitivitas tinggi terhadap hasil tangkapan nelayan (Gambar 38) dan profit per kapal (Gambar 39).



Gambar 38 Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan kuota terhadap hasil tangkapan (ton)



Gambar 39 Simulasi analisis sensitivitas variabel perubahan kuota terhadap profit per kapal (Rp)

Berdasarkan hasil uji-t diketahui perubahan besaran kuota penangkapan paling signifikan terhadap hasil tangkapan ikan terjadi saat simulasi ke-1 (tanpa kuota). Gambar 33 memperlihatkan hasil tangkapan tanpa kuota melebihi nilai tangkapan jika menerapkan kebijakan kuota baik 80 persen dari nilai tangkapan lestari (MSY). Demikian halnya perubahan profit memiliki

nilai paling signifikan pada  $\alpha = 0,05$  (Tabel 28), yaitu dicapai saat proporsi kuota penangkapan ikan sebesar 80 persen dari MSY dan 100% dari MSY (simulasi ke-2 dan simulasi ke-3).

Tabel 28 Hasil uji-t antara data perubahan kuota terhadap MSY dengan hasil tangkapan dan profit nelayan

Uji-t	Biomass	Profit nelayan
	Simulasi ke-2 terhadap ke-3	Simulasi ke-2 terhadap ke-3
DF	21	21
t Stat	-2479,611472	-16,7294759
P(T<=t) two-tail	2,33675E-56 *	2,33675E-56 *
t Critical two-tail	2,085963447	2,085963447

\*Signifikan pada  $\alpha 0,05$

Nilai analisis sensitivitas tersebut menggambarkan perubahan variabel bebas (upaya penangkapan dan kuota) yang berdampak pada variabel tidak bebas, yaitu hasil tangkapan dan keuntungan nelayan (Tabel 29).

Tabel 29 Nilai sensitivitas untuk setiap variabel bebas

Variabel bebas	Signifikansi uji-t pada $\alpha = 0,05$	
	Hasil tangkapan	Profit nelayan
Proporsi upaya terhadap upaya sekarang atau jumlah hari melaut	50 persen atau	50 persen atau
Proporsi kuota terhadap MSY	80 persen dari MSY	80 persen dari MSY

#### 7.4.5 Penggunaan Model

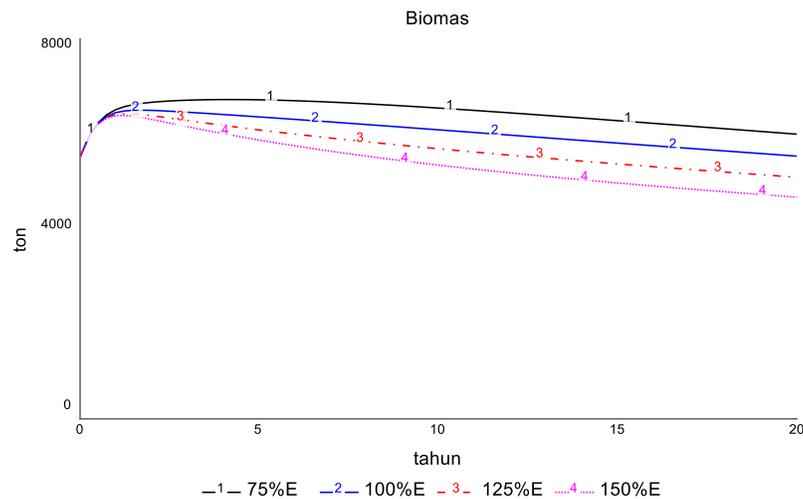
Tujuan pemodelan adalah untuk mengembangkan opsi-opsi atau kombinasi berbagai skenario strategi pengelolaan sehingga menjadi dasar pengambilan keputusan kebijakan pengelolaan yang optimal, baik dari peningkatan kelestarian sumberdaya perikanan maupun kesejahteraan para pihak utamanya nelayan. Penelitian ini memfokuskan pada dua strategi utama yaitu pembatasan upaya penangkapan dan penerapan jumlah ikan yang boleh ditangkap.

Instrumen pembatasan jumlah upaya penangkapan termasuk dalam regulasi pengendalian input. Hal ini dilakukan dalam kerangka mengatur *effort* penangkapan. Simulasi dari empat kategori nilai variabel jumlah hari melaut dilakukan terhadap biomass ikan (Gambar 40), hasil tangkapan (Gambar 41), keuntungan per kapal (Gambar 42), dan. Penentuan nilai optimal dari berbagai skenario tersebut didasarkan analisis manfaat optimal dari variabel bebas jumlah hari melaut yang dipilih (Tabel 30). Dengan mengacu pada hasil simulasi, terlihat bahwa pembatasan upaya penangkapan hingga mencapai 50 persen dari kondisi saat ini akan memberikan tingkat biomass, hasil tangkapan, keuntungan dan upaya yang paling optimal, disusul

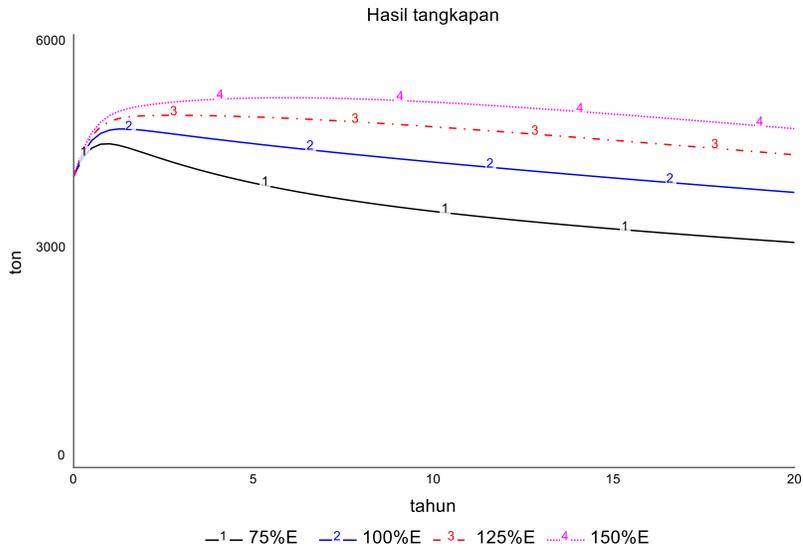
dengan skenario ke-2 dan skenario ke-3. Namun demikian pengurangan upaya penangkapan bagi kapal yang beroperasi di Teluk Saleh seyogyanya dilakukan dengan hati-hati, seperti dengan mempertimbangkan berbagai kriteria teknis (seperti efisiensi kapal) dan non-teknis. Secara teori, kebijakan ini akan efektif apabila didukung penuh oleh nelayan, karena mereka dapat dengan mudah membatasi tingkat upaya (*effort*) penangkapan. Namun yang perlu diperhatikan adalah bagaimana tataran operasional dari kebijakan tersebut.

Tabel 30 Nilai variabel jumlah hari melaut (hari per tahun)

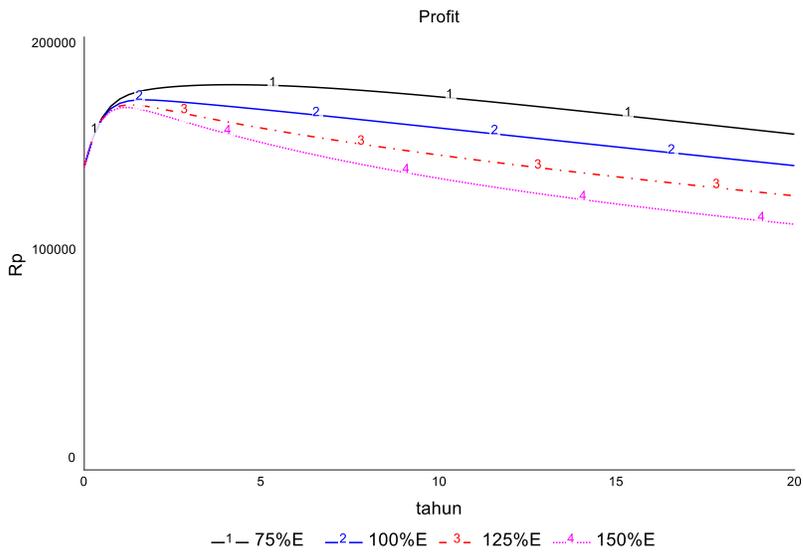
Skenario ke-	Jumlah hari melaut dari <i>effort</i> eksisting (persen)
1	50
2	75
3	100
4	125
5	150
6	175
7	200



Gambar 40 Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap biomas ikan



Gambar 41 Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap hasil tangkapan



Gambar 42 Simulasi perubahan upaya penangkapan terhadap keuntungan nelayan

Tabel 31 Analisis *cost-benefit indicators* menggunakan *trade-off analysis* untuk variabel upaya penangkapan

Kriteria	Satuan	Skenario				
		1	2	3	4	
<i>The effects table</i>	Biomasa ikan	ton/tahun	6.402,5	6.021,3	5.688,8	5.398,6
	Hasil tangkapan*	ton/tahun	3.642,6	4.223,2	4.639,7	4.930,4
	Upaya tangkapan*	hari/tahun	.	1027056	1197585	1347823
	Keuntungan	Rp/kapal/hari	168.034	156.066	145.625	136.513
Skor tanpa pembobotan	Biomasa ikan	persen	100	62	29	0
	Hasil tangkapan*	persen	100	55	23	0
	Upaya tangkapan*	persen	100	62	29	0
	Keuntungan	persen	100	62	29	0
Rerata skor	persen	100	60	27	0	
Peringkat		1	2	3	4	

\*Kriteria sebagai "cost" karena hasil tangkapan melebihi MSY sebesar 4.123 ton (*overfishing*) dan upayanya melebihi upaya MSY 959.659 hari

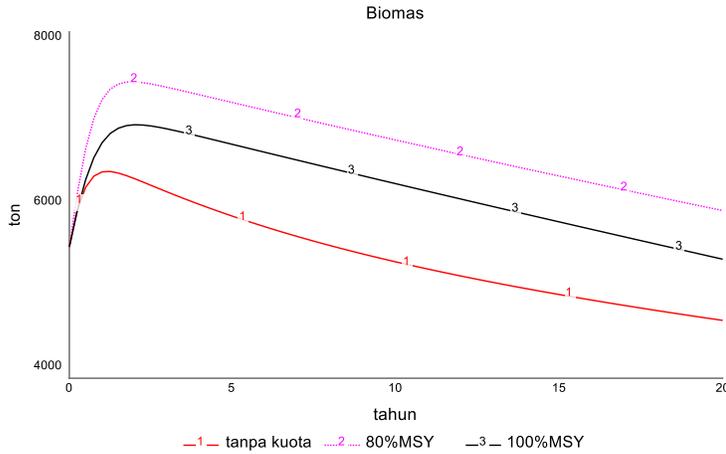
Pendekatan pengelolaan perikanan berbasis pengendalian keluaran (output) digunakan dalam penelitian ini adalah kebijakan pemberian jumlah ikan tangkapan yang diperbolehkan (JTB) terhadap jumlah ikan pada kondisi lestari (Tabel 31) yang dalam konteks ini disebut sistem kuota penangkapan (*quota management systems*). Dalam model dinamika system ini, variabel kuota dapat disesuaikan berdasarkan tangkapan sebelumnya untuk mencapai hasil maksimum yang berkelanjutan (MSY) (Dew 2001) dengan melakukan simulasi berupa tanpa kuota, 80 persen terhadap MSY, dan 100 persen terhadap MSY. Instrumen kuota terhadap hasil tangkapan ini dianggap mampu mereduksi fenomena *race for fish* yang sering terjadi pada perikanan (Fauzi 2004) yang bersifat akses terbuka. Variabel ini dipilih mempertimbangkan nilai sensitivitas dan kondisi perikanan di Teluk Saleh yang sampai saat ini tidak diberlakukan kuota penangkapan.

Tabel 32 Nilai variabel kuota terhadap MSY

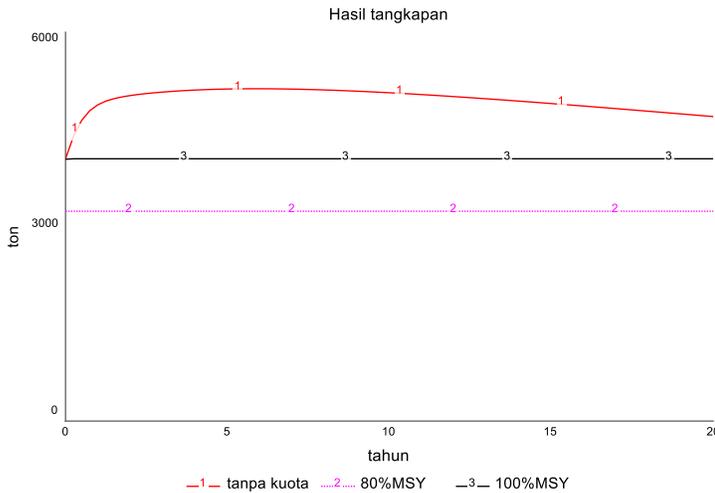
Simulasi ke-	Kuota (persen)
1	Tanpa kuota
2	80
3	100

Hasil simulasi dari masing-masing skenario tersebut terhadap biomas, hasil tangkapan, keuntungan nelayan, dan upaya, secara berurutan disajikan dalam Gambar 43, Gambar 44, Gambar 45, dan Gambar 46. Gambar 43 menampilkan hasil simulasi pengaruh penerapan kuota terhadap biomas ikan kerapu di Teluk Saleh. Tanpa adanya kuota, biomas ikan berada pada level paling rendah jika dibandingkan dengan kondisi yang menerapkan kuota penangkapan. Sebaliknya, penerapan sistem kuota penangkapan ternyata mengakibatkan terjadinya penurunan hasil tangkapan yaitu menjadi sebesar kuota tersebut (3.238 ton untuk kuota 80 persen terhadap MSY dan 4.124 ton

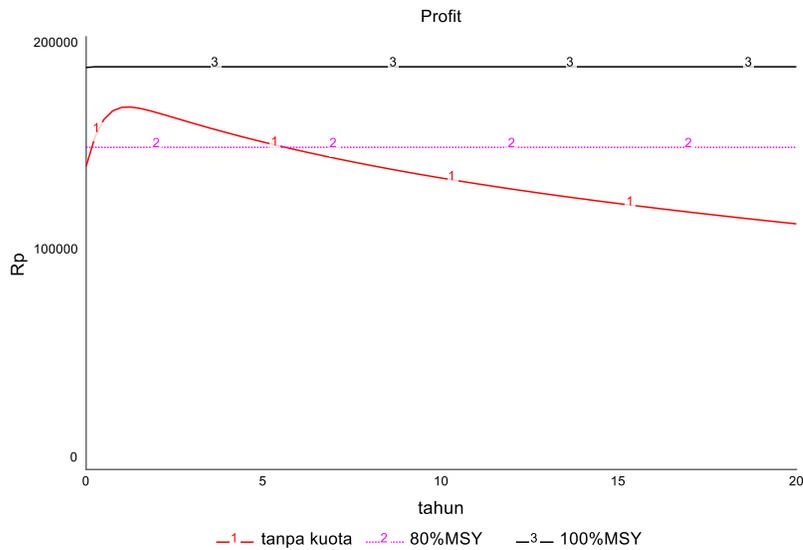
saat kuota 100 persen dari MSY) namun kebijakan ini akan berdampak pada peningkatan keuntungan yang diraup, masing-masing Rp148.933 per trip (kuota 80 persen terhadap MSY) dan Rp186.160 per trip (kuota sebesar MSY). Hal ini membuktikan teori bahwa dengan penerapan kebijakan kuota ikan tersebut berarti terjadi pengurangan produksi yang akan menyebabkan peningkatan harga jual ikan. Sebagai dampak kenaikan harga tersebut, instrumen penetapan kuota akan menyebabkan kurva penerimaan (TR) membesar yang pada gilirannya dalam kondisi akses terbuka akan menambah upaya penangkapan (Fauzi 2004).



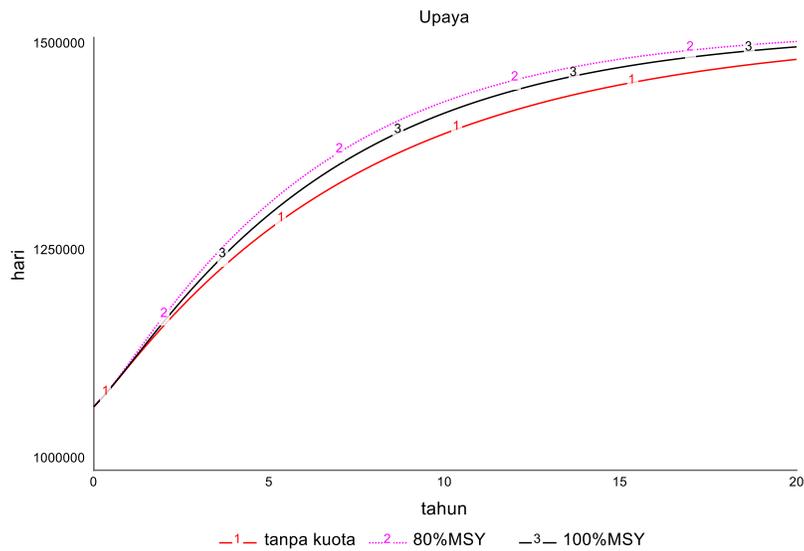
Gambar 43 Simulasi kebijakan kuota terhadap biomas ikan



Gambar 44 Simulasi kebijakan kuota terhadap hasil tangkapan



Gambar 45 Simulasi kebijakan kuota terhadap keuntungan nelayan



Gambar 46 Simulasi kebijakan kuota terhadap upaya penangkapan

Perhitungan nilai optimal dan semua simulasi untuk variabel kuota penangkapan terhadap biomas ikan, hasil tangkapan, upaya penangkapan, dan keuntungan per kapal menggunakan tiga skenario tersebut. Tabel 33 menampilkan gambaran bahwa kondisi biomas akan meningkat ketika diberlakukan kuota. Pada saat biomas tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan rata-rata hasil tangkapan. Namun demikian, peningkatan hasil

tangkapan tersebut dibatasi JTB, misalnya sebesar MSY yaitu 4.048 ton, karena kapasitas cukup maka rata-rata keuntungan yang diperoleh juga paling tinggi (Rp186.160 per trip) dibandingkan dengan skenario lainnya. Penurunan JTB sebesar 80 persen dari MSY akan berdampak pada peningkatan biomas paling banyak dari skenario yang lain, sedangkan rata-rata keuntungan yang diterima per unit kapal tetap stabil. Hal ini sesuai juga dengan hasil simulasi yang dilakukan Garrity (2011). Namun dalam prakteknya, kebijakan ini perlu didukung dengan kajian yang mendalam (JTB berbasis sains), pendekatan kehati-hatian di tengah keterbatasan informasi, dan pengawasan yang ketat. Studi yang dilakukan Rammelt dan Schie (2016) menjelaskan bahwa dari perspektif ekologi, kebijakan tersebut memiliki tingkat kesuksesan sedikit dan itupun hanya terjadi pada nilai kuota yang rendah.

Tabel 33 Analisis *cost-benefit indicators* variabel kuota penangkapan menggunakan *trade-off analysis*

Kriteria	Satuan	Skenario			
		1	2	3	
<i>The effects table</i>	Biomasa ikan	ton/tahun	5.398	6.645	6.157
	Hasil tangkapan*	ton/tahun	4.931	3.238	4.048
	Upaya*	trip/tahun	833643	1027056	1197585
	Keuntungan	Rp/kapal/hari	136.513	148.933	186.160
Skor tanpa pembobotan	Biomasa ikan	persen	0,0	100,0	61,0
	Hasil tangkapan	persen	0,0	100,0	52,0
	Upaya*	persen	100,0	47,0	0,0
	Keuntungan	persen	0,0	25,0	100,0
Rerata skor	persen	25,0	68,0	53,0	
Peringkat		3	1	2	

\*Kriteria sebagai "cost" karena hasil tangkapan melebihi MSY sebesar 4.123 ton (*overfishing*) dan upayanya melebihi upaya MSY 959.659 hari.

#### 7.4.6 Skenario Kebijakan

Dari rangkaian analisis sensitivitas dan nilai optimal pada berbagai simulasi dapat diformulasikan empat skenario alternatif kebijakan perikanan kerapu di Teluk Saleh yang yang dieksplorasi dan memberikan berdampak terhadap kondisi ekologi dan tekno-ekonomi. Skenario pertama merepresentasikan kondisi *bussiness as usual* (Skenario A), pembatasan effort sebesar 75 persen dari kondisi kekinian (Skenario B), pengaturan jumlah ikan tangkapan yang boleh ditangkap sebesar 80 persen dari MSY (Skenario C), dan kombinasi dari pembatasan input dan output tersebut (Skenario D). Keempat ini didetailkan pada Tabel 34.

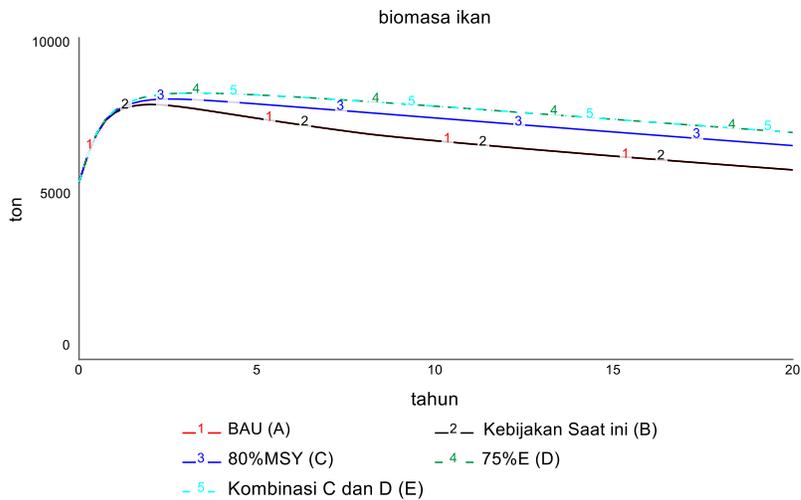
Tabel 34 Pilihan kebijakan berbasis skenario

Skenario	Upaya / hari melaut	Kuota	Keterangan
A	Status quo (100 persen)	Tanpa kuota	<i>Bussiness as usual</i> (BAU)
B	-	99,8 persen*	Kebijakan saat ini (PERGUB)
C	-	80 persen	Pembatasan effort (hari melaut)
D	75 persen	-	Pembatasan kuota
E	75 persen	80 persen	Kombinasi skenario C dan D

\* besarnya persentase ikan yang memenuhi *legal size* terhadap total tangkapan (Bab IV).

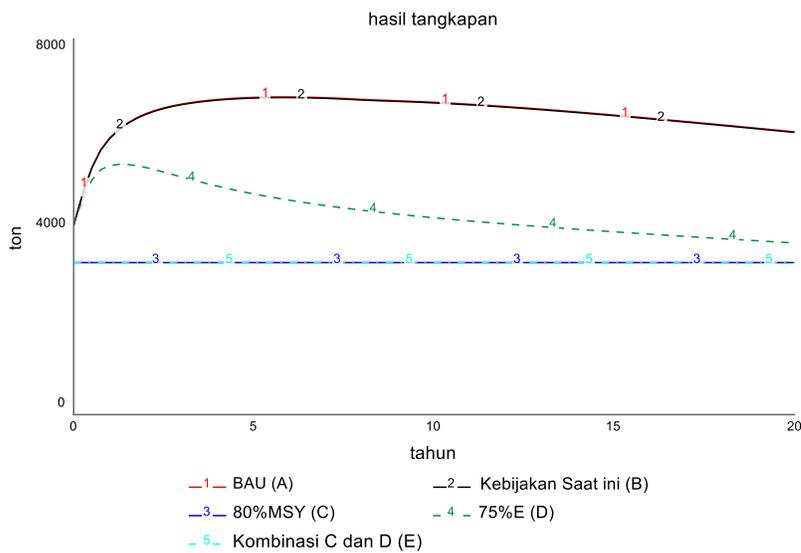
Dalam eksperimen simulasi komputer dengan *software* Stella Architect Version 2.1.1 yang dilakukan terlihat dampak penerapan kebijakan tersebut terhadap biomas, hasil tangkapan dan keuntungan nelayan dapat diprediksi melalui sistem dinamis. Pengaruh tiap-tiap pilihan kebijakan terhadap kondisi biomas, hasil tangkapan, profit, dan upaya yang diterima nelayan secara visual tersaji secara berurutan pada Gambar 47, Gambar 48, Gambar 49, dan Gambar 50. Tampak dari Gambar 41 bahwa populasi (biomas) ikan pada skenario pertama (Skenario A) paling tinggi.

Pada kondisi *status quo* tersebut, tidak ada upaya pembatasan penangkapan baik melalui pembatasan kapal dan kuota penangkapan yang akibatnya nelayan akan berusaha menangkap ikan di laut sebanyak mungkin. Fenomena ini dikenal sebagai “*race for fish*”, yaitu perlombaan menangkap ikan yang ditandai dengan persaingan yang menguras stok ikan yang terbatas sehingga para nelayan saling berkompetisi untuk mendapatkan ikan sebanyak mungkin dari stok ikan yang tersedia (Madsen 2020). Hal ini mengingatkan pada analogi konsep *the tragedy of the commons* (Hardin 1968) bahwa tidak adanya *property rights* dalam menguasai sumberdaya perikanan yang bersifat milik bersama (*common-pool resources*) menyebabkan setiap pelaku usaha mencoba untuk mengekstraksi sumberdaya tersebut secara maksimal (*maximize their benefit*). Tanpa regulasi, malapetaka tersebut terjadi karena keuntungan dari eksploitasi hanya dinikmati secara egois oleh individu tertentu, sedangkan dampak dari eksploitasi akan terdistribusi ke semua orang yang juga memanfaatkan sumberdaya tersebut, di atas ambang tingkat populasi perikanan yang *sustainable* (*overexploited*) terutama ketika tanpa disertai insentif bagi para pelaku tersebut. Tingginya intensitas penangkapan juga disebabkan oleh permintaan ikan kerapu sebagai komoditas ekonomis penting yang terus meningkat dan harga ikan kerapu sunu yang relatif tinggi dibanding ikan lainnya (sekitar 100-300 ribu rupiah per kg). Ikan dengan kualitas ekspor tersebut kemudian dibawa ke Bali untuk selanjutnya dikirim ke Hongkong, China, dan Taiwan.

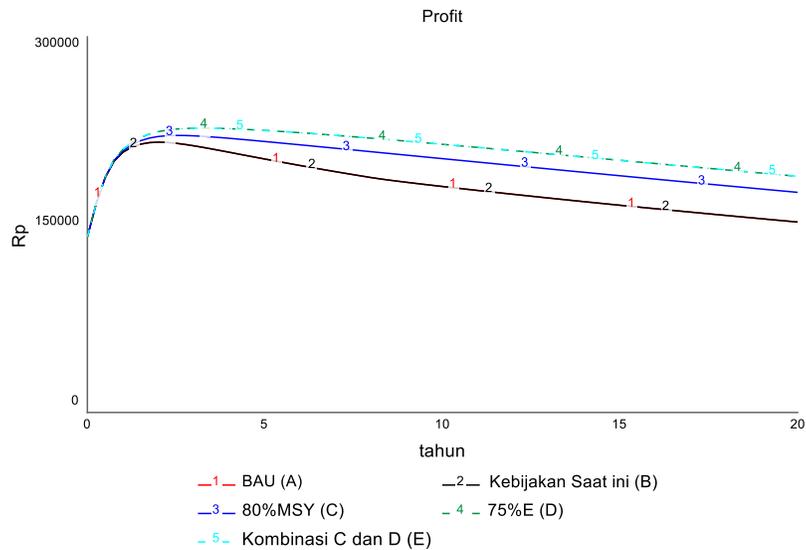


Gambar 47 Dampak skenario kebijakan terhadap biomas

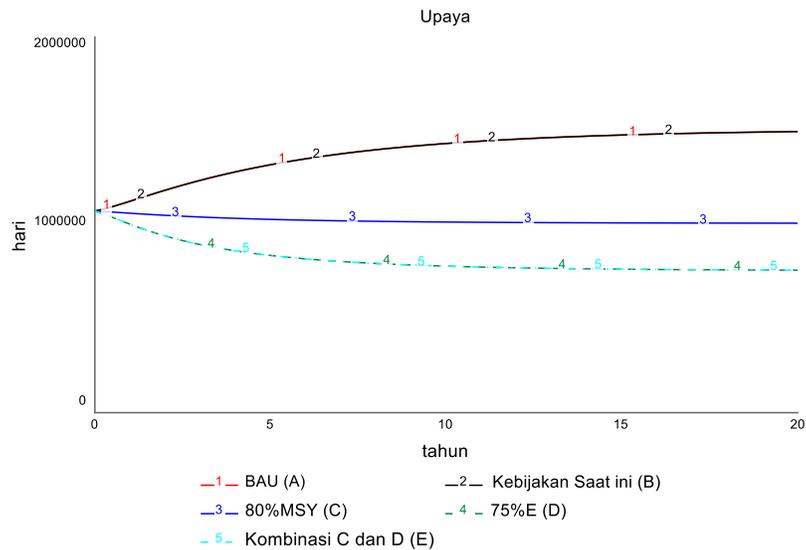
Simulasi skenario pembatasan hari melaut sebesar 75 persen dari kondisi saat ini (Skenario ke-2) berdampak pada peningkatan jumlah biomasa ikan dan mencapai puncaknya pada tahun 2021, yaitu sebesar 8.247,0 ton. Walaupun pada tahun berikutnya biomas cenderung menurun hingga mencapai 7.330,8 ton pada akhir simulasi, skenario ini mempunyai nilai biomas paling tinggi dibanding skenario yang lainnya.



Gambar 48 Dampak skenario kebijakan terhadap hasil tangkapan



**Gambar 49 Dampak skenario kebijakan terhadap keuntungan**



**Gambar 50 Dampak skenario kebijakan terhadap upaya**

Dari rangkuman hasil simulasi dan nilai optimal berbagai skenario tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kebijakan prioritas melalui pendekatan *trade-off analysis*. Analisis ini memberikan pemahaman yang lebih baik bagi pengambil keputusan mengenai besarnya manfaat yang mungkin diperoleh dari berbagai pilihan kebijakan alternatif yang ada. Indikator tersebut penting dapat dijadikan bahan pembuatan keputusan

pengelolaan ke depan berdasarkan pilihan skenario dalam rangka melengkapi kebijakan yang saat ini diterapkan.

Tabel 35 Analisis *cost-benefit indicators* berbagai skenario kebijakan menggunakan *trade-off analysis*

Kriteria	Satuan	Skenario					
		A	B	C	D	E	
<i>The effects table</i>	Biomasa ikan	ton/tahun	6.711,4	6.711,4	7.337,4	7.647,7	7.647,7
	Hasil tangkapan*	ton/tahun	6.349,9	6.377,2	3.238,4	4.278,2	3.238,5
	Upaya*	trip/tahun	1379923	1379923	1023699	821251	821251
	Keuntungan	Rp/kapal/hari	179.619	179.619	197.390	207.132	207.132
Skor tanpa pembobotan	Biomasa ikan	persen	0,0	0,0	64,6	100,0	100,0
	Hasil tangkapan*	persen	0,0	0,4	100,0	66,6	100,0
	Upaya*	persen	0,0	0,0	63,8	100,0	100,0
	Keuntungan	persen	0,0	0,0	64,6	100,0	100,0
Rerata skor	persen	0,0	0,1	73,2	91,6	100,0	
Peringkat			5	4	3	2	1

Melalui pemeringkatan diketahui bahwa skenario E lebih unggul dibanding skenario A, B, C, dan E (Tabel 29). Hal ini dapat diamati bahwa dampak perubahan upaya penangkapan lebih baik dalam mempertahankan jumlah populasi ikan (rerata 7.647,7 ton per tahun). Melalui Tabel 35 dapat diamati bahwa skenario D ternyata memiliki biomas tertinggi dengan jumlah *effort* paling rendah). Hal ini dimungkinkan dengan hanya melakukan pembatasan jumlah tangkapan memberikan kesempatan ikan untuk tumbuh mencapai usia matang dan bereproduksi. Namun, rerata skor dari berbagai indikator yang dihitung Skenario E terpaut sedikit dengan Skenario D, bahkan dari segi besarnya hasil tangkapan yang didapat jauh lebih tinggi (Rp3.238,5) dibandingkan dengan Skenario D (4.278,2). Sehingga skenario yang perlu diprioritaskan adalah Skenario D dengan pengurangan jumlah hari melaut sebesar 75 persen dari kondisi saat ini. Langkah pembatasan jumlah kapal relatif mudah dilaksanakan, seperti melalui beberapa cara berikut :

- pembatasan jumlah kapal aktif beroperasi menjadi 2.394 kapal atau berkurang 75 persen dari 3.192 kapal yang ada saat ini,
- pengurangan jumlah hari melaut untuk setiap kapal menjadi 18 hari per bulan dari biasanya 24 hari per bulan (waktu penangkapan dikurangi sebanyak 6 hari per bulan),
- penutupan musim penangkapan selama tiga bulan (90 hari) dalam setahun. Hal ini disesuaikan dengan musim pemijahan ikan kerapu pada periode waktu tertentu.

Meskipun secara ekonomi, upaya pengurangan upaya penangkapan tersebut mampu mencegah efek depopulasi ikan, meningkatkan hasil tangkapan, dan memberikan keuntungan paling optimal akan tetapi dampak sosial yang ditimbulkan jauh lebih besar seperti pengangguran dan faktor resistensi nelayan sala kecil yang terampak. Oleh karena itu penerapan kebijakan ini perlu memperhatikan skema insentif bagi nelayan yang terdampak seperti memberikan kompensasi dan mata pencaharian alternatif.

## 7.5 Simpulan dan Saran

### 7.5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis sistem dinamik pada pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Model dinamik dapat mensimulasikan perubahan intervensi kebijakan pengelolaan perikanan secara temporal dan memprediksi dampaknya baik secara ekologi maupun ekonomi secara simultan.
- b. Perubahan pengaturan dan pengelolaan seperti pengurangan jumlah hari melaut ternyata memberikan dampak signifikan terhadap kondisi biologi (biomas ikan) dan bioekonomi perikanan (hasil tangkapan dan keuntungan usaha penangkapan ikan), berbeda halnya dengan pengaturan kuota penangkapan yang hanya berdampak signifikan pada saat mencapai 80 persen dari produksi lestari (MSY).
- c. Skenario pengaturan jumlah hari melaut sebesar 75 persen (Skenario D) merupakan alternatif kebijakan yang paling ideal dibanding skenario yang lainnya, akan tetapi dalam praktiknya memerlukan pengawasan dan monitoring serta perlu menyediakan alternatif pekerjaan bagi nelayan yang terdampak pembatasan kegiatan penangkapan.

### 7.5.2 Saran

Walaupun pemodelan dinamika dianggap mampu mensimulasikan beberapa skenario dan dapat memilih skenario terbaik dalam pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh, terdapat beberapa keterbatasan yang berpotensi dapat menyebabkan kegagalan dalam penggunaannya, yaitu:

- a. model mengagregasi semua lokasi pendaratan ikan di Teluk Saleh dan tidak dirinci menurut kapal aktif penangkapan ikan di setiap lokasi berdasarkan alat tangkap, kapasitas penangkapan dan efisiensi usaha penangkapan.
- b. beberapa parameter model didasarkan pada asumsi “modeler” dan tidak memasukan unsur ketidakpastian (*uncertainty*) seperti kondisi pandemik COVID sehingga perlu perbaikan dalam peningkatan presisi terutama dalam memprediksi perilaku dinamika populasi ikan dan kesejahteraan nelayan di masa yang akan datang.
- c. model tersebut bukan merupakan *agent-based model* yang dapat mensimulasikan perilaku agen (kapal atau nelayan).

Oleh karena itu diperlukan saran sebagai berikut:

- a. Diperlukan tambahan data *spreadsheets* yang lebih lengkap dan representatif dari setiap area termasuk unsur ketidakpastian.
- b. Opsi-opsi kebijakan perlu diujikan dan dikonsultasikan kepada pihak terkait untuk menghindari kemungkinan penolakan dikemudian hari ketika skenario tersebut direkomendasikan.

## VIII PEMBAHASAN UMUM

Tantangan yang menarik dalam konteks pengelolaan perikanan dewasa ini adalah kompleksitas interaksi antara komponen biofisik dan sosial ekonomi. Hal ini tidak mengherankan, karena pada dasarnya tujuan dari sebuah pengelolaan perikanan adalah untuk menjamin keberlanjutan stok ikan dan menghasilkan manfaat ekonomi dalam bentuk rente dari usaha perikanan itu sendiri. Namun sayangnya banyak ikan kerapu tidak diketahui status stoknya, khususnya untuk perikanan skala kecil di Indonesia (Halim *et al.* 2020) dan tidak dikelola dengan baik sehingga mengancam kelestarian sumberdaya ikan tersebut. Begitupun dengan aspek ekonomi dalam mendukung kebijakan pengelolaan masih belum banyak dilakukan. Melihat kompleksitas dan dinamika permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan perikanan kerapu di Teluk Saleh, penelitian ini didesain untuk menghasilkan indikator performa pengelolaan perikanan kerapu dengan menggunakan pendekatan *interdisciplinary* (biologi dan ekonomi) dan *multi-analysis* di tingkat makro-mikro untuk membuat skenario untuk menggambarkan pemahaman tentang dinamika sistem dan model berbasis agen sehingga menghasilkan formulasi kebijakan pengelolaan perikanan berkelanjutan yang dapat diterima oleh pelaku kepentingan.

Berdasarkan hasil telaah perikanan kerapu sebelumnya menunjukkan bahwa perikanan jenis ini telah berkembang secara intensif dengan menggunakan alat tangkap utama adalah pancing rawai, pancing ulur, dan panah dengan kapal yang berukuran kurang dari 5 *gross tonnage*. Bukti empiris tersebut setidaknya memberikan gambaran bahwa karakteristik perikanan kerapu di Teluk Saleh termasuk dalam kategori perikanan skala kecil yang beroperasi hampir sepanjang tahun. Namun aktivitas penangkapan sangat menurun selama musim barat (bulan Desember-Maret). Komposisi alat tangkap yang digunakan mengalami perubahan terutama jumlah penggunaan panah (*speargun fishing*), dari 47 persen (tahun 2017) menjadi 27 persen (tahun 2019). Penurunan jumlah panah disebabkan salah satunya dari penerapan PERGUB terutama pasal 10 yang secara terang menyatakan larangan penggunaan alat/bahan seperti bahan peledak, potasium, setrum/listrik, kompresor serta alat bantu penangkapan ikan yang merusak lingkungan memberikan dampak pada meningkatnya panjang minimum ikan yang tertangkap dibandingkan dengan panjang ikan minimum sebelum kebijakan diberlakukan (Agustina *et al.* 2019c). Memang faktanya, penangkapan ikan menggunakan panah dengan alat bantu kompresor tidak bersifat selektif dengan hasil tangkapan didominasi ikan ukuran kecil (*immature*) dan memiliki jumlah trip serta anak buah kapal juga lebih banyak dibanding alat tangkap pancing.

Dengan keterbatasan data (*data limited*), hasil penelitian dengan menggunakan *length-based analysis* diperoleh informasi bahwa tingkat eksploitasi dari ketiga jenis ikan kerapu yang diteliti telah mencapai diatas 0,5 kecuali *Plectropomus maculatus*. Tingkat pemanfaatan yang *fullyexploited* terjadi pada jenis ikan *Plectropomus leopardus* (0,59) dan *Epinephelus coioides* (0,51). Hasil tersebut diperkuat dengan pendugaan status stok pemanfaatan sumber daya ikan yang menggunakan model estimasi *spawning potential ratio* (SPR). Nilai SPR yang tinggi seperti pada jenis *Plectropomus maculatus* (0,25)

menggambarkan populasi ikan tersebut dalam kondisi sehat dan cukup matang melakukan reproduksi. Nilai SPR *Plectropomus leopardus* (kerapu sunu halus) dan kerapu lumpur (*Epinephelus coioides*) berada di bawah *limit reference point* yang menunjukkan status stok yang *overexploited* sehingga dibutuhkan tindakan pengelolaan segera. Estimasi nilai SPR ikan kerapu sunu halus sebesar 0,19 pada tahun 2019 menurun dibandingkan dengan nilai SPR pada tahun 2017 sebesar 0,24, hal ini berarti tekanan penangkapan semakin besar dan paling besar dibandingkan dengan spesies yang lainnya. Permasalahan tersebut disebabkan oleh harga ikan kerapu sunu yang relatif tinggi dibanding ikan lainnya (sekitar 200-300 ribu per kg) untuk ukuran sampai dengan 1 kg per ekor. Hal ini akibat dari terus meningkatnya permintaan ikan kerapu sunu sebagai komoditas ekonomis penting di pasar *seafood* dunia (Khasanah *et al.* 2019b). Motif ekonomi demi memenuhi kebutuhan hidup nelayan menyebabkan mereka mengabaikan kelestarian dan kurang memiliki kepedulian terhadap status stok ikan kerapu tersebut. Walaupun umumnya, sebagian besar nelayan menyatakan persetujuan dan mempunyai pemahaman dan keinginan yang kuat untuk mematuhi pengelolaan perikanan ini secara berkelanjutan.

Tingginya intensitas penangkapan ikan kerapu di Teluk Saleh juga dapat terlihat dari hasil analisis yang menggunakan *surplus production model*. Perikanan tersebut diduga telah mengalami *overfishing*, dengan tingkat upaya aktual sebesar 1.008.000 hari (untuk semua alat tangkap) melebihi upaya pada kondisi pemanfaatan potensi lestari (*maximum sustainable yield*) dan ekonomi lestari (*economic sustainable yield*), yaitu masing-masing secara berurutan sebesar 959.659 hari dan 827.457 hari. Tingkat upaya berlebih tersebut menyebabkan terjadinya inefisiensi penangkapan secara teknis. Secara spasial, kegiatan penangkapan terkonsentrasi di sekitar Kawasan Konservasi Pulau Rakit dengan koordinat antara 117<sup>0</sup>55'-118<sup>0</sup>05' BT dan 8<sup>0</sup>30'-8<sup>0</sup>40' LS atau area penangkapan seluas 18,52 × 18,52 km. Sementara itu, daerah penangkapan yang produktif lainnya terletak di posisi 117<sup>0</sup>40'-117<sup>0</sup>45' BT 8<sup>0</sup>20'-8<sup>0</sup>30' LS atau seluas 9,26 × seluas 9,26 km yang terletak di KKP Pulau Liang, Pulau Ngali dan perairan sekitarnya. Kegiatan penangkapan di area padat tangkap yang berlebihan apabila dilakukan tanpa kontrol akan berdampak pada ancaman terhadap status stok.

Dari uraian diatas terlihat bahwa penangkapan disamping adanya dampak positif tindakan pengelolaan sebagaimana diatur dalam PERGUB terhadap beberapa spesies ikan kerapu, perikanan kerapu di Teluk Saleh masih menghadapi tantangan dalam prakteknya. Bagi ikan kerapu sunu, tampaknya kebijakan yang ditempuh saat ini belum cukup efektif untuk mendorong tumbuhnya pengelolaan sumber daya perairan yang berkelanjutan. Kecenderungan terjadinya penurunan populasi (biomas) ikan tersebut yang diperkirakan masih akan terus terjadi. Hal ini mengindikasikan perlunya upaya-upaya lain selain kegiatan yang menasar aspek teknis tersebut, diperlukan juga tindakan pengelolaan dengan melibatkan aspek lainnya seperti sosial dan ekonomi. Dalam melakukan upaya teknis seperti pengaturan penangkapan tersebut, diperlukan upaya lain yang berkaitan dengan peningkatan pemahaman melalui kegiatan sosialisasi dalam rangka meningkatkan kesadaran dan pemahaman publik (khususnya nelayan) dan mendorong partisipasi nelayan tentang pentingnya keberlanjutan sumberdaya ikan yang dapat menjamin peningkatan kesejahteraan nelayan. Upaya sosialisasi secara masif tentang instrumen pengelolaan terus dilaksanakan sehingga menjadi *rules of the game*

untuk merubah aktivitas kebiasaan nelayan penangkap kerapu, tidak dianggap sebagai *rules-in-form* (normatif) semata (Ostrom 2005). Selain itu, pemerintah Provinsi bersama DPRD perlu memperkuat kelembagaan pengelolaan berupa regulasi, pengawasan, penegakan hukum, dan kelembagaan lokal dalam rangka meningkatkan efektivitas pengelolaan perikanan kerapu tersebut.

Namun dengan mempertimbangkan beberapa pendekatan pengelolaan di atas dan pendekatan *bottom-up*-nya *agent-based modeling* yang dipadukan dengan analisis dinamika sistem yang bersifat *top-down*, maka terdapat tiga skenario alternatif pengelolaan perikanan kerapu secara teknis yang layak direkomendasikan dan dipertimbangkan untuk diputuskan lebih lanjut, yaitu:

- a. Kebijakan penurunan upaya penangkapan hingga 75 persen dari kondisi saat ini dalam kerangka *total allowable effort* (TAE).

Pembatasan upaya penangkapan dapat dilakukan berdasarkan data jumlah alokasi trip optimal secara spasial dan temporal (musim penangkapan) pada masing-masing daerah penangkapan (*spatial bioeconomic*). Berdasarkan analisis baik *agen-based model* maupun dinamika sistem, opsi ini memberikan konsekuensi rente ekonomi dan biomasa ikan pada level tertinggi dibandingkan dengan skenario yang lainnya. Penerapan skenario pengurangan upaya penangkapan sebesar 75 persen dapat mempertahankan upaya penangkapan pada tingkat optimal sebesar 821.251 hari (mendekati MEY sebesar 850.504), populasi relatif terjaga dan keuntungan dapat diperoleh melebihi kondisi tanpa pengelolaan (*business as usual*). Hal ini membuktikan bahwa kedua analisis tersebut saling mengkonfirmasi dan menguatkan bahwa skenario pengurangan upaya penangkapan merupakan opsi terbaik dan layak untuk dipertimbangkan.

- b. Kebijakan penutupan musim selama tiga bulan dalam kerangka *total allowable effort* (TAE).

Selain dengan menerapkan skenario pengurangan upaya dalam konteks TAE, salah satu opsi yang perlu dipertimbangkan dilakukan secara bersamaan adalah dengan melakukan penutupan kegiatan penangkapan selama tiga bulan. Penutupan musim penangkapan terutama dilakukan pada saat musim pemijahan yaitu sekitar bulan April-Mei dan September (Efendi *et al.* 2020) dan diterapkan di daerah penangkapan ikan yang diduga sebagai habitat penting bagi spesies yang berasosiasi dan berfungsi sebagai *spawning aggregating sites*, daerah pengasuhan dan pemijahan sehingga memberi peluang yang lebih besar bagi ikan kerapu untuk dapat tumbuh dan berkembang biak.

- c. Kombinasi skenario kebijakan penetapan jumlah tangkapan yang diperbolehkan (*total allowable catch* atau *TAC*) dengan Skenario *total allowable effort* (TAE).

Kebijakan penetapan TAC biasanya ditujukan untuk membatasi penangkapan yang berlebihan di bawah potensi lestariannya. Untuk mendapatkan kuota penangkapan diperlukan dukungan data *stock assessment* yang memadai sehingga diperoleh angka estimasi potensi kelompok sumberdaya tersebut. Berdasarkan hasil analisis dinamika sistem dan *agent-based model*, skenario perpaduan antara penerapan TAC denan TAE akan layak dipertimbangkan karena memiliki manfaat tinggi baik dari sisi kondisi sumberdaya maupun aspek ekonomi.

Adanya skenario pengelolaan yang berbeda dapat memberikan gambaran kepada pengelola kawasan terkait prioritas dan bertahap didalam pengelolaan (Kusumo 2020). Sehingga skenario yang dipilih untuk diterapkan secara bertahap, didalam upaya untuk mengefektifkan anggaran pelaksanaannya dan sumberdaya. Pada tahap pertama adalah dilakukan kebijakan pengurangan upaya penangkapan ikan.

Skenario di atas dapat ditempuh asalkan memenuhi persyaratan dengan mengedepankan prinsip kehati-hatian (*precautionary approach*), seperti:

- a. Adanya komitmen dan upaya dari pemerintah daerah dan lembaga terkait untuk melanjutkan *monitoring program*, peningkatan efektivitas kegiatan evaluasi tahunan terhadap rencana pengelolaan. Penyediaan data yang memadai (*data-rich*), presisi dan akurat diperlukan dalam membuat keputusan rasional dan ilmiah terkait dengan status stok (TAC) dan tingkat pemanfaatan (TAE) sumberdaya perikanan, sehingga nilai *reference* tersebut tidak *overestimate* atau *underestimate* dan diterima dengan baik oleh pelaku usaha.
- b. Perlu dipertimbangkan secara realistis dengan memperhatikan dampak sosial-ekonomi yang ditimbulkan sebagai implikasi dari pilihan kebijakan tersebut seperti pengangguran, kemiskinan, konflik sosial dan lain-lain. Skema insentif kepada nelayan yang terdampak kebijakan perlu dipastikan pelaksanaannya seperti berupa bantuan alat tangkap ramah lingkungan, penyediaan sumber pendapatan alternatif dan insentif di luar kegiatan perikanan (beasiswa, penghargaan, perbaikan lingkungan, dan lain-lain).
- c. Skenario yang dibangkitkan dari model tersebut perlu didiskusikan lebih lanjut dengan stakeholder kunci melalui konsultasi publik atau forum ilmiah pada saat evaluasi rencana pengelolaan perikanan kerapu tahunan untuk mendorong partisipasi dan menghindari resistensi dikemudian hari ketika opsi tersebut ditetapkan secara legal.
- d. Perlu penyiapan atau penguatan infrastruktur kelembagaan pengelolaan berupa regulasi, pengawasan, penegakkan hukum, dan kelembagaan lokal (*co-management*) dalam rangka meningkatkan efektivitas pengelolaan perikanan kerapu. Regulasi, pengawasan dan institusi lokal merupakan tiga dari lima atribut kelembagaan yang sangat menentukan keberhasilan keberlanjutan pengelolaan sumberdaya yang bersifat *common-pool resources* (Agrawal, 2003). Regulasi harus diperkuat dalam bentuk Peraturan Daerah terkait pengelolaan perikanan kerapu, pengawasan (*surveillance*) berikut ketentuan sanksi hukum yang tegas bagi pelaku yang melanggar termasuk pelaku. Upaya yang lebih teknis perlu ditempuh melalui peningkatan kapasitas sumber daya manusia dan penyediaan sarana dan teknologi mutakhir pengawasan. Selain itu, partisipasi masyarakat dalam pengawasan perlu ditingkatkan melalui penguatan kelompok masyarakat pengawas (POKMASWAS) dan peran *civil society* (WCS) sebagai mitra pemerintah dalam penegakkan hukum ditengah keterbatasan sumber daya manusia dan anggaran pemerintah.

## IX SIMPULAN DAN SARAN

### 9.1 Simpulan

Dari uraian fakta dan hasil analisis pada bab-bab terdahulu, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Kondisi perikanan kerapu di Teluk Saleh pada umumnya telah menunjukkan tingkat eksploitasi beberapa spesies telah melebihi 0,5 bahkan nilai estimasi SPR ikan kerapu sunu halus menunjukkan kecenderungan terjadinya penurunan populasi ikan di bawah *limit reference point* (status stok *overexploited*). Masifnya tekanan intensitas penangkapan semakin tinggi disebabkan tingginya upaya penangkapan akibat permintaan pasar domestik dan internasional yang terus meningkat mengarah pada sumberdaya yang memiliki resiko rentan (*vulnerable*).
- b. Secara ekonomi, perikanan kerapu di Teluk Saleh memperlihatkan telah mengindikasikan gejala *economic overfishing* yang dicirikan dengan jumlah hasil tangkapan aktual telah melewati titik *maximum sustainable yield* dan *maximum economic yield* dan apabila dibiarkan akan mengarah pada kondisi open akses. Selain itu, tingkat *effort* yang semakin meningkat dan secara teknis tidak efisien (inefisiensi) akan menambah biaya penangkapan sehingga rente ekonomi yang diperoleh jauh berkurang.
- c. Skenario kebijakan yang dianggap layak untuk diterapkan adalah kebijakan penurunan upaya penangkapan hingga 75 persen dari kondisi saat ini, penutupan musim penangkapan selama tiga bulan, dan kebijakan penetapan jumlah tangkapan yang diperbolehkan bersamaan dengan penurunan jumlah upaya (TAE).
- d. Skenario tersebut dipilih berdasarkan prioritas adalah pengurangan upaya penangkapan sebesar 75 persen dari kondisi saat ini yang dipadukan dengan penerapan tegas dari intervensi yang telah dibuat pemerintah daerah sebelumnya (pengaturan *legal size limit* dan pengaturan alat tangkap) yang pelaksanaannya perlu didukung dengan ketersediaan data yang memadai dan mempertimbangkan aspek sosial-ekonomi dan kelembagaan.

### 9.2 Saran

Kebijakan dan regulasi yang mengatur teknis penangkapan ikan kerapu saat ini tampaknya belum cukup efektif untuk mendorong tumbuhnya pengelolaan sumber daya perikanan yang berkelanjutan terutama di dalam konteks perikanan skala kecil di Teluk Saleh baik dilihat dari indikator performa biologi maupun ekonomi. Dari hasil kajian sebagaimana disajikan sebelumnya, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Sebuah kebijakan seharusnya didisain untuk menyasar dan merubah perilaku nelayan sebagai *agent* menjadi lebih berpartisipasi dan patuh terhadap aturan yang berlaku (sebagai *emergent behaviour*) yang bisa dilakukan dengan sosialisasi yang efektif dan pemberian insentif baik moneter maupun non-moneter.

- b. Hasil skenario dari model seperti pengaturan penutupan zona inti, *total allowable effort* (TAE), dan TAC, dapat dipresentasikan, direkomendasikan, dan didiskusikan kepada para pengambil kebijakan dan *stakeholder* terkait untuk kemudian dituangkan dalam rencana aksi bersama guna melakukan penyesuaian instrumen kebijakan secara adaptif (PERGUB) sehingga intervensi tersebut akan memberikan dampak yang sistemik bagi tercapainya tujuan pengelolaan berkelanjutan dan mensejahterakan.
- c. Kelembagaan pengelolaan perikanan kerapu ditingkatkan perannya melalui *co-management* dengan berbagi peran secara proporsional antara pemerintah dan masyarakat khususnya nelayan terutama terkait dengan penguatan data, monitoring, analisis data, pengawasan partisipatif, dan kemungkinan penerapan alternatif strategi pengelolaan termasuk dalam alokasi sumberdaya secara spasial.
- d. Meningkatkan instrumen kebijakan yang berbasis pasar (*market-based fisheries management*) dengan penerapan ekolabeling untuk memperoleh harga premium, kepastian ketelusuran (*traceability*), dan penggunaan alat tangkap yang *non-destructive fishing*.

Penelitian ini mempunyai sejumlah keterbatasan terutama tidak memasukan data panjang berat dan sex ratio ikan kerapu dalam pembuatan model. Hal ini terkait dengan keterbatasan data (*data-poor fisheries*) dan karakteristik biologi ikan kerapu yang berubah kelamin (*sex-reversal*). Penelitian lanjutan diharapkan dapat melakukan analisis histologi dan mengaplikasikannya dalam sub-model biologi sehingga dapat menangkap fenomena secara lebih komprehensif dan representatif. Dalam konteks data yang terbatas juga, penelitian ini tidak memasukan jenis kapal penangkap ikan yang digunakan seperti jaring, *speargun fishing*, *destructive fishing*; jenis kerapu berdasarkan spesies; jenis habitat dan luas tutupan karang dalam pemodelan dinamika dan berbasis agen. Sehingga diperlukan penelitian lanjutan dengan memasukan variabel tersebut dalam pemodelan. Terakhir, penelitian ini juga terbatas dalam menyajikan aspek kelembagaan local dan pemetaan jaringan sosial (*social net analysis*) dalam mendukung efektivitas pengelolaan kerapu secara berkelanjutan serta kemungkinan penerapan *co-management* atau desain pengelolaan akses area perikanan (PAAP) sebagai alternatif kebijakan yang diambil di Teluk Saleh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad DS, Ali SA, Sudirman, Indar YN. 2019. The gonad maturity development and spawning season of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) at Kwandang Bay, Gorontalo Province, Indonesia. *AACL Bioflux*. 12(2):642-649.
- Adams S. 2003. Morphological ontogeny of the gonad of three plectropomid species through sex differentiation and transition. *Journal of Fish Biology*. 63: 22–36.
- Adrianto L. 2005. Implementasi code of conduct for responsible fisheries dalam perspektif negara berkembang. *Indonesian Journal of International Law*. 2(3):463-482.
- Adrianto L. 2013. Konsep dan aplikasi teori tata kelola sumberdaya (resources governance) dalam pengelolaan ekosistem terumbu karang. Di dalam: Nikijuluw *et al.*, editor. *Coral Governance*. Bogor: IPB Press. 532 p.
- Agrawal A. 2003. Sustainable governance of common-pool resources: context, methods, and politics. *Annual Review of Anthropology*. 32:243–262.
- Agustina S, Natsir M, Boer M, Purwanto, Yulianto I. 2018. Parameter populasi kerapu sunu (*Plectropomus* sp.) dan opsi pengelolaannya di perairan Karimunjawa. *Marine Fisheries*. 9(2):119-131.
- Agustina S, Panggabean AS, Natsir M, Jimmi, Retnoningtyas H, Yulianto I. 2017. *Kondisi Stok Perikanan Kerapu dan Kakap Teluk Saleh, Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Bogor: Wildlife Conservation Society.
- Agustina S, Natsir M, Yulianto I. 2019a. *Analisis Data Perikanan dengan Perangkat R Studio*. Bogor: Wildlife Conservation Society. 76 p.
- Agustina S, Panggabean AS, Natsir M, Retnoningtyas H, Yulianto I. 2019b. Yield-per-recruit modeling as biological reference points to provide fisheries management of leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) in Saleh Bay, West Nusa Tenggara. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 278:012005, 7 p.
- Agustina S, Retnoningtyas R, Yulianto I. 2019c. *Evaluasi Implementasi Rencana Aksi Pengelolaan Perikanan Kerapu dan Kakap Berkelanjutan (P2K2B) Tahun ke-1*. Bogor: Wildlife Conservation Society.
- Akpalu W. 2008. Fishing regulations, individual discount rate, and fishermen behaviour in a developing country fishery. *Environment and development economics*. 13:591–606.
- Amorim P, Sousa P, Jardim E, Azevedo M, Menezes GM. 2020. Length-frequency data approaches to evaluate snapper and grouper fisheries in the Java Sea, Indonesia. *Fisheries Research*. 229:1-15.
- Amorim P, Sousa P, Jardim E, Menezes GM. 2019. Sustainability status of data-limited fisheries: global challenges for snapper and grouper. *Frontiers in Marine Science*. 6:654, 17 p.
- Anderies JM, Janssen MA, Ostrom E. 2004. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecology and Society* [Internet]. [diunduh 2018 Nov 6]; 9(1):18. Tersedia pada:<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18>.
- Anderson LG, Seijo JC. 2010. *Bioeconomics of Fisheries Management*. New

- Jersey:Wiley-Blackwell.
- Atmaja SB, Sadhotomo B, Nugroho D. 2011. Overfishing pada perikanan pukat cincin semi-industri di Laut Jawa dan implikasi pengelolaannya. *J. Kebijak. Perikan. Ind.* 3(1):51-60.
- Ault JS, Smith SG, Luo J, Monaco ME, Appeldoorn RS. 2008. Length-based assessment of sustainability benchmarks for coral reef fishes in Puerto Rico. *Environmental Conservation.* 35(3):221-231.
- Badrudin M. 2015. Pedoman teknis estimasi spawning potential ratio (SPR). Di dalam: Ghofar A, Martosubroto P, Wudianto, editor. *Protokol Pengkajian Stok Sumber Daya Ikan: Komisi Nasional Pengkajian Stok Sumber Daya Ikan.* Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan, Kementrian Kelautan dan Perikanan, p 65-80.
- Bailey RM, Carrella E, Axtell R, Burgess MG, Cabral RB, Drexler M, Dorsett C, Madsen JK, Merkl A, Saul S. 2018. A Computational Approach to Managing Coupled Human–Environmental Systems: The POSEIDON Model of Ocean Fisheries. *Sustainability Science.* 14(2), p 259–275.
- [Bakosurtanal] Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. 2009. *Sumberdaya Alam Pesisir dan Laut Teluk Saleh.* Bogor: Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut-Bakosurtanal. 349 p.
- Barbier EB. 2000. The value of wetland: Landscape and institutional perspectives. *Ecol Econ.* 35:47-61.
- Bawole R, Rahayu, Rembet UNWJ, Ananta AS, Runtuboi F, Sala R. 2017. Growth and mortality rate of the Napan-Yaur coral trout, *Plectropomus leopardus* (Pisces: Serranidae), Cenderawasih Bay National Park, Indonesia. *Biodiversitas.* 18(2):758-764.
- Beddington J, Hilborn R. 2013. Resource Exploitation, Fisheries. *Encyclopedia of Biodiversity.* p 420–428. doi:10.1016/b978-0-12-384719-5.00055-1
- Béné C, Tewfik A. 2001. Fishing effort allocation and fishermen's decision making process in a multi-species small-scale fishery: Analysis of the conch and lobster fishery in Turks and Caicos Islands. *Human Ecology.* 29(2):157-186.
- Berkes F, Mahon R, McConney P, Pollnac R, Pomeroy R. 2001. *Managing Small-Scale Fisheries, Alternative Directions and Methods.* Ottawa: International Development Research Centre. <http://www.idrc.ca/booktique>.
- Biggs R, Clements H, de Vos A, Folke C, Manyani A, Maciejewski K, Martín-López B, Preiser R, Selomane O, Schlüter M. 2021. What are social-ecological systems and social- ecological systems research? Di dalam: Biggs R, de Vos A, Preiser R, Clements H, Maciejewski K, Schlüter M, editor. *The Routledge handbook of research methods for social-ecological systems.* New York (NY): Routledge. 527 p.
- Blackhart K, DG Stanton, AM Shimada. 2006. NOAA Fisheries Glossary. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-69. National Oceanic and Atmospheric Administration. Silver Spring, Maryland
- Bode M, Sanchirico JN, Armsworth PR. 2016. Returns from matching management resolution to ecological variation in a coral reef fishery. *Proceedings. Biological sciences.* 283(1826):20152828
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumbawa. 2019. *Kabupaten Sumbawa*

- Dalam Angka*. Sumbawa Besar: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Dompu. 2019. *Kabupaten Dompu Dalam Angka*. Dompu: BPS
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistik Ekspor Perdagangan Indonesia menurut Harmonized System*. Jakarta: BPS. 21 p.
- Brown K, Adger WN, Tompkins E, Bacon P, Shim D, Young K. 2001. Trade-off analysis for marine protected area management. *Ecological Economics*. 37: 417 - 434.
- Busilacchi S, Williams AJ, Russ GR, Begg GA. 2012. Complexity of applying minimum legal sizes (MLS) of retention in an indigenous coral reef fishery. *Fisheries Management and Ecology*. 19:233-244.
- Cabral RB, Geronimo RC, Lim MT, Alino PM. 2010. Effect of variable fishing strategy on fisheries under changing effort and pressure: An agent-based model application. *Ecological Modelling*. 221: 362–369
- Cahyadinata I, Fahrudin A, Sulistiono, Kurnia R. 2019. Perception and participation of fishermen in the sustainable management of mud crabs on the outermost small island (Case study: Enggano Island, Bengkulu Province, Indonesia). *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 9(4):1330-1336.
- Carrella E, Saul S, Marshall K, Burgess MG, Cabral RB, Bailey RM, Dorsett C, Drexler M, Madsen JK, Merkl A. 2020. Simple Adaptive Rules Describe Fishing Behaviour Better than Perfect Rationality in the US West Coast Groundfish Fishery. *Ecological Economics*. 169:106449, 13 p.
- Charles AT. 2001. *Sustainable Fishery Systems*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 2(6):429-444
- Cochrane KL. 2002. A fishery manager's guidebook. Management measures and their application. FAO Fisheries Technical Paper. No. 424. Rome: FAO. 231p.
- Coelli TJ. 2008. A guide to DEAP version 2.1: A data envelopment analysis (computer) Program. Center for Efficiency and Productivity Analysis Working Paper 96:08. 49 p.
- Colding J, Barthel S. 2019. Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later. *Ecology and Society*. 24(1):2.
- Conrad JM, Smith MD. 2012. Nonspatial and Spatial Models in Bioeconomics. *Natural Resource Modelling*. 25. 10.1111/j.1939-7445.2011.00102.x.
- Cooper WW, Seiford LM, Zhu J. 2004. Data envelopment analysis. Di dalam: Cooper WW, Seiford LM, Zhu J, editor. *Handbook on data envelopment analysis*. Kluwer's International Series, Boston. 39 p.
- Copes P. 1972. Factor rents, sole ownership and the optimum level of fisheries Exploitation. *The Manchester School of Economic and Social Studies*. 40(2):145-163.
- Crooks AT, Happenstal AJ. 2012. Introduction to agent-based model. Happenstal AJ, Crooks AT, See LM, Batty M, editor. *Agent-Based Models of Geographical System*. Dordrech: Springer. p 85-105.
- Damora A, Ardianto L, Wardiatno, Y, Suman A. 2019. Dynamic spatial allocation of scalloped spiny lobster (*Panulirus homarus*) in the coast of Gunungkidul, Indonesia. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 348 012113.

- Davis RA, Hanich Q. 2020. Transparency in fisheries conservation and management measures. *Marine Policy*, forthcoming
- Dew IM. 2001. Theoretical model of a new fishery under a simple quota management system. *Ecological Modelling*. 143:59–70.
- Ding Z, Gong W, Li S, Wu Z. 2018. System dynamics versus agent-based modeling: A review of complexity simulation in construction waste management. *Sustainability*. 10(2484):1-13.
- Dudley RG. 2008. A Basis for Understanding Fishery Management Dynamics. *System Dynamics Review*. 24(1): 1–29.
- Efendi DS, Adrianto L, Yonvitner, Wardiatno Y, Agustina S. 2020. The performance of stock indicators of grouper (Serranidae) and snapper (Lutjanidae) fisheries in Saleh Bay, Indonesia. *AAFL Bioflux*. 13(5):2431-2444.
- Ekawati AK, Adrianto L, Zairion. 2019. Pengelolaan perikanan rajungan (*Portunus pelagicus*) berdasarkan analisis spasial dan temporal bioekonomi di perairan pesisir timur Lampung. *JKPI*. 11(1):65-74.
- Ernaningsih, Asbar, Danial, Hasrun A, Jamal M. 2019. Population dynamics and exploitation rate of coral grouper *Plectropomus leopardus* in the Sarappo Islands, Pangkep Regency, South Sulawesi. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 253 012028.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries. Rome: FAO.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2003. The Ecosystem Approach to Fisheries No. 4 Suppl. 2. Rome: FAO. 112 p.
- [FAO] Food Agriculture Organization. 2021. Fishery Statistical Collections: Dataset Global Capture Production (online query). FAO Fisheries Division [online]. Rome. Fishery and Aquaculture Statistics (Accessed 20 June 2021). <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/en>.
- Fauzi A. 2004. *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. p 97-135.
- Fauzi A. 2010. *Ekonomi Perikanan: Teori, Kebijakan dan Pengelolaan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama. 224 p.
- Fauzi A. 2019. *Teknik Analisis Keberlanjutan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Fauzi A, Anna S. 2005. *Pemodelan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Ferreira BP. 1993. Reproduction of the inshore coral trout *Plectropomus maculatus* (Perciformes: Serranidae) from the Central Great Barrier Reef, Australia. *Journal of Fish Biology*. 42:831–844.
- Ferreira BP. 1995. Reproduction of the common coral trout *Plectropomus leopardus* (Serranidae: Epinephelinae) from the Central and Northern Great Barrier Reef, Australia. *Bulletin of Marine Science*. 56:653–669.
- Ferretti F, Saltelli A, Tarantola S. 2016. Trends in sensitivity analysis practice in the last decade. *Science of the Total Environment*. 568:666-670.
- Folke C, Colding J, Berkes F. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social–ecological systems. Di dalam: Berkes F, Colding J, Folke C, editor. *Navigating Social–Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press. Cambridge.

- Friedlander AM. 2015. A perspective on the management of coral reef fisheries. Di dalam: Mora C, editor. *Ecology of Fishes on Coral Reef*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Froese R, Binohlan C. 2000. Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology*. 56:758-773.
- Galal N, Ormond RFG, Hassan O. 2002. Effect of a network of no-take reserves in increasing catch per unit effort and stocks of exploited reef fish at Nabq, South Sinai, Egypt. *Mar Freshw Res*. 53:199-20.
- Garrity EJ. 2011. System Dynamics Modeling of Individual Transferable Quota Fisheries and Suggestions for Rebuilding Stocks. *Sustainability*. 3:184-215.
- Gordon HS. 1954. The Economic Theory of A Common Property Resource: Fishery. *Journal of Political Economy*. 62(1):124-142.
- Gotts NM, Voorn GAK, Polhill JG, de Jong E, Edmonds B, Hofstede GJ, Meyer R. 2018. Agent-based modelling of socio-ecological systems: Models, projects and ontologies. *Ecological Complexity*, forthcoming
- Grant JW, Pedersen EK, Martin SL. 1997. *Ecology and Natural Resources Management: System Analysis and Simulation*. Reading: Addison-Wesley.
- Goodyear CP. 1993. Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: Foundation and current use. Di dalam: Smith SJ, Hunt JJ, Rivard D, editor. *Risk evaluation and biological reference points for fisheries management*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences. 120:67-81.
- Gulland JA. 1969. Manual of Methods for Fish Stock Assessment Part 1. Fish Population Analysis. Rome: Food and Agriculture Organization/FAO.
- Hafsaridewi R, Fahrudin A, Sulistiono, Sutrisno D, Koeshendrajana S. 2019. Resiliensi nelayan terhadap ketersediaan sumberdaya perikanan di Kepulauan Karimunjawa. *JPSL*. 9(2):527-540. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.527-540>.
- Haight WR, Kobayashi DR, Kawamoto KE. 1993. Biology and management of deepwater snappers of Hawaiian Archipelago. *Marine Fisheries Review*. 55(2):20-27.
- Halim A, Loneragan NR, Wiryawan B, Hordyk AR, Sondita MFA, Yulianto I. 2020. Evaluating data-limited fisheries for grouper (Serranidae) and snapper (Lutjanidae) in the Coral Triangle, eastern Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*. 38:101388. 16 p.
- Hardin G. 1968. The Tragedy of the Commons. *Journal of Heredity*. 50(1):1243-1248. <http://www.dieoff.org/page95.htm>
- Hayati Y, Adrianto L, Krisanti M, Pranowo WS, Kurniawan F. 2020. Magnitudes and tourist perception of marine debris on small tourism island: Assessment of Tidung Island, Jakarta, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 158:1-9.
- Heemstra PC, Randall JE. 1993. FAO Species catalogue: groupers of the world (family Serranidae, subfamily Epinephelinae) an annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper, and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis. Rome: FAO. 124(16), 382 p.
- Hernández-Flores A, Cuevas-Jiménez A, Poot-Salazar A, Condal A, Espinoza-Méndez JC. 2018. Bioeconomic modeling for a small-scale sea cucumber fishery in Yucatan, Mexico. *PLoS ONE*. 13(1): e0190857.

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190857>.
- Hilborn R, Micheli F, Leo GD. 2006. Integrating marine protected areas with catch regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 63(3):642-649.
- Hordyk A, Ono K, Valencia S, Loneragan N, Prince J. 2014. A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries. *ICES Journal of Marine Science*. 72(1):217-231.
- [IUCN] International Union for the Conservation of Nature. 2020. (Accessed on January 19th, 2020). <https://www.iucnredlist.org>
- Jamnia AR, Mazlounzadeh SM, Keikha AA. 2015. Estimate the technical efficiency of fishing vessels operating in Chabahar region, Southern Iran. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*
- Jeon Y, Omar IH, Kuperan K, Squires D, Susilowati I. 2006. Developing country fisheries and technical efficiency: the Java Sea purse seine fishery. *Applied Economics*. 38(13):1541-1552.
- Kadison E, Brandt M, Nemeth R, Martens J, Blondeau J, Smith T. 2017. Abundance of commercially important reef fish indicates different levels of over-exploitation across shelves of the U.S. Virgin Islands. *PLoS ONE*. 12(7): e0180063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180063>
- [Kepmen] Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 50/KEPMEN-KP/2017 tentang Estimasi Potensi, Jumlah Tangkapan yang Diperbolehkan, dan Tingkat Pemanfaatan Sumber Daya Ikan di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia. 2017.
- Khasanah M, Nurdin N, Jompa J. 2019a. Reproductive biology of three important threatened/near-threatened groupers (*Plectropomus leopardus*, *Epinephelus polyphkadion* and *Plectropomus areolatus*) in Eastern Indonesia and implications for management. *Animals*. 9(9):643, 18 p.
- Khasanah M, Nurdin N, Sadovy de Mitcheson Y, Jompa J. 2019b. Management of the grouper export trade in Indonesia. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. doi: 10.1080/23308249.2018.1542420.
- Kim S, Kim H. 2016. A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*. 32(3):669-679.
- King M. 1995. *Fisheries biology, assessment and management*. Blackwell Science Ltd, Oxford, United Kingdom, 341 p.
- Kittinger JN, Finkbeiner EM, Glazier EW, Crowder LB. 2012. Human dimensions of coral reef social-ecological systems. *Ecology and Society*. 17(4):1-17.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Kelautan dan Perikanan dalam Angka*. Pusat Data, Statistik dan Informasi KKP. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2020. Produksi Perikanan. <https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=total&i=2>
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2020. Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020 tentang Kawasan Konservasi Perairan Pulau Liang, Pulau Ngali, dan Perairan Sekitarnya di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Jakarta: Kementerian Kelautan dan Perikanan
- Krejcie RV, Morgan DW. 1970. Determining Sample Size for Research Activities.

- Educational and Psychological Measurement*. 30:607-610.
- Kroetz K, Sanchirico JN. 2015. The bioeconomics of spatial-dynamic systems in natural resource management. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 7:189–207.
- Kusumo S, Adrianto L, Boer M, Suharsono. 2020. A system dynamics model for marine conservation area management – a case study of Pulo Pasi Gusung local marine conservation area, Selayar, Indonesia. *AAFL Bioflux*. 13(2):715-735.
- Little LR, Punt AE, Mapstone BD, Begg GA, Goldman B, Williams AJ. 2009. An agent-based model for simulating trading of multi-species fisheries quota. *Ecological Modelling*. 220:3404–3412
- Luke S, Cioffi-Revilla C, Panait L, Sullivan K, Balan, G. 2005. Mason: A multiagent simulation environment. *Simulation*. 81(7):517–527. <https://doi.org/10.1177/0037549705058073>
- Macal CM, North MJ. 2010. Tutorial on agent-based modeling and simulation. *Journal of Simulation*. 4:151-162.
- Madsen JK, Bailey R, Carrella E, Korulus P. 2020. From reactive towards anticipatory fishing agents. *Journal of Simulation*. 15 p. DOI:10.1080/17477778.2020.1742588
- Mavruk S, Saygu S, Bengil F. 2020. Fishers' responses towards the banning white grouper fishery in Turkey. *Journal of Wildlife and Biodiversity*. Special issue: 50-57.
- Mayunar. 1994. Beberapa tipe dan teori hermaprodit pada ikan laut. *Oseana*. 19(1):21–31.
- McClanahan TR. 2021. Marine reserve more sustainable than gear restriction in maintaining long-term coral reef fisheries yields. *Marine Policy*. 28(3):104478
- Mehdiyev N, Enke D, Fettke P, Loos P. 2016. Evaluating forecasting methods by considering different accuracy measures. *Procedia Computer Science*. 95:264-271.
- Mildenberger T. K., Taylor M. H., Wolff M., 2017 TropFishR: an R package for fisheries analysis with length frequency data. *Methods in Ecology and Evolution*. 8(11):1520-1527.
- Moberg F, Folce C. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*. 29:215–233.
- Najamuddin, Baso A, Arfiansyah R. 2016. Bio-economic analyses of coral trout grouper fish in Spermonde Archipelago, Makassar, Indonesia. *International Journal of Oceans and Oceanography*. 10(2):247-264.
- Natsir M, Ruchimat T, Yulianto I, Agustina S. 2019. Application of global positioning system tracker to detect the fishing ground location and effective effort in artisanal fishery. *Sensors and Materials*. 31(3): 803–814.
- Nuraini S. 2007. Jenis ikan kerapu (serranidae) dan hubungan panjang berat di perairan Berau, Kalimantan Timur. *Jurnal Iktiologi Indonesia*. 7(2):61-65. <https://doi.org/10.32491/jii.v7i2.212>
- Nurfiarini A, Krismono, Widarmanto N. Status usaha perikanan tangkap di zona calon rehabilitasi terumbu karang Pulau Rakit dan Pulau Ganteng Teluk Saleh Kabupaten Sumbawa Besar. Di dalam: Rahardjo, M, Sjafei, DS, Rachmatika, I, Simanjuntak, CP, Zahid, editor. Prosiding Seminar Nasional Ikan IV, 2006, Jatiluhur. 331-341.

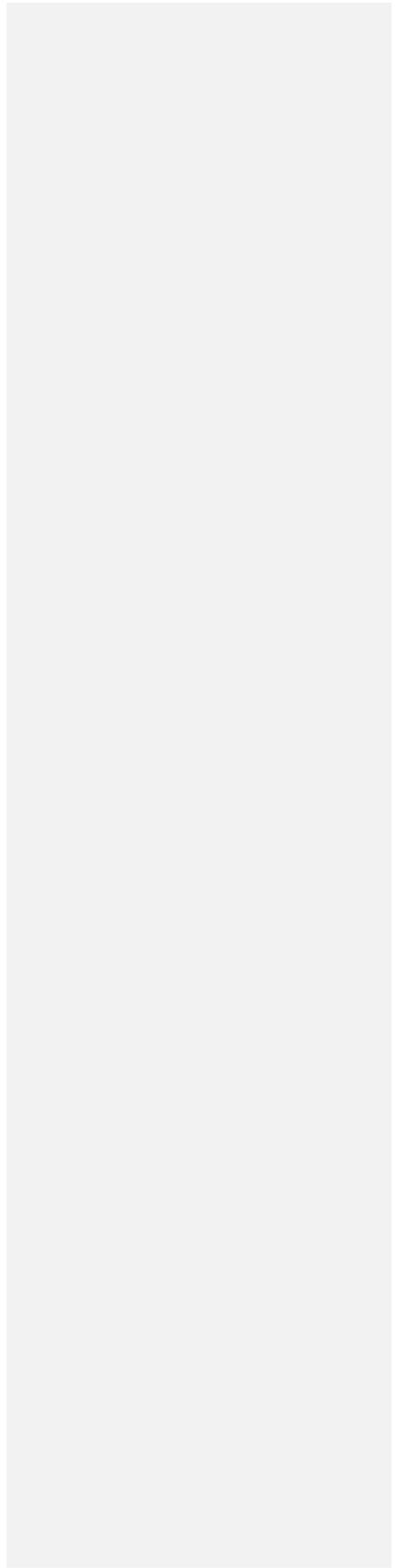
- Ostrom E. 2005. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton, Oxford: Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt7s7wm>
- Ostrom E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *Science*. 325(5939):419-422. doi: 10.1126/science.1172133.
- Pauly D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*. 39(2):175-192.
- Pauly D. 1983. Some simple methods for tropical fish stock. FAO Fisheries Technical Paper 243, 52 p.
- Pauly D. 1984. The fish population dynamic in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. *International Center for Living Aquatic Resource Management Studies and Reviews*. 8:143, 325 p.
- Pauly D. 1994. From growth to malthusian overfishing: Stage of fisheries resources misuse. *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin*. 3:7-14.
- Patanda M., Wisudo SH, Monintja DR, Wiryawan B. 2017. Sustainability for reef fish resource based on productivity and susceptibility in Wangi-Wangi Island, Southeast Sulawesi, Indonesia. *AAFL Bioflux*. 10(4):861-874.
- [Pergub] Peraturan Gubernur Nusa Tenggara Barat. 2018. Peraturan Gubernur Nusa Tenggara Barat Nomor 32 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Pengelolaan Perikanan Kerapu dan Kakap Berkelanjutan di Teluk Saleh, Teluk Cempi, Teluk Waworada dan Perairan Sape Tahun 2018-2023.
- Pickens C, Smart T, Reichert M, Sedberry GR, McGlenn D. 2021. No effect of marine protected areas on managed reef fish species in the southeastern United States Atlantic Ocean. *Regional Studies in Marine Science*. 101711. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101711>
- Pinello D, Liontakis A, Sintori A, Tzouramani, Polymeros, 2016 Assessing the efficiency of small-scale and bottom trawler vessels in Greece. *Sustainability*. 8(7):681, 11 p.
- Portela MAS. 2014. Value and quantity data in economic and technical efficiency measurement. *Economics Letters*. 124(1):108-112.
- POSEIDON Team. 2019. An evaluation of policy options for the recovery and sustainability of key snapper-grouper stocks in the Java Sea-Phase 1 Application of POSEIDON in WPP 712. Draft Technical Report [do not circulate). Ocean Conservancy, University of Oxford, Arizona State University, The Nature Conservancy Indonesia, University of California, Santa Barbara. 85 p.
- Prasetya R. 2010. Potensi dan laju eksploitasi sumberdaya ikan kerapu di Perairan Teluk Lasongko, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara. [tesis]. Bogor [ID]: Institut Pertanian Bogor.
- Prince J. 2017 Length based assessment of the spawning potential of reef fish from iQoliqoli Cokovata in Macuata: A case study in Fiji. WWF-Pacific, Suva, Fiji, 35 p.
- Prince J, Victor S, Kloulchad V, Hordyk A. 2015. Length based SPR assessment of eleven Indo-Pacific coral reef fish populations in Palau. *Fisheries Research*. 17:42-58.
- Purnomo H. 2012. *Pemodelan dan Simulasi untuk Pengelolaan Adaptif Sumber*

- Daya Alam dan Lingkungan*. Bogor: IPB Press. 312 p.
- Rammelt CF, Schie M. 2016. Ecology and equity in global fisheries: Modelling policy options using theoretical distributions. *Ecological Modelling*. 337:107-122.
- Retnoningtyas H, Yulianto I, Soemodinoto A, Herdiana Y, Kartawijaya T, Natsir M, Haryanto JT. 2021. Stakeholder participation in management planning for grouper and snapper fisheries in West Nusa Tenggara Province, Indonesia,” *Mar. Policy*. 128:104452, 2021, doi: 10.1016/j.marpol.2021.104452.
- Rice JC, Connolly PL. 2007. Fisheries Management Strategies: An introduction by the Conveners. *ICES Journal of Marine Science*, 64(4):577–579,
- Ruth M, Hannon B. 2012. *Modeling Dynamic Economic Systems*. Second Edition. New York (NY): Springer.
- Sadovy de Mitcheson Y, Colin PL, Lindfield SJ, Bukurrou A. 2020., “A decade of monitoring an Indo-Pacific grouper spawning aggregation: Benefits of protection and importance of survey design,” *Front. Mar. Sci.*. 7:1–23. doi: 10.3389/fmars.2020.571878.
- Sadovy de Mitcheson Y. 2016. Mainstreaming fish spawning aggregations into fishery management calls for a precautionary approach. *Bioscience*. 66:295-306.
- Sadovy de Mitcheson Y, Craig MT, Bertoncini AA, Carpenter KE, Cheung WWL, Choat JH, Cornish AS, Fennessy ST, Ferreira BP, Heemstra PC, *et al.* 2013. Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. *Fish and Fisheries*. 14(2):119-136.
- Sanchirico JN, Wilen JE. 2001. A bioeconomic model of marine reserve creation. *Journal of Environmental Economics and Management*. 42:257-276. 10.1006/jecm.2000.1162.
- Sari YD, Kusumastanto T, Adrianto L. 2008. *Maximum economic yield sumberdaya perikanan kerapu di Perairan Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. J. Bijak dan Riset Sosek KP*. 3(1): 69-78.
- Sari YD. 2018. Evaluasi ekonomi kebijakan moratorium perizinan kapal eks asing terhadap sumberdaya perikanan demersal di WPP 718. [disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sasarari R, Fahrudin A, Zulfainarni N. 2019. Tingkat pemanfaatan sumberdaya perikanan pelagis besar dan kesejahteraan rumah tangga nelayan di perairan Kota Jayapura, Provinsi Papua. *JPSL*. 9(4): 920-928. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.4.920-928>.
- Schaefer MB. 1954. Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of Commercial Marine Fisheries. *Bulletin of the Inter American Tropical Tuna Commission*. 1(2):27-56.
- Seijo JC. 2007. Spatial bioeconomic dynamics of marine fisheries. *Fisheries and Aquaculture Vol V. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Mexico [MX]:Universidad Marista de Merida.
- Seijo JC, Defeo O, Salas S. 1998. Fisheries bioeconomics: theory, modelling and management. FAO Fisheries Technical Paper. No. 368. Rome: FAO. 108 p.
- Sesabo JK, Tol RSJ. 2007. Technical efficiency and small-scale fishing households in Tanzanian coastal villages: An empirical analysis. *African Journal of Aquatic Science*. 32(1):51-61.

- Sigurðardóttir S. 2016. Modelling and Simulation for Fisheries Management. Dissertation. Reykjavik: Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland.
- Sparre P, Venema SC. 1999. Introduksi Pengkajian Stok Ikan Tropis. Jakarta: Kerjasama FAO dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan. Terjemahan dari: *Introduction to tropical fish stock assessment*.
- Squires D, Grafton Q, Alam F, Omar IH. 2003. Technical efficiency in Malaysian gill net artisanal fishery. *Journal of Environment and Development Economics*. 8(3):481-504.
- Sterman JD. 2000. *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for Complex World*. Madison, Wisconsin [US]: Irwin/McGraw-Hill.
- Stobart B, Warwick R, Gonzalez C. 2009. Long-term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community. *Marine Ecology Progress Series*. 384:47-60.
- Sundelof A, Grimm V, Ulmestrand M, Fiksen Ø. 2015. Modelling harvesting strategies for the lobster fishery in northern Europe: the importance of protecting egg-bearing females. *Popul Ecol*. 57:237-251
- Susiloningtyas D, Boer M, Adrianto L, Yulianda F. 2015. Pemodelan berbasis agen (ABM) untuk pengelolaan aktivitas migrasi musiman nelayan andon cumi-cumi di Pulau Salura. *J. Sosek KP*. 10(1):103-114.
- Tadjuddah M, Wiryawan B, Purbayanto A, Wiyono ES. 2013. Parameter biologi ikan kerapu (*Epinephelus* sp.) di Taman Nasional Wakatobi, Sulawesi Tenggara, Indonesia. *Marine Fisheries* 4(1):11-21.
- Trenkel VM, Rochet MJ, Mesnil B. 2007. From model-based prescriptive advice to indicator-based interactive advice. *ICES Journal of Marine Science*. 64:768-774
- Udumyan N, Ami D, Cartigny P. 2010. Integrating habitat concerns into Gordon-Schaefer model. *HAL Sciences de l'Homme et de la Société*. 32pp. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00520328>.
- [WCS] Wildlife Conservation Society. 2019. Data fish landing (catch dan trip) di WPP 71 [Tidak dipublikasikan]. Bogor: Wildlife Conservation Society.
- [WCS] Wildlife Conservation Society. 2020. *Evaluation of the Implementation of the Action Plan for Sustainable Grouper and Snapper Fisheries Management in West Nusa Tenggara (WNT) Province* [Tidak dipublikasikan]. Bogor: Wildlife Conservation Society). 4 p.
- Widodo MS. 2006. Defereniasi gonad/seks (hermaprodit protogyni) pada ikan kerapu lumpur (*Epinephelus coiodes* Hamilton) pada kisaran berat tubuh yang berbeda di perairan Tanjung Luar, Lombok Timur, NTB. *Jurnal Protein*. 13(2):168-171.
- Wijermans N, Boonstra WJ, Orach K, Hentati-Sundberg J, Schlüter M. 2020. Behavioural diversity in fishing—Towards a next generation of fishery models. *Fish and Fisheries*. 274(2): 30-19. <http://doi.org/10.1111/faf.12466>
- Worrapimphong K, Gajaseni N, Le Page C, Bousquet F. 2010. A companion modeling approach applied to fishery management. *Environmental Modelling & Software*. 25:1334-1344.

- Wudianto, Mahiswara, Linting M. 1995. Pengaruh ukuran mata pancing rawai dasar terhadap hasil tangkapan. *Balai Penelitian Perikanan Laut*. 1:58-67. <http://dx.doi.org/10.1578/jppi.1.1.1995.58-67>
- [www.data-ikan.org](http://www.data-ikan.org)
- [www.kompas.com](http://www.kompas.com). 19 Des 2020. 6 fakta kemarau panjang dan kekeringan parah tahun 2019. [Internet]. [diunduh 2020 Apr 19]. Tersedia pada <https://sains.kompas.com/read/2019/12/31/200500823/6-fakta-kemarau-panjang-dan-kekeringan-parah-tahun-2019?page=1>
- Ye Y. 2011. Appendix-Assessment methodology. Review of the state of world marine fishery resources. FAO Fisheries Technical Paper. Rome: FAO. p 327-334
- Yonvitner, Irsyam N, Fahrudin A, Kurnia R. 2020. Pendekatan agent-based model (ABM) pada perikanan skala kecil di daerah penangkapan Selat Sunda. *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*. 4(1): 56-62.
- Yu R, Pan M, Railsback SF, Leung PS. 2009. A prototype agent based fishery management model of Hawaii's longline fishery. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009 <http://mssanz.org.au/modsim09>
- Yulius, Ardiansyah. 2016. Identifikasi perubahan tutupan lahan di pesisir Teluk Saleh, Kabupaten Sumbawa Tahun 2004-2014. *Jurnal Segara*. 12(3): 139-147.
- Zeller DC. 1997. Home range and activity pattern of the coral trout *Plectropomus leopardus* (Serranidae). *Mar Ecol Prog Ser*. 154:65-77.

**LAMPIRAN**



Lampiran 1 *Script* dan output R Studio *package* TropFishR untuk menghitung parameter biologi ikan kerapu sunu halus (*Plectropomus leopardus*)

```
R version 3.6.3 (2020-02-29) -- "Holding the Windssock"
Copyright (C) 2020 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

Natural language support but running in an English locale

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> setwd("D:/Rlatihan/Disertasi")
> library(TropFishR)
> library(fishmethods)

Attaching package: 'fishmethods'

The following object is masked from 'package:TropFishR':

  haddock

> CA_csv <- read.table(file.choose(), header=T)
> dates <- colnames(CA_csv)[-1]
> dates <- strsplit(dates, "X")
> dates <- unlist(lapply(dates, function(x) x[2]))
> dates <- as.Date(dates, "%Y_%d_%m")
> CA_data <- list(dates = dates, midLengths = CA_csv$midLengths, catch =
as.matrix(CA_csv[,-1]))
> class(CA_data) <- "lfq"
> CA_data$catch[is.na(CA_data$catch)] <- 0
> plot(CA_data, Fname = "catch")
> Linf.min <- as.numeric(readline(prompt="Enter Linf-min:"))
Enter Linf-min:70
> Linf.max <- as.numeric(readline(prompt="Enter Linf-max:"))
Enter Linf-max:80
> K.min <- as.numeric(readline(prompt="Enter K-min:"))
Enter K-min:0.1
> K.max <- as.numeric(readline(prompt="Enter K-max:"))
Enter K-max:0.3
> set.seed(1)
> CA_data_ELEFAN <- ELEFAN(CA_data, Linf_range = seq
(Linf.min, Linf.max, 1), K_range = seq(K.min, K.max, 0.05))
Optimisation procedure of ELEFAN is running.
This will take some time.
The process bar will inform you about the process of the calculations.
|=====|
```

```

100%
> CA_data_ELEFAN$Rn_max
[1] 0.274
> plot(CA_data_ELEFAN, Fname = "catch", draw = FALSE)
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN, col=4, par=CA_data_ELEFAN$par, draw=TRUE)
$Rn_max
[1] 0.2742856
> CA_data_ELEFAN_GA<-ELEFAN_GA(CA_data, low_par=list (Linf=Linf.min,
K=K.min, t_anchor=-5, C=0, ts=0), up_par=list(Linf=Linf.max, K=K.max,
t_anchor=5, C=10, ts=-10))
Genetic algorithm is running. This might take some time.
> CA_data_ELEFAN_SA<-ELEFAN_SA (CA_data, init_par=list
(Linf=((Linf.max+Linf.min)/2), K=((K.max+K.min)/2), t_anchor=0, C=0,
ts=0), low_par=list(Linf=Linf.min,K=K.min, t_anchor=-5, C=0, ts=10),
up_par=list(Linf=Linf.max, K=K.max, t_anchor=5, C=10, ts=10))
Simulated annealing is running.
This will take approximately 1 minutes.
> CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max
[1] 0.2582018
> plot(CA_data_ELEFAN_GA, Fname = "catch", draw=FALSE)
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN_GA, col=4, par=CA_data_ELEFAN_GA$par,
draw=TRUE) $Rn_max
[1] 0.2582018
> CA_data_ELEFAN_SA<-ELEFAN_SA (CA_data, init_par=list
(Linf=((Linf.max+Linf.min)/2), K=((K.max+K.min)/2), t_anchor=0, C=0,
ts=0), low_par=list(Linf=Linf.min,K=K.min, t_anchor=-5, C=0, ts=10),
up_par=list(Linf=Linf.max, K=K.max, t_anchor=5, C=10, ts=10))
Simulated annealing is running.
This will take approximately 1 minutes.
> CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max
[1] 0.2438707
> plot(CA_data_ELEFAN_GA, Fname = "catch", draw=FALSE)
> > lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN_SA, col=4, par=CA_data_ELEFAN_SA$par,
draw=TRUE) $Rn_max
Error: unexpected '>' in ">"
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN_SA, col=4, par=CA_data_ELEFAN_SA$par,
draw=TRUE) $Rn_max
[1] 0.2438707
> if(CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max>CA_data_ELEFAN$Rn_max &
CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max>CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN
_GA}
> if(CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max>CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max &
CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max>CA_data_ELEFAN$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN_SA
}
> if(CA_data_ELEFAN$Rn_max>CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max &
CA_data_ELEFAN$Rn_max>CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN}
> Grafik=CA_data_ELEFAN_SA
> Grafik$par$t0=-10^(-0.3922-(0.2752*log10(Grafik$par$Linf))-
(1.038*log10(Grafik$par$K)))
> Grafik
$dates
[1] "2019-01-01" "2019-02-01" "2019-03-01" "2019-04-01" "2019-05-01"
[6] "2019-06-01" "2019-07-01" "2019-08-01" "2019-09-01" "2019-10-01"
[11] "2019-11-01" "2019-12-01"

$midlengths
[1] 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64

```

128

66 68

[25] 70 72 74

\$catch

	X2019_1_1	X2019_1_2	X2019_1_3	X2019_1_4	X2019_1_5	X2019_1_6
X2019_1_7						
[1,]	0	0	0	0	0	0
0						
[2,]	0	0	0	0	0	1
0						
[3,]	0	0	1	0	0	1
0						
[4,]	0	0	0	0	0	3
0						
[5,]	1	0	2	0	0	4
2						
[6,]	2	0	3	2	3	6
4						
[7,]	3	8	6	2	4	5
8						
[8,]	2	5	7	1	2	4
12						
[9,]	3	7	3	3	4	2
4						
[10,]	1	6	5	3	11	2
3						
[11,]	4	5	6	1	6	3
8						
[12,]	4	3	7	3	2	1
4						
[13,]	6	3	6	3	5	2
4						
[14,]	1	1	5	1	1	1
5						
[15,]	2	3	1	6	10	0
1						
[16,]	1	3	2	2	0	1
0						
[17,]	0	2	0	1	4	0
2						
[18,]	0	2	0	0	7	1
2						
[19,]	1	1	0	0	0	0
1						
[20,]	0	3	0	1	0	0
3						
[21,]	0	0	0	1	1	0
0						
[22,]	0	0	0	0	1	0
0						
[23,]	0	0	0	0	0	0
0						
[24,]	0	1	0	0	0	0
0						
[25,]	0	0	0	0	0	0
0						
[26,]	0	1	0	0	0	0

0						
[27,]	0	0	0	0	0	0
0						
	X2019_1_8	X2019_1_9	X2019_1_10	X2019_1_11	X2019_1_12	
[1,]	0	0	0	0	0	
[2,]	0	0	0	0	0	
[3,]	0	0	1	0	0	
[4,]	0	0	0	0	0	
[5,]	4	2	2	1	0	
[6,]	2	7	3	1	0	
[7,]	4	14	5	4	3	
[8,]	6	6	17	13	7	
[9,]	4	7	5	10	6	
[10,]	3	9	11	10	11	
[11,]	3	10	3	9	8	
[12,]	8	7	5	5	5	
[13,]	4	4	2	10	3	
[14,]	1	3	3	5	6	
[15,]	0	5	4	3	4	
[16,]	0	1	5	5	2	
[17,]	4	1	3	2	4	
[18,]	1	0	2	2	3	
[19,]	0	2	1	2	4	
[20,]	0	0	2	3	0	
[21,]	0	2	0	1	5	
[22,]	0	0	0	0	0	
[23,]	0	0	0	1	0	
[24,]	0	0	0	0	0	
[25,]	0	0	0	0	0	
[26,]	0	0	0	0	0	
[27,]	0	0	0	0	0	

## \$rcounts

	X2019_1_1	X2019_1_2	X2019_1_3	X2019_1_4	X2019_1_5
[1,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[2,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[3,]	0.000000000	0.000000000	0.08356756	0.000000000	0.000000000
[4,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[5,]	-0.078719588	0.000000000	-0.13169822	0.000000000	0.000000000
[6,]	0.032670168	0.000000000	-0.13169822	0.18046756	0.08750075
[7,]	0.162189457	0.224814634	0.43017757	0.03808445	0.12307831
[8,]	-0.061179605	-0.026241879	0.45997293	-0.27451930	-0.21515825
[9,]	-0.004511969	0.072162077	-0.35268430	0.29140268	-0.12990658
[10,]	-0.188970907	0.095726079	-0.08434406	0.17400244	0.78200395
[11,]	-0.014406318	-0.003262411	0.11236033	-0.30167295	-0.04291509
[12,]	0.065340336	-0.063009028	0.20825346	0.17400244	-0.21954262
[13,]	0.504009886	-0.015211734	0.20134916	-0.03498525	-0.05074432
[14,]	-0.188970907	-0.191694051	0.19181464	-0.32158563	-0.25169468
[15,]	-0.040131626	0.187036586	-0.25526575	0.98677336	0.51250225
[16,]	0.016335084	0.294949003	0.06285134	-0.06272077	0.000000000
[17,]	0.000000000	-0.041282985	0.000000000	-0.23529735	-0.07423202
[18,]	-0.135829698	-0.041282985	0.000000000	0.000000000	0.19715981
[19,]	0.203835084	-0.122755646	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[20,]	0.000000000	0.343518293	0.000000000	0.14404223	0.000000000
[21,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.14404223	0.12812556
[22,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.12812556
[23,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000

```

[24,] 0.00000000 0.171759146 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[25,] 0.00000000 -0.150997749 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[26,] 0.00000000 0.171759146 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[27,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
      X2019_1_6 X2019_1_7 X2019_1_8 X2019_1_9 X2019_1_10
[1,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[2,] -0.009773486 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[3,] -0.237646458 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.083628407
[4,] -0.009773486 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[5,] 0.032941392 -0.22480036 0.18075216 -0.36066776 -0.060977938
[6,] 0.338128621 -0.19242729 -0.18315325 0.08986758 -0.301862002
[7,] 0.168207526 0.21673683 -0.05495698 0.90068441 -0.148083336
[8,] 0.032941392 0.76623088 0.36026997 -0.19948102 1.076107075
[9,] -0.202041306 -0.30897033 -0.05495698 -0.16073421 -0.264932041
[10,] -0.095225851 -0.36055837 -0.18315325 0.12787866 0.343363401
[11,] 0.471941483 0.58704803 -0.16372957 0.32093897 -0.287303075
[12,] -0.237646458 -0.15465872 0.81369329 0.03673695 0.043142035
[13,] 0.200924516 -0.11002313 0.03844020 -0.20439786 -0.279595408
[14,] -0.009773486 0.31477912 -0.26533034 -0.16739866 -0.142480065
[15,] 0.00000000 -0.40015446 0.00000000 0.74552650 0.178136887
[16,] 0.158872634 0.00000000 0.00000000 -0.32068105 0.472671109
[17,] -0.261243836 0.26046052 0.30575216 -0.28661830 0.001416354
[18,] 0.181654476 0.07034539 0.00000000 0.00000000 -0.156272732
[19,] 0.00000000 -0.13870329 0.00000000 0.23874742 -0.127272745
[20,] 0.00000000 0.32034539 0.00000000 -0.31362292 0.250708177
[21,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.18046714 0.00000000
[22,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[23,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[24,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[25,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[26,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
[27,] 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
      X2019_1_11 X2019_1_12
[1,] 0.00000000 0.00000000
[2,] 0.00000000 0.00000000
[3,] 0.00000000 0.00000000
[4,] 0.00000000 0.00000000
[5,] -0.121107758 0.00000000
[6,] -0.493657305 0.00000000
[7,] -0.214986291 -0.08324514
[8,] 0.679151419 0.08705216
[9,] 0.067019297 -0.12340388
[10,] 0.044316758 0.34636673
[11,] 0.003968156 0.09786378
[12,] -0.246760563 -0.17316286
[13,] 0.533840239 -0.26344462
[14,] -0.082215223 0.35860643
[15,] -0.273566495 -0.02570777
[16,] 0.443614342 -0.28873577
[17,] -0.198892828 0.06557367
[18,] -0.198892828 0.02254093
[19,] -0.012208659 0.06608601
[20,] 0.420304143 -0.27588189
[21,] -0.198892828 0.18949223
[22,] -0.332801625 0.00000000
[23,] 0.181768048 0.00000000
[24,] 0.00000000 0.00000000

```

```

[25,] 0.000000000 0.000000000
[26,] 0.000000000 0.000000000
[27,] 0.000000000 0.000000000

```

```

$peaks_mat
      X2019_1_1 X2019_1_2 X2019_1_3 X2019_1_4 X2019_1_5 X2019_1_6
X2019_1_7
[1,]          0          0          0          0          0          0
0
[2,]          0          0          0          0          0          0
0
[3,]          0          0         19          0          0          0
0
[4,]          0          0          0          0          0          0
0
[5,]          0          0          0          0          0         37
0
[6,]          7          0          0         25         31         37
0
[7,]          7         13         20         25         31         37
43
[8,]          0          0         20          0          0         37
43
[9,]          0         14          0         26          0          0
0
[10,]         0         14          0         26         32          0
0
[11,]         0          0         21          0          0         38
44
[12,]          8          0         21         27          0          0
0
[13,]          8          0         21          0          0         39
0
[14,]          0          0         21          0          0          0
45
[15,]          0         15          0         28         33          0
0
[16,]          9         15         22          0          0         40
0
[17,]          0          0          0          0          0          0
46
[18,]          0          0          0          0          34         41
46
[19,]         10          0          0          0          0          0
0
[20,]          0         16          0         29          0          0
47
[21,]          0          0          0         29         35          0
0
[22,]          0          0          0          0         35          0
0
[23,]          0          0          0          0          0          0
0
[24,]          0         17          0          0          0          0
0
[25,]          0          0          0          0          0          0
0

```

132

```
[26,]      0      18      0      0      0      0
0
[27,]      0      0      0      0      0      0
0
```

```
      X2019_1_8 X2019_1_9 X2019_1_10 X2019_1_11 X2019_1_12
[1,]      0      0      0      0      0
[2,]      0      0      0      0      0
[3,]      0      0      61     0      0
[4,]      0      0      0      0      0
[5,]     49      0      0      0      0
[6,]      0      55     0      0      0
[7,]      0      55     0      0      0
[8,]     50      0      62     67     73
[9,]      0      0      0      67     0
[10,]     0      56     63     67     74
[11,]     0      56     0      67     74
[12,]     51     56     64      0      0
[13,]     51      0      0      68     0
[14,]      0      0      0      0     75
[15,]     0      57     65     0      0
[16,]     0      0      65     69     0
[17,]     52      0     65      0     76
[18,]     0      0      0      0     76
[19,]     0      58     0      0     76
[20,]     0      0     66     70     0
[21,]     0      59     0      0     77
[22,]     0      0      0      0     0
[23,]     0      0      0     71     0
[24,]     0      0      0      0     0
[25,]     0      0      0      0     0
[26,]     0      0      0      0     0
[27,]     0      0      0      0     0
```

\$ASP

[1] 19.74622

\$MA

[1] 5

\$ncohort

[1] 15

\$agemax

[1] 14

\$par

\$par\$Linf

[1] 75.138

\$par\$K

[1] 0.2281279

\$par\$t\_anchor

[1] -0.05452865

\$par\$phiL

[1] 3.109898

```

$par$t0
[1] -0.5724983

$fESP
[1] 0.2438707

$Rn_max
[1] 0.2438707

attr(,"class")
[1] "lfg"
> t <- seq(0,((Grafik$agemax)+14),0.1)
> Lt <- VBGf(list(Linf=Grafik$par$Linf, K=Grafik$par$K,
t0=Grafik$par$t0),t=t)
> plot(t, Lt, t="l")
> Grafik$Linf=75
> Grafik$K=0.2281279
> Grafik$agemax=14
> M=M_empirical(Linf = Grafik$Linf, K_l = Grafik$K, temp = 20,
tmax=Grafik$agemax, method = c("Pauly_Linf","Hoenig","Then_growth"))
> M=as.numeric(M)
> M
[1] 0.316 0.300 0.450 0.337
> CA_data$M = M
> CA_data$M=M[1]
> M
[1] 0.316 0.300 0.450 0.337
> CA_data$M=0.316
> M
[1] 0.316 0.300 0.450 0.337
> M=0.316
> m
Error: object 'm' not found
> CA_data$M=0.316
> CA_data$M
[1] 0.316
> CA_data$M=M
> M
[1] 0.316
> panjang <-read.table(file.choose(), header=T)
> min=min(panjang$Length)
> max=max(panjang$Length)
> bins=seq(min,max+1,by = 2)
> mid=seq(min+1,max,by = 2)
> FR=cut(panjang$Length, bins, include.lowest = TRUE, right = TRUE)
> db.FR=transform(table(FR))
> db.FR
      FR Freq
1 [23.4,25.4]  3
2 (25.4,27.4]  4
3 (27.4,29.4] 11
4 (29.4,31.4] 28
5 (31.4,33.4] 57
6 (33.4,35.4] 84
7 (35.4,37.4] 57

```

```

8 (37.4,39.4] 67
9 (39.4,41.4] 74
10 (41.4,43.4] 60
11 (43.4,45.4] 49
12 (45.4,47.4] 42
13 (47.4,49.4] 38
14 (49.4,51.4] 26
15 (51.4,53.4] 23
16 (53.4,55.4] 19
17 (55.4,57.4] 17
18 (57.4,59.4] 8
19 (59.4,61.4] 12
20 (61.4,63.4] 4
21 (63.4,65.4] 1
22 (65.4,67.4] 0
23 (67.4,69.4] 1
24 (69.4,71.4] 1
> db.FR$mid=mid
> CA_data2=synLFQ3
> CA_data2$midLengths=db.FR$mid
> CA_data2$catch=as.matrix(db.FR$Freq)
> CA_data2$catch=as.numeric(CA_data2$catch)
> CA_data2$Linf=Grafik$par$Linf
> CA_data2$K=Grafik$par$K
> CA_data2$t0=Grafik$par$t0
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
> CA_data2$Z=res_cc$Z
> CA_data2$M = CA_data$M
> CA_data2$FM = as.numeric(CA_data2$Z - CA_data$M)
> CA_data2$E = CA_data2$FM / CA_data2$Z
> hasil=res_cc
> hasil$M=CA_data$M
> hasil$FM=CA_data2$FM
> hasil$E=CA_data2$E
> hasil$midLengths = NULL; hasil$catch = NULL; hasil$t_midL =
NULL;hasil$lnC_dt = NULL; hasil$reg_int = NULL; hasil$linear_mod =
NULL;hasil$confidenceInt = NULL; hasil$intercept = NULL;
hasil$linear_mod_sel = NULL; hasil$Sobs = NULL; hasil$ln_1_S_1 = NULL;
hasil$Sest = NULL
> unlist(hasil)
      Linf      K      t0      Z      se      t50
75.13800412 0.22812793 -0.57249828 0.77235349 0.03647993 1.88412601
      t75      t95      L50      L75      L95      M
2.07590382 2.39811812 32.23671506 34.07317567 36.98341974 0.31600000
      FM      E
0.45635349 0.59086092
> db.FR1=db.FR
> db.FR1$f = db.FR1$Freq/sum(db.FR1$Freq)
> db.FR1$fk = cumsum(db.FR1$f)
> db.FR1$fk100 = 100*(cumsum(db.FR1$f))
> db.FR1$perfk = 1/db.FR1$fk
> db.FR1$perfk1 = db.FR1$perfk-1
> db.FR1$lnperfk = log(db.FR1$perfk1) #this is LN in excel
> db.FR1 = db.FR1[!db.FR1$lnperfk == "-Inf", ]
> db.FR1

```

```

      FR Freq  mid      f      fk      fk100      perfk
1 [23.4,25.4]   3 24.36 0.004373178 0.004373178 0.4373178 228.666667
2 [25.4,27.4]   4 26.36 0.005830904 0.010204082 1.0204082 98.000000
3 [27.4,29.4]  11 28.36 0.016034985 0.026239067 2.6239067 38.111111
4 [29.4,31.4]  28 30.36 0.040816327 0.067055394 6.7055394 14.913043
5 [31.4,33.4]  57 32.36 0.083090379 0.150145773 15.0145773 6.660194
6 [33.4,35.4]  84 34.36 0.122448980 0.272594752 27.2594752 3.668449
7 [35.4,37.4]  57 36.36 0.083090379 0.355685131 35.5685131 2.811475
8 [37.4,39.4]  67 38.36 0.097667638 0.453352770 45.3352770 2.205788
9 [39.4,41.4]  74 40.36 0.107871720 0.561224490 56.1224490 1.781818
10 [41.4,43.4]  60 42.36 0.087463557 0.648688047 64.8688047 1.541573
11 [43.4,45.4]  49 44.36 0.071428571 0.720116618 72.0116618 1.388664
12 [45.4,47.4]  42 46.36 0.061224490 0.781341108 78.1341108 1.279851
13 [47.4,49.4]  38 48.36 0.055393586 0.836734694 83.6734694 1.195122
14 [49.4,51.4]  26 50.36 0.037900875 0.874635569 87.4635569 1.143333
15 [51.4,53.4]  23 52.36 0.033527697 0.908163265 90.8163265 1.101124
16 [53.4,55.4]  19 54.36 0.027696793 0.935860058 93.5860058 1.068536
17 [55.4,57.4]  17 56.36 0.024781341 0.960641399 96.0641399 1.040971
18 [57.4,59.4]   8 58.36 0.011661808 0.972303207 97.2303207 1.028486
19 [59.4,61.4]  12 60.36 0.017492711 0.989795918 98.9795918 1.010309
20 [61.4,63.4]   4 62.36 0.005830904 0.995626822 99.5626822 1.004392
21 [63.4,65.4]   1 64.36 0.001457726 0.997084548 99.7084548 1.002924
22 [65.4,67.4]   0 66.36 0.000000000 0.997084548 99.7084548 1.002924
23 [67.4,69.4]   1 68.36 0.001457726 0.998542274 99.8542274 1.001460
      perfk1      lnperfk
1 2.276667e+02 5.4278826
2 9.700000e+01 4.5747110
3 3.711111e+01 3.6139164
4 1.391304e+01 2.6328268
5 5.660194e+00 1.7334582
6 2.668449e+00 0.9814975
7 1.811475e+00 0.5941417
8 1.205788e+00 0.1871331
9 7.818182e-01 -0.2461331
10 5.415730e-01 -0.6132773
11 3.886640e-01 -0.9450401
12 2.798507e-01 -1.2734989
13 1.951220e-01 -1.6341305
14 1.433333e-01 -1.9425824
15 1.011236e-01 -2.2914118
16 6.853583e-02 -2.6803987
17 4.097117e-02 -3.1948867
18 2.848576e-02 -3.5583511
19 1.030928e-02 -4.5747110
20 4.392387e-03 -5.4278826
21 2.923977e-03 -5.8348107
22 2.923977e-03 -5.8348107
23 1.459854e-03 -6.5294188
> mod = lm(db.FR1$lnperfk~db.FR1$mid)
> mod

```

```

Call:
lm(formula = db.FR1$lnperfk ~ db.FR1$mid)

```

```

Coefficients:
(Intercept)  db.FR1$mid
 10.2044      -0.2453

```

```

> SL50 =as.numeric(-(mod$coefficients[1]/mod$coefficients[2]))
> SL50
[1] 41.60308
> hasil$Lmat = 10^((0.8979*log10(hasil$Linf))-0.0782)
> hasil$Lmat
[1] 40.37703
> hasil$Lopt = 10^((1.0421*log10(hasil$Linf))-0.2742)
> > hasil$Lopt
Error: unexpected '>' in ">"
> hasil$Lopt
[1] 47.93286
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
> CA_data2$Z=res_cc$Z
> > hasil$midLengths = NULL; hasil$catch = NULL; hasil$t_midL =
NULL;hasil$lnC_dt = NULL; hasil$reg_int = NULL; hasil$linear_mod =
NULL;hasil$confidenceInt = NULL; hasil$intercept = NULL;
hasil$linear_mod_sel = NULL; hasil$Sobs = NULL; hasil$ln_1_S_1 = NULL;
hasil$Sest = NULL
Error: unexpected '>' in ">"
> > unlist(hasil)
Error: unexpected '>' in ">"
> CA_data2$M = CA_data$M
> CA_data2$FM = as.numeric(CA_data2$Z - CA_data$M)
> CA_data2$E = CA_data2$FM / CA_data2$Z
> hasil=res_cc
> hasil$M=CA_data$M
> hasil$FM=CA_data2$FM
> hasil$E=CA_data2$E
> hasil$midLengths = NULL; hasil$catch = NULL; hasil$t_midL =
NULL;hasil$lnC_dt = NULL; hasil$reg_int = NULL; hasil$linear_mod =
NULL;hasil$confidenceInt = NULL; hasil$intercept = NULL;
hasil$linear_mod_sel = NULL; hasil$Sobs = NULL; hasil$ln_1_S_1 = NULL;
hasil$Sest = NULL
> unlist(hasil)
      Linf      K      t0      Z      M      FM
75.13800412 0.22812793 -0.57249828 0.77235349 0.31600000 0.45635349
      E      Z      se      t50      t75      t95
0.59086092 0.62353800 0.06208743 1.96321267 2.21664478 2.64244720
      L50      L75      L95
33.00379419 35.37070061 39.05190832

```

Lampiran 2 *Script* dan output R Studio *package* TrofishR untuk menghitung parameter biologi ikan *Plectropomus maculatus*

```

> CA_csv <-read.table(file.choose(), header=T)
> dates<-colnames(CA_csv)[-1]
> dates<-strsplit(dates, "X")
> dates<-unlist(lapply(dates, function(x) x[2]))
> dates<-as.Date(dates, "%Y_%d_%m")
> CA_data <- list(dates = dates, midLengths = CA_csv$midLengths, catch =
as.matrix(CA_csv[,-1]))
> class (CA_data) <- "lfq"
> CA_data$catch[is.na(CA_data$catch)] <- 0
> plot(CA_data, Fname = "catch")
> Linf.min<-as.numeric(readline(prompt="Enter Linf-min:"))
Enter Linf-min:50
> Linf.max<-as.numeric(readline(prompt="Enter Linf-max:"))
Enter Linf-max:80
> K.min<-as.numeric(readline(prompt="Enter K-min:"))
Enter K-min:0.1
> K.max<-as.numeric(readline(prompt="Enter K-max:"))
Enter K-max:0.34
> set.seed(1)
> CA_data_ELEFAN<-ELEFAN(CA_data, Linf_range = seq
(Linf.min,Linf.max,1), K_range = seq(K.min, K.max, 0.05))
Optimisation procedure of ELEFAN is running.
This will take some time.
The process bar will inform you about the process of the calculations.
|=====|
100%
> CA_data_ELEFAN$Rn_max
[1] 0.488
> plot(CA_data_ELEFAN, Fname = "catch", draw = FALSE)
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN, col=4, par=CA_data_ELEFAN$par, draw=TRUE)
$Rn_max
[1] 0.4877295
> CA_data_ELEFAN_GA<-ELEFAN_GA(CA_data, low_par=list (Linf=Linf.min,
K=K.min, t_anchor=-5, C=0, ts=0), up_par=list(Linf=Linf.max, K=K.max,
t_anchor=5, C=10, ts=-10))
Genetic algorithm is running. This might take some time.
> CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max
[1] 0.4400151
> plot(CA_data_ELEFAN_GA, Fname = "catch", draw=FALSE)
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN_GA, col=4, par=CA_data_ELEFAN_GA$par,
draw=TRUE) $Rn_max
[1] 0.4400151
> CA_data_ELEFAN_SA<-ELEFAN_SA (CA_data, init_par=list
(Linf=((Linf.max+Linf.min)/2), K=((K.max+K.min)/2), t_anchor=0, C=0,
ts=0), low_par=list(Linf=Linf.min,K=K.min, t_anchor=-5, C=0, ts=10),
up_par=list(Linf=Linf.max, K=K.max, t_anchor=5, C=10, ts=10))
Simulated annealing is running.
This will take approximately 1 minutes.
> CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max
[1] 0.4487588
> plot(CA_data_ELEFAN_GA, Fname = "catch", draw=FALSE)
> lfqFitCurves(CA_data_ELEFAN_SA, col=4, par=CA_data_ELEFAN_SA$par,
draw=TRUE) $Rn_max

```

```

[1] 0.4487588
> if(CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max>CA_data_ELEFAN$Rn_max &
CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max>CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN
_GA}
> if(CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max>CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max &
CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max>CA_data_ELEFAN$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN_SA
}
> if(CA_data_ELEFAN$Rn_max>=CA_data_ELEFAN_GA$Rn_max &
CA_data_ELEFAN$Rn_max>=CA_data_ELEFAN_SA$Rn_max){Grafik=CA_data_ELEFAN}
> Grafik=CA_data_ELEFAN_SA
> Grafik$par$t0=-10^(-0.3922-(0.2752*log10(Grafik$par$Linf))-
(1.038*log10(Grafik$par$K)))
> Grafik
$dates
[1] "2019-01-01" "2019-02-01" "2019-03-01" "2019-04-01" "2019-05-01"
[6] "2019-06-01" "2019-07-01" "2019-08-01" "2019-09-01" "2019-10-01"
[11] "2019-11-01" "2019-12-01"

$midLengths
[1] 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64
66 68
[25] 70

$catch
      X2019_1_1  X2019_1_2  X2019_1_3  X2019_1_4  X2019_1_5  X2019_1_6
X2019_1_7
[1,]          0          0          0          0          0          0
0
[2,]          0          0          0          0          0          0
1
[3,]          0          0          0          0          0          0
1
[4,]          0          0          0          0          1          0
0
[5,]          0          0          1          0          4          0
0
[6,]          1          0          0          2          0          2
0
[7,]          0          1          1          0          2          6
1
[8,]          0          0          1          2          2          4
2
[9,]          4          0          1          0          1          3
3
[10,]         2          0          2          1          1          0
1
[11,]         5          0          0          0          3          1
0
[12,]         3          0          2          0          1          1
0
[13,]         2          3          3          1          2          0
1
[14,]         2          0          0          0          1          1
0
[15,]         2          1          2          1          0          0
1
[16,]         0          3          0          2          0          1

```

2						
[17,]	1	0	0	1	3	0
0						
[18,]	1	1	1	1	0	0
4						
[19,]	0	0	0	2	2	2
6						
[20,]	1	0	0	1	1	0
3						
[21,]	0	0	1	1	1	1
3						
[22,]	0	1	2	0	1	0
2						
[23,]	2	0	0	0	1	2
2						
[24,]	0	0	0	0	1	1
2						
[25,]	0	0	0	0	0	0
1						

	X2019_1_8	X2019_1_9	X2019_1_10	X2019_1_11	X2019_1_12
[1,]	0	0	0	0	0
[2,]	0	0	0	0	0
[3,]	0	0	0	0	0
[4,]	0	0	0	0	0
[5,]	0	0	0	0	0
[6,]	0	0	0	0	0
[7,]	3	2	0	1	0
[8,]	9	5	2	2	0
[9,]	8	5	5	1	3
[10,]	7	5	6	6	7
[11,]	2	1	6	2	2
[12,]	0	1	2	5	3
[13,]	2	1	2	0	0
[14,]	1	2	0	0	1
[15,]	1	0	3	0	0
[16,]	1	0	3	0	0
[17,]	0	4	1	2	1
[18,]	0	3	2	1	1
[19,]	3	1	2	1	1
[20,]	1	0	3	0	0
[21,]	0	1	3	1	0
[22,]	1	1	1	3	0
[23,]	1	0	5	0	1
[24,]	0	0	2	1	0
[25,]	2	1	0	0	0

\$rcounts

	X2019_1_1	X2019_1_2	X2019_1_3	X2019_1_4	X2019_1_5
[1,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[2,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[3,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[4,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	-0.033299761
[5,]	0.000000000	0.000000000	0.119691869	0.000000000	0.397315695
[6,]	0.173477375	0.000000000	0.000000000	0.168911826	0.000000000
[7,]	0.000000000	0.204675573	-0.002744494	0.000000000	0.003467763
[8,]	0.000000000	0.000000000	-0.028047395	0.220258922	0.255201644
[9,]	0.093239818	0.000000000	-0.028047395	0.000000000	-0.176351884

[10,]	-0.056324499	0.000000000	0.152511652	0.070941218	-0.153999989
[11,]	0.179886873	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.699203699
[12,]	-0.023347290	0.000000000	0.029647851	0.000000000	-0.153999989
[13,]	-0.056324499	0.275763359	0.169471776	0.168911826	0.147315695
[14,]	-0.019683156	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.033200616
[15,]	0.039376856	-0.042710233	0.070753496	-0.017402542	0.000000000
[16,]	0.000000000	0.391221374	0.000000000	0.440517845	0.000000000
[17,]	-0.006858686	0.000000000	0.000000000	-0.096021086	0.214840740
[18,]	0.064636499	0.008587786	0.182191869	-0.096021086	0.000000000
[19,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.567529741	0.147315695
[20,]	0.110977375	0.000000000	0.000000000	-0.008701271	-0.033299761
[21,]	0.000000000	-0.054853338	0.038127913	0.043911826	-0.086944307
[22,]	-0.061139458	0.204675573	0.201255826	0.000000000	-0.033299761
[23,]	0.173477375	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.066401233
[24,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.127600822
[25,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
	X2019_1_6	X2019_1_7	X2019_1_8	X2019_1_9	X2019_1_10
[1,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[2,]	0.000000000	0.17916415	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[3,]	0.000000000	0.17916415	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[4,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[5,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[6,]	-0.050689865	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
[7,]	0.423611111	-0.05242098	-0.08893011	-0.06825249	0.000000000
[8,]	0.115740741	0.19523235	0.21963875	0.09084156	-0.175872270
[9,]	-0.002292506	0.54284852	0.19112620	0.11603405	0.112585414
[10,]	0.000000000	-0.05242098	0.08124668	0.18168311	0.330185470
[11,]	-0.016811714	0.000000000	-0.13768703	-0.14274091	0.330185470
[12,]	0.134837963	0.000000000	0.000000000	-0.12358674	-0.259112897
[13,]	0.000000000	0.17916415	0.21963875	-0.04058537	-0.175872270
[14,]	0.134837963	0.000000000	-0.03443707	0.25221532	0.000000000
[15,]	0.000000000	0.05416415	-0.03443707	0.000000000	0.275941524
[16,]	0.163628472	0.09761617	0.10981937	0.000000000	0.275941524
[17,]	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.25221532	-0.357488184
[18,]	0.000000000	0.14888352	0.000000000	0.12666149	-0.095154086
[19,]	0.259837963	0.41249246	0.27979679	-0.11436437	-0.095154086
[20,]	0.000000000	-0.05242098	-0.03443707	0.000000000	0.269722494
[21,]	-0.016811714	-0.02428448	0.000000000	0.08481022	-0.001463337
[22,]	0.000000000	-0.05242098	0.10981937	0.12610766	-0.413702634
[23,]	0.327256944	-0.00740258	0.01986453	0.000000000	0.558102078
[24,]	0.067418981	0.19523235	-0.12620461	-0.10329406	0.040978072
[25,]	0.000000000	0.000000000	0.23481937	0.18860766	0.000000000
	X2019_1_11	X2019_1_12			
[1,]	0.000000000	0.000000000			
[2,]	0.000000000	0.000000000			
[3,]	0.000000000	0.000000000			
[4,]	0.000000000	0.000000000			
[5,]	0.000000000	0.000000000			
[6,]	0.000000000	0.000000000			
[7,]	0.07743410	0.000000000			
[8,]	0.02389456	0.000000000			
[9,]	-0.21523144	0.03146651			
[10,]	0.96460460	0.55080831			
[11,]	-0.09610528	-0.08211294			
[12,]	0.25374477	0.01963048			
[13,]	0.000000000	0.000000000			
[14,]	0.000000000	0.01573326			

```

[15,] 0.00000000 0.00000000
[16,] 0.00000000 0.00000000
[17,] 0.40486820 0.12528868
[18,] 0.07743410 0.12528868
[19,] 0.02389456 0.12528868
[20,] 0.00000000 0.00000000
[21,] 0.01194728 0.00000000
[22,] 0.53584184 -0.10275984
[23,] -0.19100403 0.21896651
[24,] 0.03871705 0.00000000
[25,] 0.00000000 0.00000000

```

\$peaks\_mat

	X2019_1_1	X2019_1_2	X2019_1_3	X2019_1_4	X2019_1_5	X2019_1_6
X2019_1_7						
[1,]	0	0	0	0	0	0
0						
[2,]	0	0	0	0	0	0
50						
[3,]	0	0	0	0	0	0
50						
[4,]	0	0	0	0	0	0
0						
[5,]	0	0	22	0	36	0
0						
[6,]	8	0	0	29	0	0
0						
[7,]	0	15	0	0	37	43
0						
[8,]	0	0	0	30	37	43
51						
[9,]	9	0	0	0	0	0
51						
[10,]	0	0	23	31	0	0
0						
[11,]	10	0	0	0	38	0
0						
[12,]	0	0	24	0	0	44
0						
[13,]	0	16	24	32	39	0
52						
[14,]	0	0	0	0	39	45
0						
[15,]	11	0	25	0	0	0
53						
[16,]	0	17	0	33	0	46
53						
[17,]	0	0	0	0	40	0
0						
[18,]	12	18	26	0	0	0
54						
[19,]	0	0	0	34	41	47
54						
[20,]	13	0	0	0	0	0
0						
[21,]	0	0	27	35	0	0
0						

142

[22,]	0	19	27	0	0	0
0						
[23,]	14	0	0	0	42	48
0						
[24,]	0	0	0	0	42	48
55						
[25,]	0	0	0	0	0	0
0						

	X2019_1_8	X2019_1_9	X2019_1_10	X2019_1_11	X2019_1_12
[1,]	0	0	0	0	0
[2,]	0	0	0	0	0
[3,]	0	0	0	0	0
[4,]	0	0	0	0	0
[5,]	0	0	0	0	0
[6,]	0	0	0	0	0
[7,]	0	0	0	78	0
[8,]	57	64	0	78	0
[9,]	57	64	71	0	85
[10,]	57	64	71	79	85
[11,]	0	0	71	0	0
[12,]	0	0	0	80	86
[13,]	58	0	0	0	0
[14,]	0	65	0	0	87
[15,]	0	0	72	0	0
[16,]	59	0	72	0	0
[17,]	0	66	0	81	88
[18,]	0	66	0	81	88
[19,]	60	0	0	81	88
[20,]	0	0	73	0	0
[21,]	0	67	0	82	0
[22,]	61	67	0	82	0
[23,]	61	0	74	0	89
[24,]	0	0	74	83	0
[25,]	62	68	0	0	0

\$ASP

[1] 16.35013

\$MA

[1] 5

\$ncohort

[1] 23

\$agemax

[1] 21

\$par

\$par\$Linf

[1] 78.41628

\$par\$K

[1] 0.1478954

\$par\$t\_anchor

[1] -2.820481

```

$par$phiL
[1] 2.958767

$par$t0
[1] -0.8872507

$fESP
[1] 0.4487588

$Rn_max
[1] 0.4487588

attr(,"class")
[1] "lfg"
> t <- seq(0,((Grafik$agemax)+21),0.1)
> Lt <- VBGF(list(Linf=Grafik$par$Linf, K=Grafik$par$K,
t0=Grafik$par$t0),t=t)
> plot(t, Lt, t="l")
> Grafik$Linf=78.42
> Grafik$K=0.1478954
> Grafik$agemax=21
> M=M_empirical(Linf = Grafik$Linf, K_l = Grafik$K, temp = 20,
tmax=Grafik$agemax, method = c("Pauly_Linf","Hoenig","Then_growth"))
> M=as.numeric(M)
> M
[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> CA_data$M=0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> CA_data$M=M
> M
[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> CA_data$M=0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> CA_data$M=M
> M
[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> CA_data$M=0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> CA_data$M=M
> M
[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> CA_data$M=0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> CA_data$M=M
> M
[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> CA_data$M=0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> CA_data$M=M
> M

```

```

[1] 0.212 0.199 0.335 0.242
> panjang <-read.table(file.choose(), header=T)
> min=min(panjang$Length)
> max=max(panjang$Length)
> bins=seq(min,max+1,by = 2)
> mid=seq(min+1,max,by = 2)
> FR=cut(panjang$Length, bins, include.lowest = TRUE, right = TRUE)
> db.FR=transform(table(FR))
> db.FR
      FR Freq
1 [23.1,25.1]  2
2 (25.1,27.1]  0
3 (27.1,29.1]  3
4 (29.1,31.1]  6
5 (31.1,33.1] 11
6 (33.1,35.1] 26
7 (35.1,37.1] 27
8 (37.1,39.1] 43
9 (39.1,41.1] 28
10 (41.1,43.1] 14
11 (43.1,45.1] 21
12 (45.1,47.1] 12
13 (47.1,49.1] 11
14 (49.1,51.1] 11
15 (51.1,53.1] 11
16 (53.1,55.1] 17
17 (55.1,57.1] 15
18 (57.1,59.1] 13
19 (59.1,61.1] 14
20 (61.1,63.1] 13
21 (63.1,65.1] 14
22 (65.1,67.1]  6
23 (67.1,69.1]  7
> db.FR$mid=mid
> CA_data2=synLFQ3
> CA_data2$midLengths=db.FR$mid
> CA_data2$catch=as.matrix(db.FR$Freq)
> CA_data2$catch=as.numeric(CA_data2$catch)
> CA_data2$Linf=Grafik$par$Linf
> CA_data2$K=Grafik$par$K
> CA_data2$t0=Grafik$par$t0
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
> CA_data2$Z=res_cc$Z
> CA_data2$M = CA_data$M
> CA_data2$FM = as.numeric(CA_data2$Z - CA_data$M)
> CA_data2$E = CA_data2$FM / CA_data2$Z
> hasil=res_cc
> CA_data$M =0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> hasil$M=CA_data$M
> hasil$FM=CA_data2$FM
> hasil$E=CA_data2$E
> hasil$midLengths = NULL; hasil$catch = NULL; hasil$t_midL =
NULL;hasil$lnC_dt = NULL; hasil$reg_int = NULL; hasil$linear_mod =

```

```

NULL;hasil$confidenceInt = NULL; hasil$intercept = NULL;
hasil$linear_mod_sel = NULL; hasil$Sobs = NULL; hasil$ln_1_S_1 = NULL;
hasil$Sest = NULL
> unlist(hasil)
      Linf          K          t0          Z          se          t50
78.41628417 0.14789544 -0.88725068 0.29260809 0.05035357 2.92637743
      t75          t95          L50          L75          L95          M
3.43716091 4.29535064 33.80381416 37.04980503 41.98060378 0.21200000
      FM1          FM2          FM3          FM4          E1          E2
0.08060809 0.09360809 -0.04239191 0.05060809 0.27548141 0.31990944
      E3          E4
-0.14487608 0.17295519
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
Warning message:
In log((1/Sobs) - 1) : NaNs produced
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
Warning message:
In log((1/Sobs) - 1) : NaNs produced
> res_cc <- catchCurve(CA_data2, calc_ogive = TRUE, reg_int = NULL)
Please choose the minimum and maximum point in the graph
to include for the regression line!
> CA_data2$Z=res_cc$Z
> CA_data2$M = CA_data$M
> CA_data2$FM = as.numeric(CA_data2$Z - CA_data$M)
> CA_data2$E = CA_data2$FM / CA_data2$Z
> hasil=res_cc
> CA_data$M =0.212
> CA_data$M
[1] 0.212
> hasil$M=CA_data$M
> hasil$FM=CA_data2$FM
> hasil$E=CA_data2$E
> hasil$midLengths = NULL; hasil$catch = NULL; hasil$t_midL =
NULL;hasil$lnC_dt = NULL; hasil$reg_int = NULL; hasil$linear_mod =
NULL;hasil$confidenceInt = NULL; hasil$intercept = NULL;
hasil$linear_mod_sel = NULL; hasil$Sobs = NULL; hasil$ln_1_S_1 = NULL;
hasil$Sest = NULL
> unlist(hasil)
      Linf          K          t0          Z          M          FM
78.41628417 0.14789544 -0.88725068 0.29260809 0.21200000 0.08060809
      E          Z          se          t50          t75          t95
0.27548141 0.24833263 0.03395750 3.09594431 3.75391667 4.85940488
      L50          L75          L95
34.90870101 38.94299816 44.89678020
> db.FR1=db.FR
> db.FR1$f = db.FR1$Freq/sum(db.FR1$Freq)
> db.FR1$fk = cumsum(db.FR1$f)
> db.FR1$fk100 = 100*(cumsum(db.FR1$f))
> db.FR1$perfk = 1/db.FR1$fk
> db.FR1$perfk1 = db.FR1$perfk-1
> db.FR1$lnperfk = log(db.FR1$perfk1) #this is LN in excel
> db.FR1 = db.FR1[!db.FR1$lnperfk == "-Inf", ]
> db.FR1

```

```

      FR Freq  mid      f      fk      fk100      perfk
1 [23.1,25.1]  2 24.08 0.006153846 0.006153846 0.6153846 162.500000
2 (25.1,27.1]  0 26.08 0.000000000 0.006153846 0.6153846 162.500000
3 (27.1,29.1]  3 28.08 0.009230769 0.015384615 1.5384615 65.000000
4 (29.1,31.1]  6 30.08 0.018461538 0.033846154 3.3846154 29.545455
5 (31.1,33.1] 11 32.08 0.033846154 0.067692308 6.7692308 14.772727
6 (33.1,35.1] 26 34.08 0.080000000 0.147692308 14.7692308 6.770833
7 (35.1,37.1] 27 36.08 0.083076923 0.230769231 23.0769231 4.333333
8 (37.1,39.1] 43 38.08 0.132307692 0.363076923 36.3076923 2.754237
9 (39.1,41.1] 28 40.08 0.086153846 0.449230769 44.9230769 2.226027
10 (41.1,43.1] 14 42.08 0.043076923 0.492307692 49.2307692 2.031250
11 (43.1,45.1] 21 44.08 0.064615385 0.556923077 55.6923077 1.795580
12 (45.1,47.1] 12 46.08 0.036923077 0.593846154 59.3846154 1.683938
13 (47.1,49.1] 11 48.08 0.033846154 0.627692308 62.7692308 1.593137
14 (49.1,51.1] 11 50.08 0.033846154 0.661538462 66.1538462 1.511628
15 (51.1,53.1] 11 52.08 0.033846154 0.695384615 69.5384615 1.438053
16 (53.1,55.1] 17 54.08 0.052307692 0.747692308 74.7692308 1.337449
17 (55.1,57.1] 15 56.08 0.046153846 0.793846154 79.3846154 1.259690
18 (57.1,59.1] 13 58.08 0.040000000 0.833846154 83.3846154 1.199262
19 (59.1,61.1] 14 60.08 0.043076923 0.876923077 87.6923077 1.140351
20 (61.1,63.1] 13 62.08 0.040000000 0.916923077 91.6923077 1.090604
21 (63.1,65.1] 14 64.08 0.043076923 0.960000000 96.0000000 1.041667
22 (65.1,67.1]  6 66.08 0.018461538 0.978461538 97.8461538 1.022013
      perfk1      lnperfk
1 161.50000000 5.08450514
2 161.50000000 5.08450514
3  64.00000000 4.15888308
4  28.54545455 3.35149771
5  13.77272727 2.62269035
6   5.77083333 1.75281650
7   3.33333333 1.20397280
8   1.75423729 0.56203417
9   1.22602740 0.20377918
10  1.03125000 0.03077166
11  0.79558011 -0.22868373
12  0.68393782 -0.37988827
13  0.59313725 -0.52232945
14  0.51162791 -0.67015766
15  0.43805310 -0.82541515
16  0.33744856 -1.08634220
17  0.25968992 -1.34826697
18  0.19926199 -1.61313477
19  0.14035088 -1.96360973
20  0.09060403 -2.40125662
21  0.04166667 -3.17805383
22  0.02201258 -3.81614123
> mod = lm(db.FR1$lnperfk~db.FR1$mid)
> mod

Call:
lm(formula = db.FR1$lnperfk ~ db.FR1$mid)

Coefficients:
(Intercept)  db.FR1$mid
      8.6843      -0.1866

> SL50 =as.numeric(-(mod$coefficients[1]/mod$coefficients[2]))

```

```
> SL50
[1] 46.54719
> hasil$Lmat = 10^((0.8979*log10(hasil$Linf))-0.0782)
> hasil$Lmat
[1] 41.95535
> hasil$Lopt = 10^((1.0421*log10(hasil$Linf))-0.2742)
> hasil$Lopt
[1] 50.1142
```

Lampiran 3 Nilai *spawning potential ratio* *Plectropomus leopardus* pada [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au)

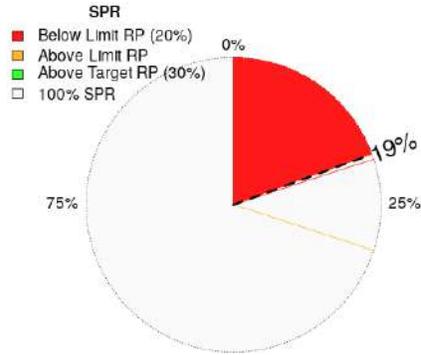
Model Estimates (95% confidence intervals)

Years	SPR	SL50	SL95	F/M
1	2019 0.19 (0.16 - 0.23)	33.48 (32.58 - 34.38)	38.94 (37.21 - 40.67)	1.62 (1.35 - 1.89)

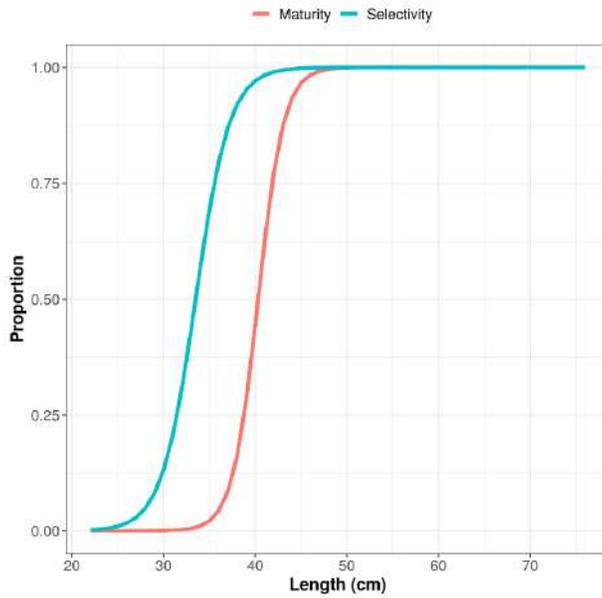
[Download](#)

Estimated Spawning Potential and Reference Points

Note: if multiple years, only the estimate from the last year is shown



Maturity-at-length



Lampiran 4 Nilai *spawning potential ratio* *Plectropomus maculatus* pada [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au)

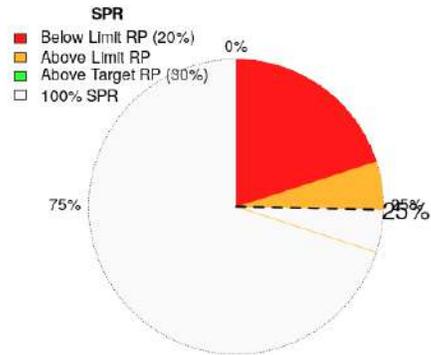
Model Estimates (95% confidence intervals)

Years	SPR	SL50	SL95	F/M
1	2019 0.25 (0.19 - 0.32)	34.36 (33.17 - 35.55)	39.95 (37.75 - 42.15)	1.22 (0.9 - 1.54)

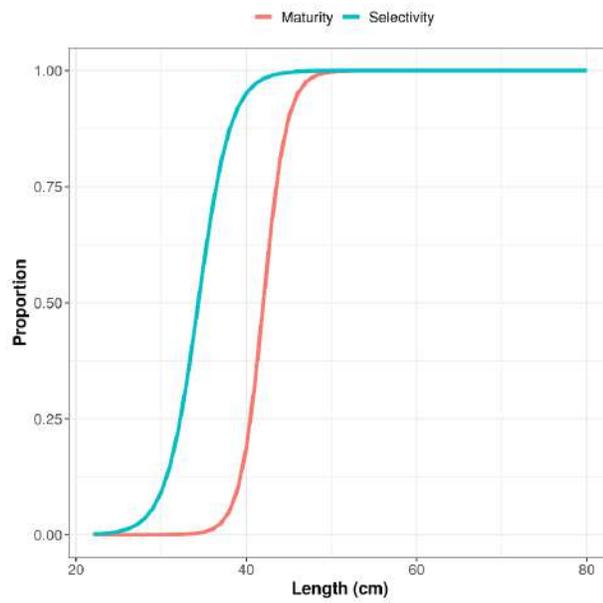
[Download](#)

Estimated Spawning Potential and Reference Points

Note: if multiple years, only the estimate from the last year is shown



Maturity-at-length



Lampiran 5 Nilai *spawning potential ratio Epinephelus coioides* pada [www.barefootecologist.com.au](http://www.barefootecologist.com.au)

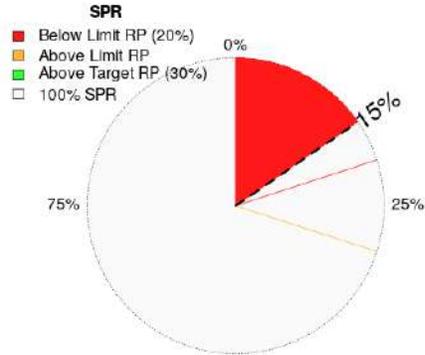
Model Estimates (95% confidence intervals)

Years	SPR	SL50	SL95	F/M
1	0.15 (0.13 - 0.18)	50.03 (48.42 - 51.64)	61.48 (58.78 - 64.18)	2.3 (1.9 - 2.7)

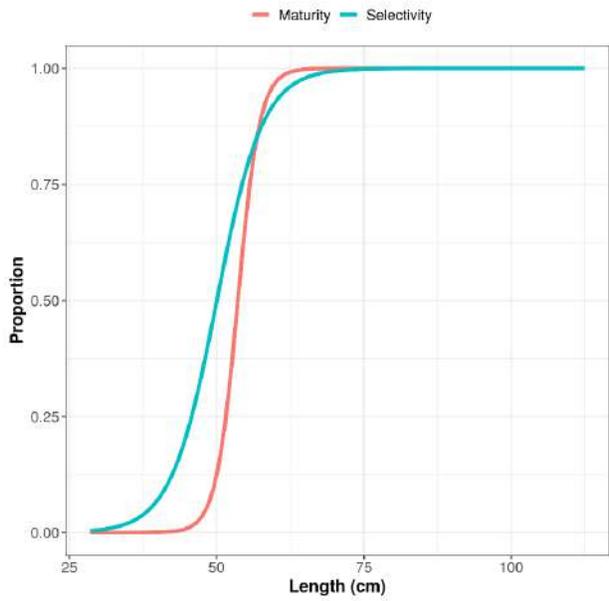
[Download](#)

Estimated Spawning Potential and Reference Points

Note: if multiple years, only the estimate from the last year is shown



Maturity-at-length



Lampiran 6 Hasil olahan Trofish R untuk menghitung parameter biologi *Surplus Production Model*

```
>> setwd("D:/#0Hasil Penelitian")
> library(TropFishR)
> data_kerapu<- read.csv("grouper1.csv", stringsAsFactors = TRUE, header = TRUE)
> prod_mod(data_kerapu, plot = TRUE)
$year
 [1] 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

$Y
 [1] 3773.13 3347.70 3766.35 3224.11 4089.62 4401.09 4442.51 3797.56
5652.77 3992.30

$f
 [1] 524448 454752 580896 679392 757440 835200 796608 857088
1008000 995904

$CPUE
 [1] 0.007194479 0.007361595 0.006483691 0.004745581 0.005399266 0.00
5269504
 [7] 0.005576783 0.004430770 0.005607907 0.004008720

$Schaefer_lm
 [1] 9.155752e-03 -4.737051e-09

$ln_CPUE
 [1] -4.934441 -4.911479 -5.038465 -5.350541 -5.221492 -5.245819 -5.1
89143 -5.419182
 [9] -5.183578 -5.519283

attr(,"class")
 [1] "prod_mod"

> prod_mod_ts(data_kerapu, method = "Schaefer")
$year
 [1] 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018

$Y
 [1] 3773.13 3347.70 3766.35 3224.11 4089.62 4401.09 4442.51 3797.56
5652.77 3992.30

$f
 [1] 524448 454752 580896 679392 757440 835200 796608 857088
1008000 995904

$method
 [1] "Schaefer"

$CPUE
 [1] 0.007194479 0.007361595 0.006483691 0.004745581 0.005399266 0.00
5269504
 [7] 0.005576783 0.004430770 0.005607907 0.004008720

$Bvec
```

152

```
[1] 10542.660 8969.517 8976.400 8560.714 8906.077 8206.690 753  
2.788 7044.884  
[9] 7307.009 5663.691
```

\$CPUE\_hat

```
[1] 0.007232058 0.006152913 0.006157634 0.005872482 0.006109395 0.00  
5629629  
[7] 0.005167345 0.004832652 0.005012465 0.003885181
```

\$K

```
[1] 12528.31
```

\$r

```
[1] 1.316615
```

\$q

```
[1] 6.859804e-07
```

\$MSY

```
[1] 4123.742
```

\$Bmsy

```
[1] 6264.157
```

\$Emsy

```
[1] 959659.4
```

\$Fmsy

```
[1] 0.6583076
```

attr(,"class")

```
[1] "prod_mod_ts"
```

## Lampiran 7 Hasil regresi CPUE dan effort dengan data analysis excel

Regression Statistics	
Multiple R	0.82133
R Square	0.67458
Adjusted R Square	0.63391
Standard Error	0.00070
Observations	10

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.00000823	0.00000823	16.58382599	0.00357190
Residual	8	0.00000397	0.00000050		
Total	9	0.00001220			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	0.0091815889	0.0009123072	10.064142267	0.00000809
Upaya (E)	0.0000000048	0.0000000012	-4.0723243966	0.00357190

## Lampiran 8 Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi MEY

```

> restart;
> q := 6.859e-07; K := 12528; r := 1.316; c := 0.033;
      q := 6.859 × 10-7
      K := 12528
      r := 1.316
      c := 0.033

> m := 41.993; n := -0.002;
      m := 41.993
      n := -0.002

> a := K·q; b :=  $\frac{q^2 \cdot K}{r}$ ;
      a := 0.0085929552
      b := 4.478653474 × 10-9

> p := m + n·hmey;
      p := -0.002 hmey + 41.993

> MC :=  $\frac{c}{\text{sqrt}(a^2 - 4 \cdot b \cdot hmey)}$ ;
      MC :=  $\frac{0.033}{\sqrt{-1.791461390 \times 10^{-8} hmey + 0.00007383887907}}$ 

> solve(MC = p, (hmey));
      4068.677528

> hmey := 4068.677; p := m + n·hmey;
      hmey := 4068.677
      p := 33.855646

>
Emey :=  $\frac{r}{2 \cdot q} \left( 1 - \frac{c}{p \cdot q \cdot K} \right)$ ; Xmey :=  $\frac{K}{2} \left( 1 + \frac{c}{p \cdot q \cdot K} \right)$ ; hmey := hmey; TRmey := p
·hmey; TCmey := c·Emey; phimey := TRmey - TCmey;
      Emey := 850504.3545
      Xmey := 6974.545735
      hmey := 4068.677
      TRmey := 137747.6882
      TCmey := 28066.64370
      phimey := 109681.0445

>

```

## Lampiran 9 Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi MSY

```

> restart;
> q := 6.859e-07; K := 12528; r := 1.316; c := 0.033;
      q := 6.859 × 10-7
      K := 12528
      r := 1.316
      c := 0.033

> m := 41.993; n := -0.002;
      m := 41.993
      n := -0.002

> p := m + n·hmsy;
      p := -0.002·hmsy + 41.993

>
Emsy :=  $\frac{r}{2 \cdot q}$ ; Xmsy :=  $\frac{K}{2}$ ; hmsy :=  $\frac{r \cdot K}{4}$ ; TRmsy := p·hmsy; TCmsy := c·Emsy;
phimsy := TRmsy - TCmsy;
      Emsy := 959323.5165
      Xmsy := 6264
      hmsy := 4121.712000
      TRmsy := 139106.0324
      TCmsy := 31657.67604
      phimsy := 107448.3564

```

Lampiran 10 Algoritma MAPLE metode Copes pada kondisi *open access* (OA)

```

> restart;
> q := 6.859e-07; K := 12528; r := 1.316; c := 0.033;
      q := 6.859 × 10-7
      K := 12528
      r := 1.316
      c := 0.033
> m := 41.993; n := -0.002;
      m := 41.993
      n := -0.002
> h :=  $\frac{p}{n} - \frac{m}{n}$ ;
      h := -500.0000000p + 20996.50000
> hoa :=  $\frac{r \cdot c}{p \cdot q} \left( 1 - \frac{c}{p \cdot q \cdot K} \right)$ ;
      hoa :=  $\frac{63315.35209 \left( 1 - \frac{3.840355178}{p} \right)}{p}$ 
> fsolve(hoa = h, (p));
      39.07049285
> p := 39.070;
      p := 39.070
>
Eoa :=  $\frac{r}{q} \left( 1 - \frac{c}{p \cdot q \cdot K} \right)$ ; Xoa :=  $\frac{c}{p \cdot q}$ ; hoa :=  $\frac{r \cdot c}{p \cdot q} \left( 1 - \frac{c}{p \cdot q \cdot K} \right)$ ; TRoa := p · hoa;
TCoa := c · Eoa; phioa := TRoa - TCoa;
      Eoa := 1.730055119 × 106
      Xoa := 1231.429989
      hoa := 1461.270001
      TRoa := 57091.81894
      TCoa := 57091.81894
      phioa := 0

```

Lampiran 11 Hasil model regresi *step-wise* persamaan inefisiensi penangkapan dengan aplikasi online [www.swanstatistic.com](http://www.swanstatistic.com)

Pendugaan Model regresi:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.208	0.3572	3.382	0.001823
EXP	-0.01152	0.006205	-1.857	0.07199
HOUSEHOLD_SIZE	-0.2099	0.04804	-4.369	0.000111
TRIP	0.01755	0.01024	1.715	0.0955
GT	-0.3068	0.1175	-2.611	0.01334
NUM_HOOK	0.001635	0.000402	4.067	0.0002671

Fitting linear model:  $U \sim EXP + HOUSEHOLD\_SIZE + TRIP + GT + NUM\_HOOK -$

Observations	Residual Std. Error	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>
50	0.2584	0.565	0.501

Tabel Anova:

	Res.Df	RSS	Df	Sum of Sq	F	Pr(>F)
	39	5.218355	NA	NA	NA	NA
	34	2.270118	5	2.948237	8.831264	1.9e-05
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
EXP	1	0.0382681	0.0382681	0.5731487	0.4542252	
HOUSEHOLD_SIZE	1	1.0367164	1.0367164	15.5271030	0.0003840	
TRIP	1	0.5847182	0.5847182	8.7574383	0.0055816	
GT	1	0.1841517	0.1841517	2.7580756	0.1059605	
NUM_HOOK	1	1.1043828	1.1043828	16.5405552	0.0002671	
Residuals	34	2.2701181	0.0667682	NA	NA	

Seleksi Variabel:

```
## Start: AIC=-102.76
## U ~ EXP + HOUSEHOLD_SIZE + TRIP + GT + NUM_HOOK
##
##           Df Sum of Sq  RSS    AIC
## <none>                2.2701 -102.762
## - TRIP                1  0.19632  2.4664 -101.444
## - EXP                 1  0.23025  2.5004 -100.898
## - GT                  1  0.45517  2.7253  -97.452
## - NUM_HOOK            1  1.10438  3.3745  -88.905
## - HOUSEHOLD_SIZE     1  1.27466  3.5448  -86.936
##
## Call:
## lm(formula = U ~ EXP + HOUSEHOLD_SIZE + TRIP + GT + NUM_HOOK,
##     data = data.reg.gnd3)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.55682 -0.14482  0.01616  0.15360  0.43387
##
## Coefficients:
```

```
##          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.207995  0.357164  3.382 0.001823 **
## EXP        -0.011523  0.006205 -1.857 0.071990 .
## HOUSEHOLD_SIZE -0.209906  0.048041 -4.369 0.000111 ***
## TRIP        0.017551  0.010236  1.715 0.095499 .
## GT         -0.306808  0.117507 -2.611 0.013336 *
## NUM_HOOK    0.001635  0.000402  4.067 0.000267 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.2584 on 34 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.565, Adjusted R-squared:  0.501
## F-statistic: 8.831 on 5 and 34 DF, p-value: 1.899e-05
```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	1.208	0.3572	3.382	0.001823
EXP	-0.01152	0.006205	-1.857	0.07199
HOUSEHOLD_SIZE	-0.2099	0.04804	-4.369	0.000111
TRIP	0.01755	0.01024	1.715	0.0955
GT	-0.3068	0.1175	-2.611	0.01334
NUM_HOOK	0.001635	0.000402	4.067	0.0002671

Asumsi klasik

EXP	HOUSEHOLD_SIZE	TRIP	GT	NUM_HOOK
1.362	1.12	1.312	1.22	1.403

Uji Autokorelasi -

Test statistic	P value	Alternative hypothesis
1.862	0.329	true autocorrelation is greater than 0

Uji homogenitas -

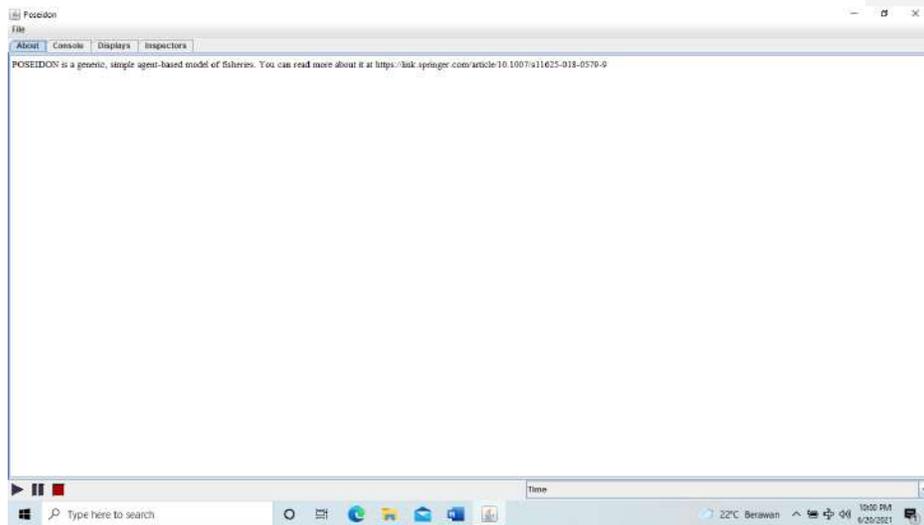
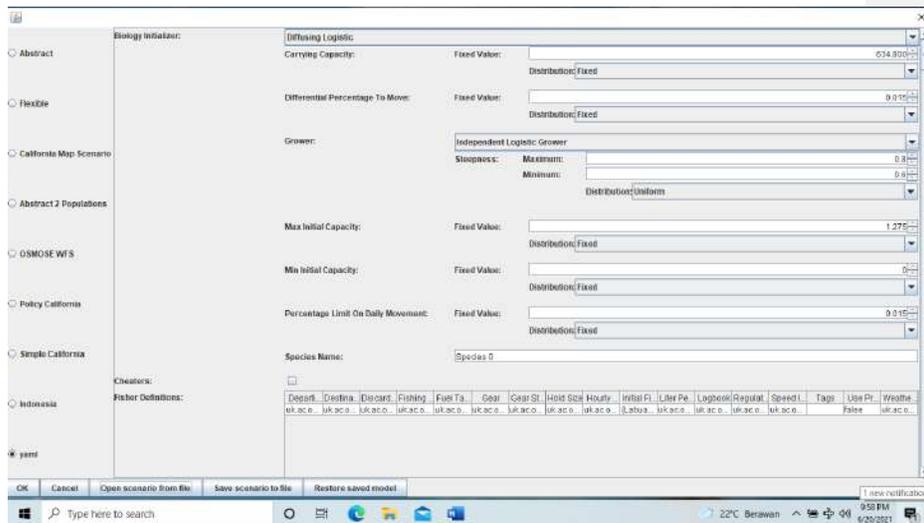
Test statistic	df	P value
1.427	5	0.9214

Uji kenormalan Kolmogorov-Smirnov -

Test statistic	P value	Alternative hypothesis
0.09213	0.8555	two-sided

Keterangan: Pengalaman nelayan : experience (EXP), tanggungan keluarga: HOUSEHOLD\_SIZE, jumlah pancing (NUM\_HOOK)

## Lampiran 12 Tampilan fitur POSEIDON untuk pengisian parameter



## Lampiran 13 POSEIDON format input data (\*.yaml)

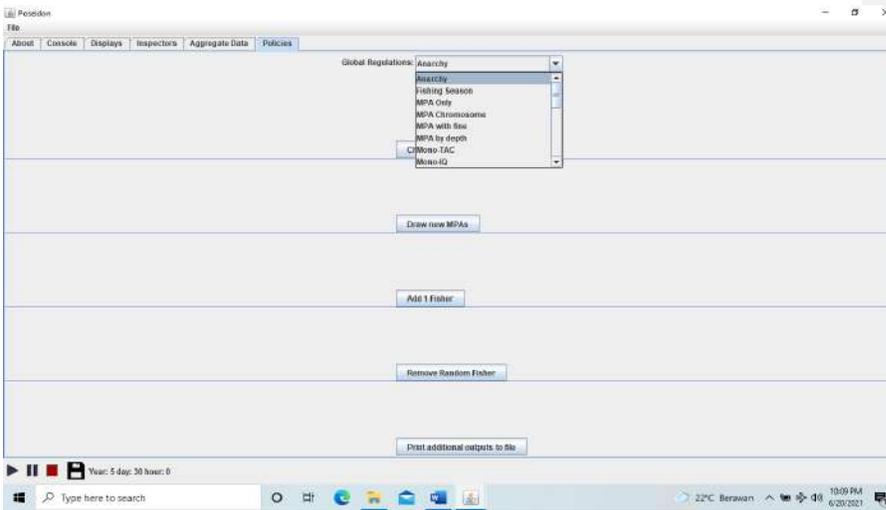
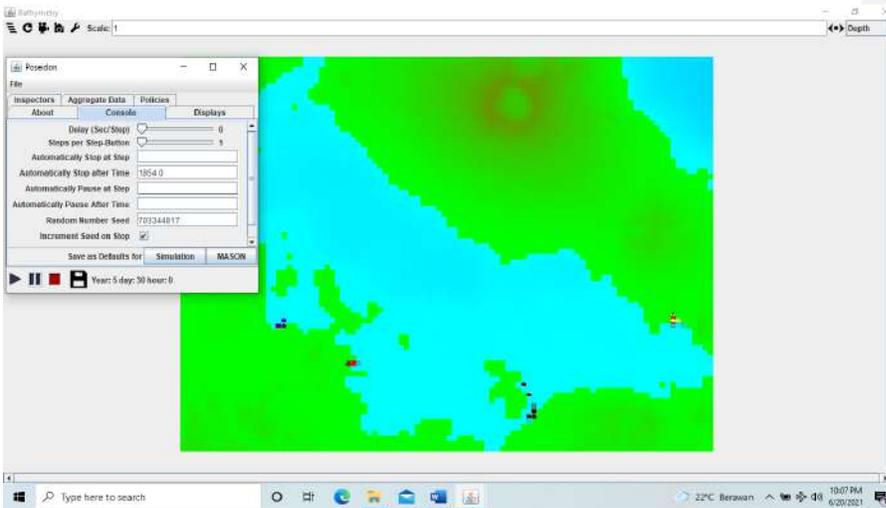
```

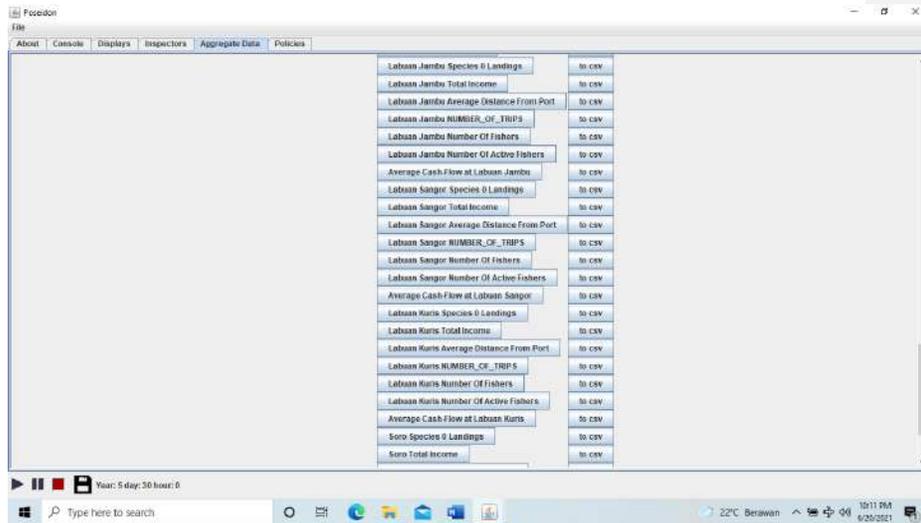
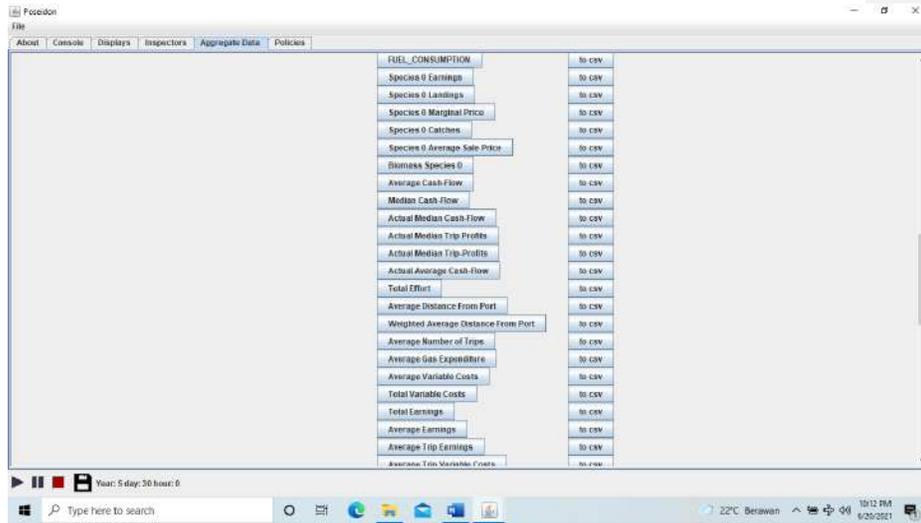
Flexible:
  biologyInitializer:
    Diffusing Logistic:
      differentialPercentageToMove: '0.0146'
      grower:
        Independent Logistic Grower:
          steepness: uniform 0.6 0.8
          maxInitialCapacity: '1.275'
          minInitialCapacity: '0.0'
          percentageLimitOnDailyMovement: '0.0146'
          speciesName: Species 0
  cheaters: false
  fisherDefinitions:
  - departingStrategy:
      Fixed Rest:
        hoursBetweenEachDeparture: '12.0'
      destinationStrategy:
        Imitator-Explorerator:
          alwaysCopyBest: true
          automaticallyIgnoreAreasWhereFishNeverGrows: false
          automaticallyIgnoreMPAs: false
          backtracksOnBadExploration: true
          dropInUtilityNeededForUnfriend: '-1.0'
          ignoreEdgeDirection: true
          ignoreFailedTrips: false
          maxInitialDistance: -1.0
          objectiveFunction:
            Hourly Profit Objective:
              opportunityCosts: true
          probability:
            Adaptive Probability:
              explorationProbability: '0.2'
              explorationProbabilityMinimum: '0.01'
              imitationProbability: '1.0'
              incrementMultiplier: '0.02'
          stepSize: uniform 1.0 10.0
      discardingStrategy: No Discarding
      fishingStrategy:
        Until Full With Day Limit:
          daysAtSea: '1.0'
      fuelTankSize: '20.0'
  gear:
    Random Catchability:
      gasPerHourFished: '0.5'
      meanCatchabilityFirstSpecies: '6.8E-7'
      meanCatchabilityOtherSpecies: '6.9E-7'
      standardDeviationCatchabilityFirstSpecies: '0.0'
      standardDeviationCatchabilityOtherSpecies: '0.0'

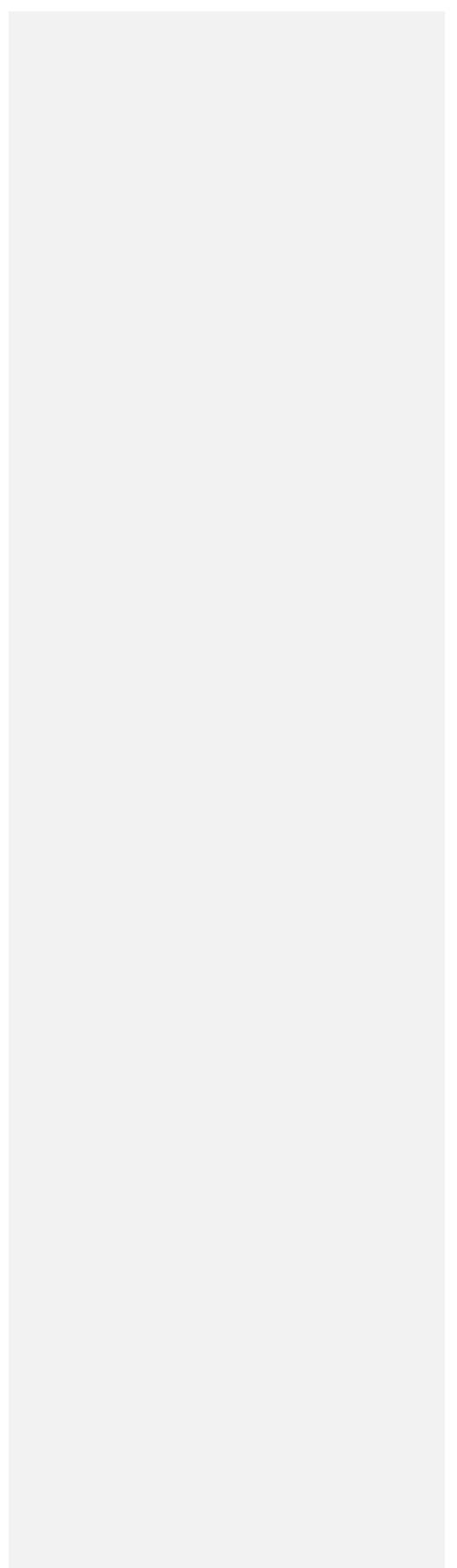
```

```
gearStrategy: Never Change Gear
holdSize: '40.0'
hourlyVariableCost: '0.0'
initialFishersPerPort:
  Labuan Jambu: 51
  Labuan Sangoro: 82
  Labuan Kuris: 97
  Soro: 218
literPerKilometer: '0.5'
logbook: No Logbook
regulation: Anarchy
speedInKmh: '15.0'
tags: ''
usePredictors: false
weatherStrategy: Ignore Weather
gasPricePerLiter: '6000.0'
habitatInitializer: All Sand
mapInitializer:
  From File Map:
    gridWidthInCell: '100.0'
    header: true
    latLong: true
    mapFile: D:\@Poseidon\Software POSEIODON\NEW_teluk_saleh.csv
mapMakerDedicatedRandomSeed: 0
market:
  Fixed Price Market:
    marketPrice: '46000.0'
networkBuilder:
  Equal Out Degree:
    allowMutualFriendships: true
    degree: '2.0'
    equalOutDegree: true
plugins: [
]
portInitializer:
  List of Ports:
    ports:
      Labuan Jambu: 118.017652,-8.696338
      Labuan Sangoro: 117.754197,-8.615850
      Labuan Kuris: 117.662300,-8.563888
      Soro: 118.226833,-8.550654
    usingGridCoordinates: false
portSwitching: false
weatherInitializer:
  Constant Weather:
    temperature: '30.0'
    windOrientation: '0.0'
    windSpeed: '0.0'
```

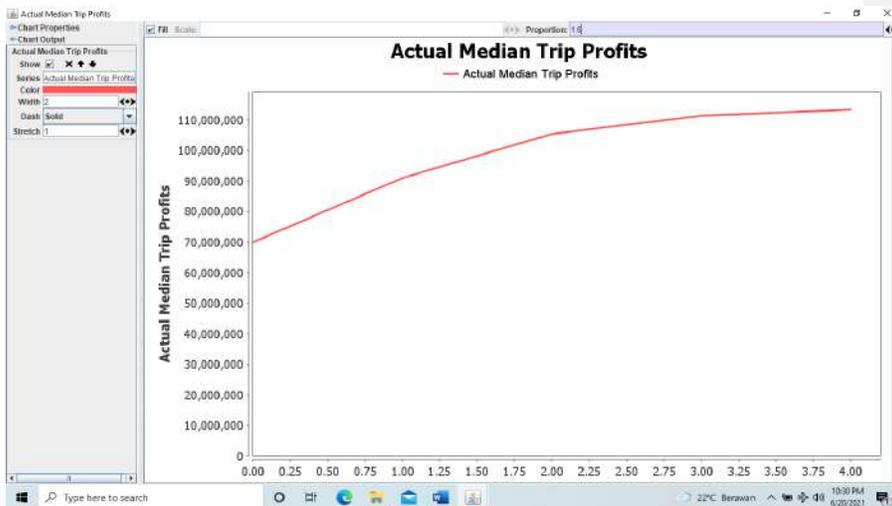
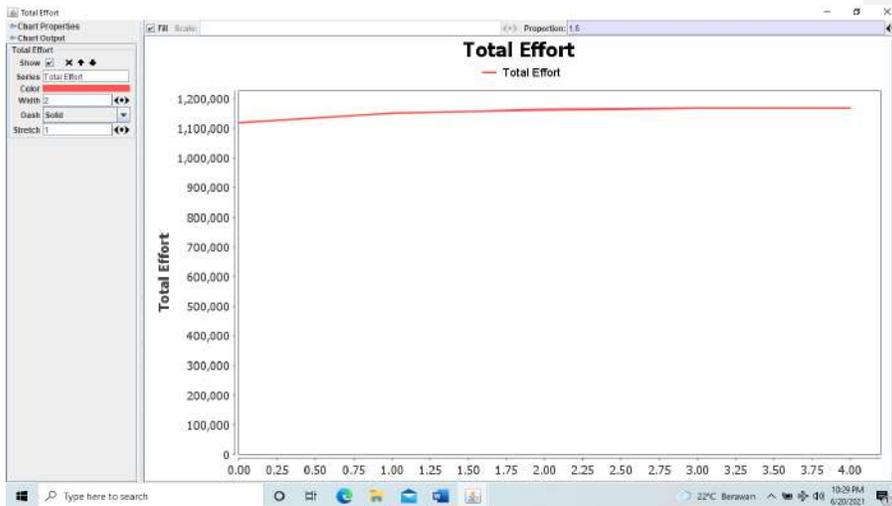
## Lampiran 14 Tampilan fitur POSEIDON saat eksekusi program dan opsi kebijakan



Lampiran 15 Tampilan fitur POSEIDON menu output *Aggregate Data*



## Lampiran 16 Contoh hasil simulasi POSEIDON



## RIWAYAT HIDUP

Penulis terlahir sebagai anak ke dua dari tiga bersaudara pasangan Bapak Carsu dan Emih Rusniti (kedua orang tua kini sudah almarhum) di Karangsembung Cirebon. Pendidikan dasar dan menengah penulis ditempuh di kampung halamannya. Baru setelah lulus SMA penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan tinggi di IPB melalui jalur USMI. Penulis memperoleh gelar Sarjana Perikanan di Program Studi Sosial Ekonomi Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan pada tahun 1999 dan menyelesaikan program magister (S-2) di Program Studi Ilmu Ekonomi Pertanian pada tahun 2007 dengan biaya sendiri. Pada tahun 2017, penulis diterima sebagai mahasiswa program doktor (S-3) di Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan pada Sekolah Pascasarjana IPB dengan beasiswa pendidikan dari Pusat Pendidikan Kelautan dan Perikanan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP).

Penulis bekerja sebagai pegawai negeri sipil (PNS) di KKP sejak tahun 2002 dan ditempatkan di Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap (DJPT). Penulis beberapa kali diberikan amanat sebagai Kepala Sub Direktorat (Eselon III) di lingkup DJPT sebelum melanjutkan studi di Sekolah Pascasarjana IPB.

Selama mengikuti program S-3, penulis menghasilkan beberapa karya ilmiah yang dipublikasikan di jurnal bereputasi baik nasional maupun internasional, yaitu (1) Analisis Bioekonomi Spasial Perikanan Kerapu dalam Kerangka Pengelolaan Perikanan di Teluk Saleh (*Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan/ Terakreditasi Kemeristekdikti-Sinta 2*, volume: 10(3):338-351), (2) *The economic performance of grouper (Serranidae) and snapper (Lutjanidae) fisheries in Saleh Bay, Indonesia (AACL Bioflux/ Terindeks Scopus Q3)*, volume: 13(6): 3556-3565, (3) *The performance of stock indicators of grouper (Serranidae) and snapper (Lutjanidae) fisheries in Saleh Bay, Indonesia (AACL Bioflux*, volume: 13(5):2431-2444), (4) *Stock Performance and Fishers Perception of Grouper and Snapper Fisheries in Saleh Bay, Indonesia (status accepted in IJASEIT/ Terindeks Scopus Q2)*, (5) *An evaluation of grouper and snapper fisheries management policy under data-poor conditions in the Saleh Bay (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science)*. Karya ilmiah yang kelima telah disajikan pada International Symposium on Aquatic Sciences and Resources Management (IS-ARM H2O) 2020. Penulis juga telah mepresentasikan bagian dari disertasi ini pada Seminar Nasional Riset dan Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan yang diselenggarakan KKP berkerjasama CSF dan Indonesian Marine and Fisheries Socio-Economics Research Network (IMFISERN) tahun 2020.

