

Buku Monograf

**Optimalisasi
Keuntungan
Usaha Budidaya
Ikan
dengan Bioekonomi**

Dr. Dian Wijayanto, S.Pi, M.M., M.S.E.

Faik Kurohman, S.Pi., M.Si.

Ristiawan Agung Nugroho, S.Pi., M.Si

Universitas Diponegoro

2017

Buku Monograf

Optimalisasi Keuntungan Usaha Budidaya Ikan dengan Bioekonomi

Disusun oleh:

Dr. Dian Wijayanto, S.Pi., M.M., M.S.E.

Faik Kurohman, S.Pi., M.Si.

Ristiawan Agung Nugroho, S.Pi., M.Si.



**Universitas Diponegoro
Semarang, 2017**

Kata Pengantar

Kajian aplikasi bioekonomi untuk budidaya ikan memang belum sebanyak pada bidang perikanan tangkap. Namun, bioekonomi untuk budidaya ikan akan semakin berkembang untuk menjawab permasalahan optimalisasi keuntungan pada usaha budidaya ikan.

Bioekonomi adalah multi disiplin ilmu, yaitu perpaduan antara ilmu biologi dan ilmu ekonomi. Keilmuan bioekonomi mulai berkembang pada pertengahan abad ke 19, dan perkembangan ilmu bioekonomi relatif pesat. Hal itu karena bioekonomi dapat menjawab permasalahan pengelolaan sumberdaya hayati dengan tidak hanya menggunakan pendekatan ekonomi saja, namun dipadukan dengan pendekatan biologi. Hasilnya, model yang dihasilkan memberikan solusi, tidak hanya optimalisasi keuntungan, namun asumsi modelnya lebih realistis sesuai ilmu biologi, dan dapat memperhitungkan aspek keberlanjutan sumberdaya.

Bioekonomi dapat diaplikasikan di bidang perikanan, kehutanan, pertanian, peternakan maupun perkebunan. Pada tahapan awal pengembangan ilmu bioekonomi, lebih banyak diteliti mengenai bioekonomi perikanan tangkap. Dalam perkembangannya, beberapa peneliti sudah mengembangkan pemodelan bioekonomi untuk maksimisasi keuntungan usaha budidaya ikan.

Buku monograf ini disusun sebagai kontribusi pengembangan keilmuan bioekonomi sebagai salah satu upaya peningkatan kesejahteraan para pelaku usaha perikanan, khususnya pembudidaya ikan. Buku ini memuat beberapa kasus sebagai hasil penelitian yang dapat dijadikan referensi untuk pengembangan solusi dan metode analisis untuk mendukung kebijakan pengembangan budidaya ikan.

Pada prinsipnya, buku monograf merupakan buku yang berisi bagian dari suatu ilmu atau membahas suatu masalah tertentu. Beberapa ciri dari buku monograf adalah bersumber dari hasil penelitian, terdapat peta keilmuan, ditulis dalam bahasa formal, dan substansi pembahasan hanya satu hal saja dalam bidang ilmu.

Puji syukur kehadiran Allah, karena anugerahNya buku ini akhirnya dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada berbagai pihak yang telah membantu, termasuk LPPM Undip yang telah mendanai beberapa penelitian kami.

Semarang, September 2017

Penulis

Daftar Isi

	Halaman
Cover Dalam.....	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar.....	vi
Bab 1. Sejarah Pemikiran dan Konsep Bioekonomi Perikanan	1
Bab 2. Pertumbuhan Ikan	6
Bab 3. Karakteristik Bisnis Budidaya Ikan	20
Bab 4. Maksimisasi Keuntungan.....	40
Bab 5. Perkembangan Pemodelan Bioekonomi Budidaya Ikan	46
Bab 6. Aplikasi Bioekonomi pada Budidaya Gurami	52
Bab 7. Aplikasi Bioekonomi pada Budidaya Lele	59
Bab 8. Aplikasi Bioekonomi pada Budidaya Nila	64
Daftar Pustaka	75

Daftar Tabel

	Halaman
1. Perkembangan Bioekonomi Perikanan	3
2. Laju Pertumbuhan Harian.....	7
3. Panjang Infiniti Ikan	8
4. Model Pertumbuhan Ikan.....	14
5. Kasus Kematian Stok Ikan.....	17
6. Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan	18
7. Proyeksi Suplai dan Permintaan Ikan Dunia Tahun 2030	33
8. Perkembangan Ekspor dan Impor Perikanan Indonesia	37
9. Nilai Ekspor Perikanan Indonesia Berdasarkan Negara Tujuan.....	37
10. Volume dan Nilai Ekspor Perikanan Berdasarkan Komoditas.....	38
11. Kaidah Optimalisasi	40
12. Beberapa Model Bioekonomi Budidaya Ikan	49
13. Pertumbuhan Ikan Gurami	55
14. Asumsi dan Hasil Penelitian Bioekonomi Ikan Gurami	57
15. Perkembangan Produksi Lele di Indonesia	59
16. Pertumbuhan Ikan Lele	60
17. Asumsi dan Hasil Penelitian Bioekonomi Budidaya Lele	61
18. Perkembangan Produksi Nila di Indonesia	64
19. Aplikasi Model Wijayanto-Bertalanffy pada Ikan Nila	69
20. Pertumbuhan Nila	70
21. Asumsi dan Penelitian Bioekonomi Budidaya Nila	72

Daftar Gambar

	Halaman
1. Multidisiplin Ilmu dari Bioekonomi Budidaya Ikan	3
2. Grafik Pertumbuhan Ikan.....	7
3. Hubungan antara Ukuran Ikan, temperatur dan SGR pada Ikan Salmon.	8
4. Anatomi Ikan dan Jenis Panjang Ikan	10
5. Makanan, Energi dan Pertumbuhan Ikan.....	11
6. Grafik Pertumbuhan Panjang Ikan	12
7. Temperatur Air dan Pertumbuhan Ikan	13
8. Kepadatan Ikan dan Faktor Yang Mempengaruhi.....	16
9. Grafik Kasus Kematian Stok Ikan	17
10. Siklus Hidup Ikan dan Kelangsungan Hidup.....	19
11. Proses Transformasi Budidaya Ikan	20
12. Total Biaya, Biaya Tetap, dan Biaya Variabel dalam Jangka Pendek	23
13. Kurva AVC, ATC, dan MC dalam Jangka Pendek.....	24
14. Biaya Rata-Rata Jangka Panjang dan Biaya Marjinal Jangka Panjang	25
15. Kurva Biaya Jangka Panjang dan Jangka Pendek.....	26
16. Hubungan antara Ukuran Ikan Temperatur dan FCR Ikan Salmon	32
17. Perkembangan Suplai Ikan per Kapita untuk Konsumsi Manusia ...	34
18. Tren Produksi Perikanan Tangkap dan Dunia.....	34
19. Perkembangan Harga Ikan Dunia.....	35
20. Produksi Perikanan Indonesia Tahun 1990-2010	36
21. Ilustrasi Karamba pada Budidaya Ikan Salmon.....	39
22. TR, TC, MR, MC dan Keuntungan Pasar Persaingan Sempurna	41
23. TR, TC, MR, MC dan Keuntungan Pasar Monopoli.....	43
24. Perbandingan Pasar Persaingan Sempurna dan Pasar Monopoli	42
25. Perbandingan Pasar Persaingan Sempurna dan Pasar Monopsoni ..	43
26. Perkembangan Produksi Gurami di Indonesia.....	52
27. Pertumbuhan Ikan Gurami	56

28. TR, TC dan Keuntungan Budidaya Ikan Gurami	58
29. Estimasi Kurva Pertumbuhan Berat Lele (gram/ekor).....	60
30. Kurva TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Lele	63
31. Kurva Panjang Berat, Biomassa, TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Nila Merah di KJA.....	70
32. Estimasi Kurva Pertumbuhan Berat Nila (gram/ekor).....	71
33. Kurva TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Nila	73

Bab I

Sejarah Pemikiran dan Konsep Bioekonomi Perikanan

Tragedi Kebersamaan

Pada awalnya, ilmu bioekonomi berkembang pada bidang perikanan tangkap. Bioekonomi perikanan dikembangkan sebagai respon atas fenomena tragedi kebersamaan (*the tragedy of the common*), terutama pada sumberdaya hayati yang bersifat akses terbuka dan tidak diatur kepemilikannya. Sifat alamiah manusia adalah memaksimalkan benefit, dari dahulu hingga sekarang. Sebagai contoh, pengusaha ingin mendapatkan keuntungan yang besar, dan pekerja ingin mendapat gaji yang besar.

Keinginan mengoptimalkan benefit masing-masing orang menyebabkan kerentanan terjadi konflik kepentingan antar manusia dalam memanfaatkan sumberdaya alam, karena terjadi persaingan kepentingan atas pemanfaatan sumberdaya alam tersebut. Antar nelayan terjadi persaingan dalam memanfaatkan sumberdaya ikan di laut, sehingga kalau tidak diatur maka terjadi konflik.

Eksplorasi sumberdaya ikan yang berlebihan (*overfishing*), menyebabkan deplesi sumberdaya ikan. Akibatnya, produktivitas usaha penangkapan ikan menurun, dan hal itu mempengaruhi pendapatan nelayan. Penurunan produktivitas penangkapan ikan direspon oleh nelayan dengan melakukan modifikasi alat tangkap, diantaranya memperkecil ukuran jaring agar hasil tangkapannya lebih banyak. Akibatnya, alat tangkap semakin tidak selektif, karena ikan kecil juga tertangkap. Modifikasi alat tangkap menjadi semakin tidak ramah lingkungan menyebabkan laju deplesi sumberdaya ikan semakin tinggi, sehingga kalau tidak dilakukan intervensi, maka sumberdaya ikan menuju kepunahan stok.

Sumberdaya ikan memang dikenal sebagai sumberdaya yang dapat dipulihkan (*renewable resources*), namun ikan memiliki daya pemulihan yang terbatas sebagai faktor pembatas alamiah. Apabila pemanfaatan sumberdaya ikan melebihi kemampuan daya pulih sumberdaya (regenerasi stok), maka stok sumberdaya ikan akan mengalami penurunan stok menuju kepunahan sumberdaya.

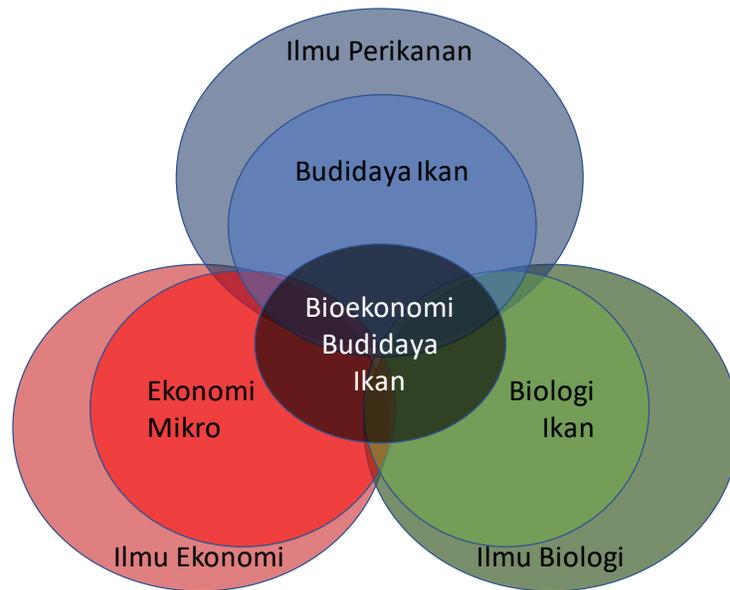
Konflik kepentingan juga terjadi pada budidaya perikanan. Waduk menjadi perebutan antara pembudidaya ikan untuk mengelola karamba jaring apung. Pemanfaatan waduk juga rentan konflik kepentingan,

terkait dengan perikanan tangkap, perikanan budidaya, pariwisata, pengairan, pengelolaan air bersih dan pembangkit listrik. Pada kawasan konservasi perairan juga rentan terjadi konflik antara kepentingan pelestarian sumberdaya perairan, budidaya perairan, pariwisata maupun perikanan tangkap. Oleh karena itu, dikembangkan ilmu untuk meneliti pemanfaatan optimal sumberdaya perairan, termasuk bioekonomi.

Definisi Bioekonomi Perikanan

Bioekonomi perikanan merupakan multi disiplin ilmu. Bioekonomi perikanan berasal dari gabungan kata biologi, ekonomi dan perikanan. Oleh karena itu, bioekonomi perikanan merupakan perpaduan antara ilmu biologi, ekonomi dan perikanan. Biologi adalah ilmu mengenai kehidupan makhluk hayati, termasuk biologi ikan. Sedangkan ekonomi merupakan ilmu yang mempelajari perilaku individu dan masyarakat dalam menentukan pilihan untuk menggunakan sumberdaya-sumberdaya yang bersifat langka dalam upaya meningkatkan kualitas hidupnya, termasuk memaksimalkan keuntungan. Secara umum, kajian ekonomi dibagi menjadi dua, yaitu ekonomi makro (dalam perspektif ekonomi secara agregat) dan ekonomi mikro (terkait perilaku ekonomi dari para pelaku, baik individu, rumah tangga, perusahaan maupun industri). Dalam perspektif ilmu ekonomi, maka ekonomi perikanan dan bioekonomi perikanan merupakan bagian dari ekonomi mikro. Sedangkan perikanan adalah semua kegiatan yang berhubungan dengan pengelolaan dan pemanfaatan sumberdaya ikan dan lingkungannya mulai dari pra-produksi, produksi, pengolahan sampai dengan pemasaran, yang dilaksanakan dalam suatu sistem bisnis perikanan. Yang dimaksud sumberdaya ikan adalah potensi semua jenis ikan yaitu segala jenis organisme yang seluruh atau sebagian dari siklus hidupnya berada di dalam lingkungan perairan (Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2004).

Jadi, bioekonomi merupakan perpaduan ilmu biologi dan ekonomi, dimana model dasarnya berdasarkan teori dan konsep biologi yang selanjutnya dipadukan dengan konsep ekonomi, terutama maksimisasi keuntungan. Pemakaian konsep ekonomi dimaksudkan untuk optimalisasi pemanfaatan sumberdaya hayati berdasarkan tinjauan ekonomi. Sedangkan bioekonomi perikanan merupakan aplikasi konsep bioekonomi pada bidang perikanan (Wijayanto, 2007; Wijayanto, et al 2016).



Gambar 1. Multidisiplin Ilmu dari Bioekonomi Budidaya Ikan

Sejarah Perkembangan Bioekonomi

Scott Gordon merupakan pionir dalam pengembangan bioekonomi. Scott Gordon adalah seorang ahli ekonomi (ekonom) dari Kanada yang memiliki minat dalam pengembangan ilmu ekonomi perikanan. Namun, sebenarnya istilah bioekonomi pertama kali digunakan oleh TI Baranoff, seorang ilmuwan biologi laut asal Rusia, yang membuat karya ilmiahnya dengan menggunakan istilah *bionomics* atau *bioeconomics* (Marahudin dan Smith, 1986). Dalam karya tersebut, TI Baranov sebenarnya tidak banyak membahas konsep ekonomi. Menurut Fauzi dan Anna (2005), Scott Gordon yang pertama kali menggunakan pendekatan ekonomi untuk menganalisis pengelolaan sumberdaya ikan untuk optimalisasi. Scott Gordon menggunakan basis model biologi yang diperkenalkan oleh Milner B Schaefer pada tahun 1954, yaitu konsep *maximum sustainable yield* atau MSY.

Tabel 1. Perkembangan Bioekonomi Perikanan

Tahun	Perkembangan
1838	Pierre François Verhulst, ahli matematika mengembangkan persamaan logistik, yang selanjutnya akan diacu oleh Milner B Schaefer (1954)
1954	TI Baranoff, seorang ilmuwan biologi laut asal Rusia,

Tahun	Perkembangan
	memperkenalkan istilah bionomics atau bioeconomics
1954	Milner B Schaefer mengembangkan konsep dinamika populasi, CPUE dan keseimbangan penangkapan ikan maksimal.
1954	Scott Gordon, seorang ekonom dari Kanada, melakukan pemodelan maksimisasi keuntungan pada perikanan tangkap dengan menggunakan model pertumbuhan ikan yang dikembangkan Milner B Schaefer. Selanjutnya model tersebut dikenal sebagai Model Gordon-Schaefer.
1957	R.G.H Beverton dan S.J. Holt mengembangkan model dinamika populasi. Model tersebut selanjutnya dikenal sebagai model Beverton-Holt.
1960	P.H. Leslie dan J.C Gower mengembangkan model bioekonomi stokastik predator-prey (2 spesies) untuk perikanan tangkap.
1979	R.M. May, J.R. Beddington dan C.W. Clark mengembangkan model multi-spesies perikanan tangkap.
1980	Adams, dkk mengembangkan model bioekonomi untuk budidaya ikan dengan menggunakan model pertumbuhan ikan von Bertalanffy.
1983	R. Hannesson mengembangkan model interdependensi spesies pada perikanan tangkap.
1985	R. Willmann dan S. Garcia mengembangkan model sequensial hubungan perikanan artisanal dan perikanan industri.
1988	T. Bjorndal mengembangkan model bioekonomi optimalisasi waktu panen pada budidaya ikan dengan menggunakan model pertumbuhan Beverton-Holt.
1992	R. Arnason mengembangkan model bioekonomi optimalisasi waktu panen pada budidaya ikan model pertumbuhan Beverton-Holt, dengan melakukan modifikasi dari model yang dikembangkan T. Bjorndal. Lalu diikuti oleh Heap pada tahun 1993, serta Strand dan Mistiaen pada tahun 1999
1993	Heap mengembangkan model bioekonomi optimalisasi waktu panen pada budidaya ikan model pertumbuhan Beverton-Holt,

Tahun	Perkembangan
	dengan melakukan modifikasi dari model yang dikembangkan T. Bjorndal.
1998	O. Flaaten mengembangkan model bioekonomi predator-prey pada perikanan tangkap.
1999	O. Defeo dan J.C. Seijo mengembangkan model bioekonomi <i>yield-mortality</i> pada perikanan tangkap.
2000	L.G. Anderson mengembangkan kajian implementasi kuota individual nelayan (individual transfer quotas atau ITQ) dengan pendekatan dinamis.
2002	A. Beattie, U.R. Sumaila, V. Christensen dan D, Pauly mengembangkan model bioekonomi pada kawasan konservasi bahari.
2014	Dian Wijayanto mengembangkan model bioekonomi akuakultur dengan menggunakan model pertumbuhan ikan von Bertalanffy
2016	Dian Wijayanto, Faik Kurohman dan Ristiawan Agung Nugroho mengembangkan model bioekonomi polinomial ordo dua yang diaplikasikan pada budidaya ikan lele, nila dan gurami. Selanjutnya dikembangkan untuk budidaya udang vannamei pada tahun 2017.

Sumber:

Hanneson (1993), Seijo, et al (1998), Wijayanto (2007), Anderson and Seijo (2010)

Bab II

Pertumbuhan Ikan

Dalam pembuatan model bioekonomi perikanan, wajib memperhitungkan aspek pertumbuhan ikan, termasuk bioekonomi budidaya ikan. Hal itu karena tujuan dari bioekonomi adalah memaksimalkan benefit dengan tetap memperhitungkan karakteristik biologi dari ikan. Hubungan antara input dan output dalam budidaya ikan tidak bersifat linier, apabila dipaksakan menggunakan asumsi linier, maka asumsi tersebut tidak sesuai dengan kenyataan.

Pertumbuhan Ikan

Semua makhluk hidup secara normal mengalami pertumbuhan, termasuk ikan. Pertumbuhan ikan dipengaruhi beberapa faktor yang bersifat kompleks. Pertumbuhan ikan merupakan pertumbuhan ukuran, baik pertumbuhan panjang maupun berat ikan, yang terjadi dalam jangka waktu tertentu. Secara individu, pertumbuhan merupakan penambahan jumlah sel secara mitosis yang selanjutnya menyebabkan perubahan ukuran dari jaringan tubuh ikan.

Kajian pertumbuhan ikan pada budidaya ikan dapat menggunakan dua jenis pertumbuhan, yaitu pertumbuhan mutlak dan pertumbuhan relatif. Pertumbuhan mutlak adalah pertumbuhan berat atau panjang tubuh ikan pada saat umur tertentu. Sedangkan pertumbuhan relatif adalah perbandingan antara ukuran akhir interval dengan ukuran awal interval. Menurut Effendie (2002), pertumbuhan biomassa mutlak dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = W_t - W_0$$

W adalah pertumbuhan biomassa mutlak ikan (gram), W_t adalah berat ikan pada saat t pada kegiatan budidaya ikan, dan W_0 adalah berat ikan pada awal kegiatan budidaya ikan. Sedangkan laju pertumbuhan harian atau *specific growth rate* (SGR) dapat diukur dengan rumus yang dikemukakan oleh Halver and Hardy (2002), yaitu:

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\%$$

Notasi t merupakan lama waktu periode budidaya, W_t adalah berat ikan pada awal kegiatan budidaya ikan, dan W_0 adalah berat ikan pada awal kegiatan budidaya ikan, dan ln merupakan logaritma bilangan natural.

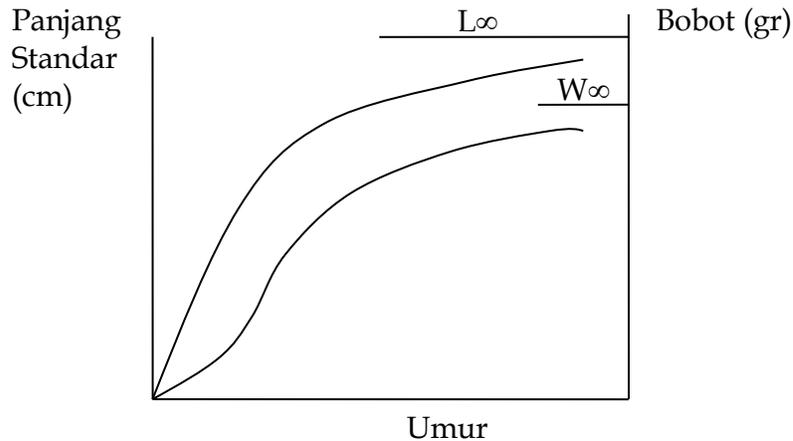
Tabel 2. Laju Pertumbuhan Harian

	Udang Windu (<i>Penaeus monodon</i>) ¹	Kerapu Tikus (<i>Cromileptes altivelis</i>) ²
Berat Awal (gram)	1	1,3
Berat Akhir (gram)	50	467,8
Lama Budidaya (Hari)	140	420
Metode Budidaya	Tambak Tradisional Plus	Karamba Jaring Apung
SGR (% per Hari)	2,79%	1,40%

Sumber:

¹ WWF Indonesia (2014), ² Akbar dan Sudaryanto (2001), diolah kembali

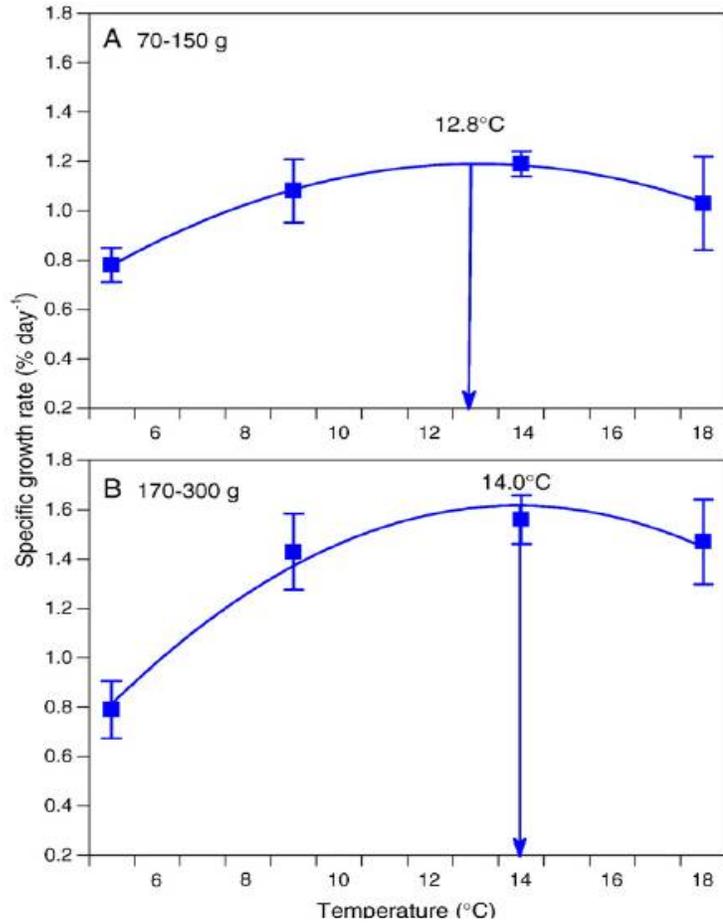
Tingkat pertumbuhan ikan bervariasi antar spesies. Masing-masing jenis ikan memiliki sifat genetik sehingga memiliki pola pertumbuhan tertentu dan panjang-berat maksimal tertentu. Menurut Royce (1996), pertumbuhan ikan dipengaruhi berbagai faktor, antara lain umur, jenis kelamin, kondisi perairan (termasuk temperatur), musim, siklus reproduksi dan ukuran populasi. Berikut adalah gambaran pertumbuhan panjang dan berat ikan secara runtut waktu.



Sumber: Royce (1996)

Gambar 2. Grafik Pertumbuhan Ikan

Pada jenis ikan tertentu terjadi *molting* (proses pergantian kulit atau cangkang) sebelum terjadi pertumbuhan, misalnya pada udang, rajungan, kepiting dan lobster. Ikan mengalami pertumbuhan, baik berat maupun panjang, sampai mencapai batas ukuran maksimal tertentu, yaitu panjang dan berat infiniti. Ikan juga mengalami perkembangan kematangan gonad. Pada sebuah stok sumberdaya ikan, sumberdaya ikan mengalami pertumbuhan karena adanya pertambahan individu (melalui proses pemijahan) maupun pertambahan bobot ikan.



Sumber: Handeland, et al (2008)

Gambar 3. Hubungan antara Ukuran Ikan, temperatur dan SGR pada Ikan Salmon

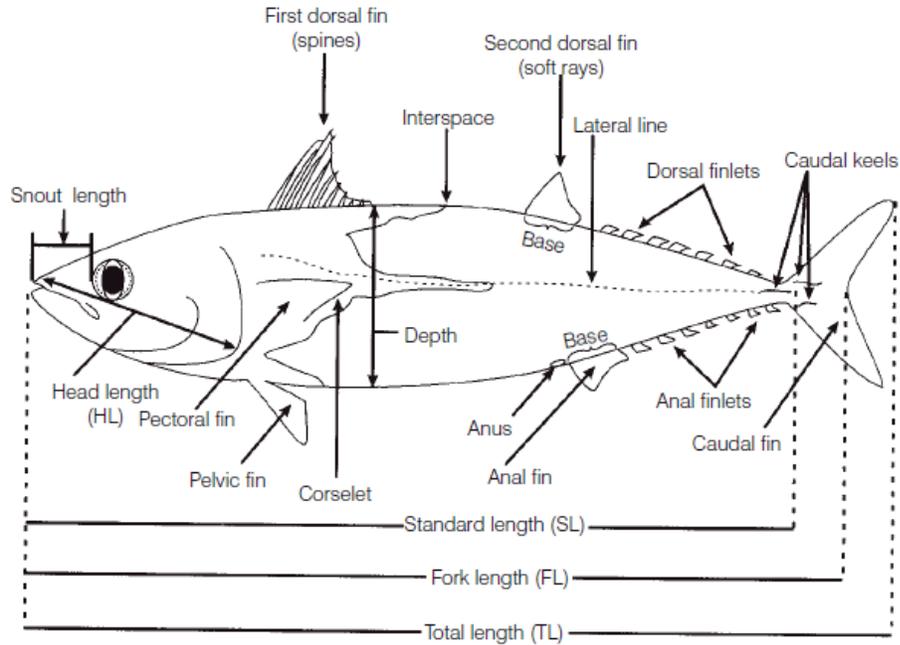
Tabel 3. Panjang Infiniti Ikan

Jenis Ikan	L infiniti (cm)
<i>Acipenser sturio</i>	500
<i>Alburnus alburnus</i>	21,1
<i>Aspius aspius</i>	123
<i>Barbatula barbatula</i>	22,1
<i>Cylothone braueri</i>	2,8
<i>Gobio gobio</i>	21,1

Jenis Ikan	L infiniti (cm)
<i>Hucho hucho</i>	153
<i>Leucaspilus delineatus</i>	12,7
<i>Misgurnus fossilis</i>	52,0
<i>Pelecus cultratus</i>	62,2
<i>Pholis gunellus</i>	26,3
<i>Rhodeus amarus</i>	9,6
<i>Zoarces viviparus</i>	52,0

Sumber: Froese and Binohlan (2003)

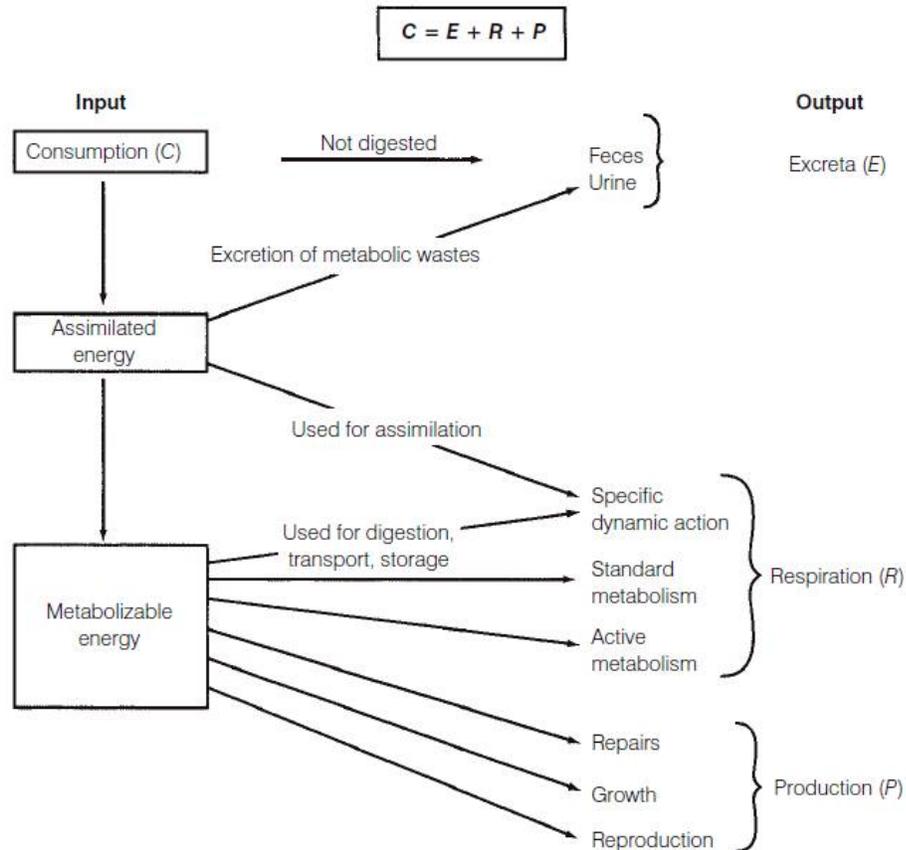
Terkait dengan pertambahan ukuran panjang dan berat, masing-masing jenis ikan memiliki pola hubungan panjang dan berat tertentu. Persamaan hubungan panjang dan berat ikan mengikuti rumus: $W=a.L^b$, dimana a dan b adalah konstanta tertentu sesuai dengan karakteristik jenis ikan, sedangkan W adalah berat ikan, dan L adalah panjang ikan, yaitu dapat menggunakan panjang total (*total length* atau TL), panjang standar (*standard length* atau SL), maupun *fork length* (FL). Perbedaan antara TL, FL dan SL dapat dilihat pada Gambar 4. Sebagai contoh, hasil kajian Khademzadeh and Haghi (2017) menunjukkan bahwa udang vannamei (*Litopenaeus vannamei* atau *whiteleg shrimp*) memiliki hubungan panjang berat: $W = 0,0108 L^{2,6935}$. Artinya, jika udang vannamei memiliki panjang 10 cm, maka diperkirakan beratnya sekitar 5,33 gram.



Sumber: Helfman, et al (2009)

Gambar 4. Anatomi Ikan dan Jenis Panjang Ikan

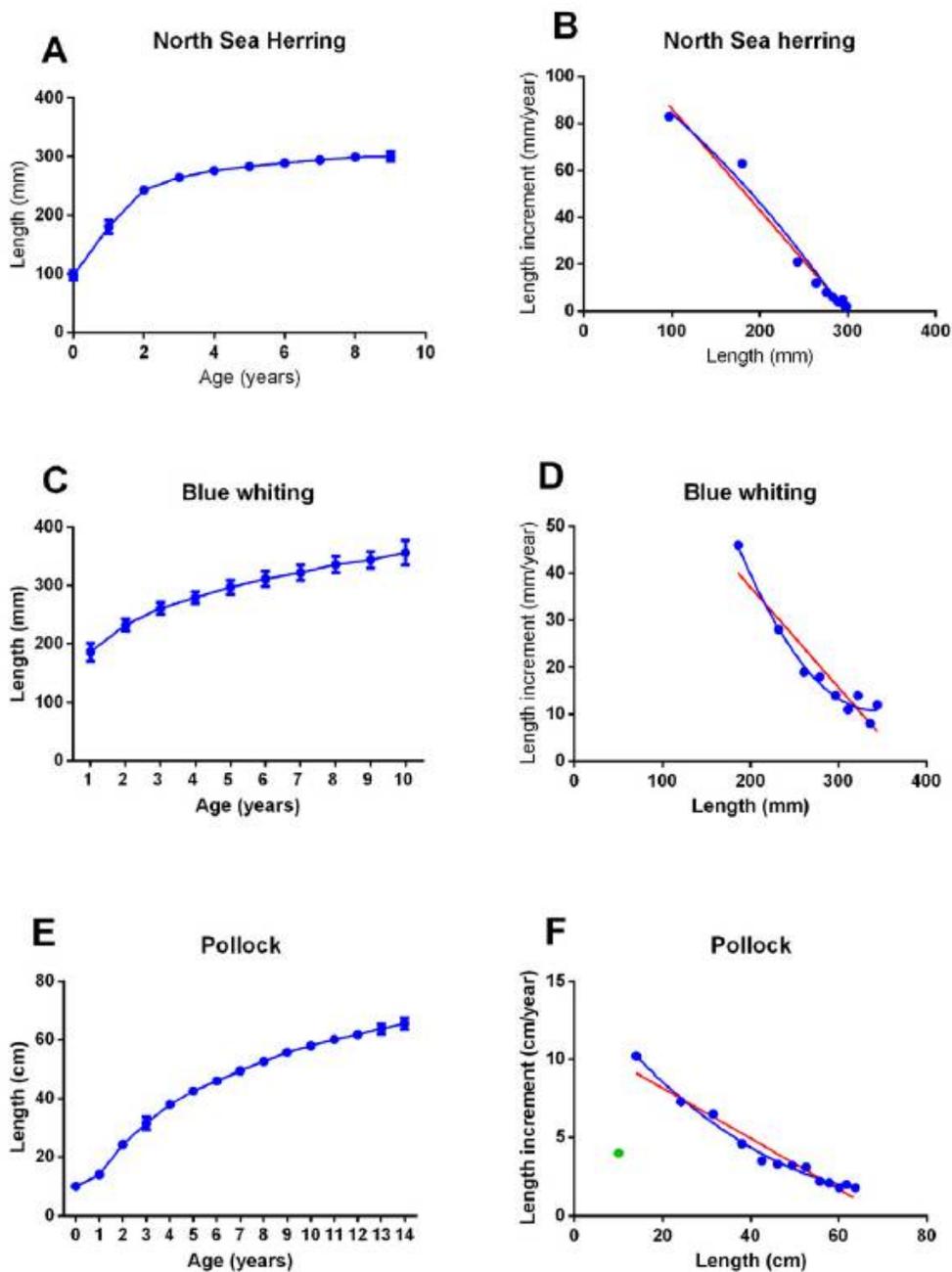
Ikan memperoleh energi dari mengonsumsi makanan. Namun, tidak semua makanan digunakan untuk pertumbuhan ikan. Sebagian makanan dikeluarkan dalam tubuh ikan dalam bentuk feses dan urin. Energi yang termetabolisme selanjutnya digunakan untuk proses respirasi, pemeliharaan tubuh, pertumbuhan berat maupun reproduksi. Semakin efisien pakan yang tercerna oleh ikan, maka semakin banyak proporsi energi pakan untuk pertumbuhan ikan. Semakin efisien energi untuk reproduksi dan dalam kondisi sehat, maka semakin besar proporsi energi dari pakan untuk pertumbuhan. Oleh karena itu, sebagian pelaku usaha budidaya nila mengupayakan budidaya *mono-sex* agar ikan dapat lebih cepat dalam pertumbuhan bobot.



Sumber: Videler (1993) dalam Helfman, et al (2009)

Gambar 5. Makanan, Energi dan Pertumbuhan Ikan

Dalam perkembangannya, Hamre et al (2014) mengembangkan model pertumbuhan panjang ikan dengan rumus: $dL = L_{(a+1)} - L_{(a)}$, dimana "a" adalah umur ikan. Model tersebut dikembangkan sebagai alternatif model-model sebelumnya, diantaranya Model Beverton and Holt, dan Model von Bertalanffy. Hasil simulasinya hampir sama polanya dengan model pertumbuhan ikan von Bertalanffy (Lihat Gambar 6).



Sumber: Hamre et al (2014)

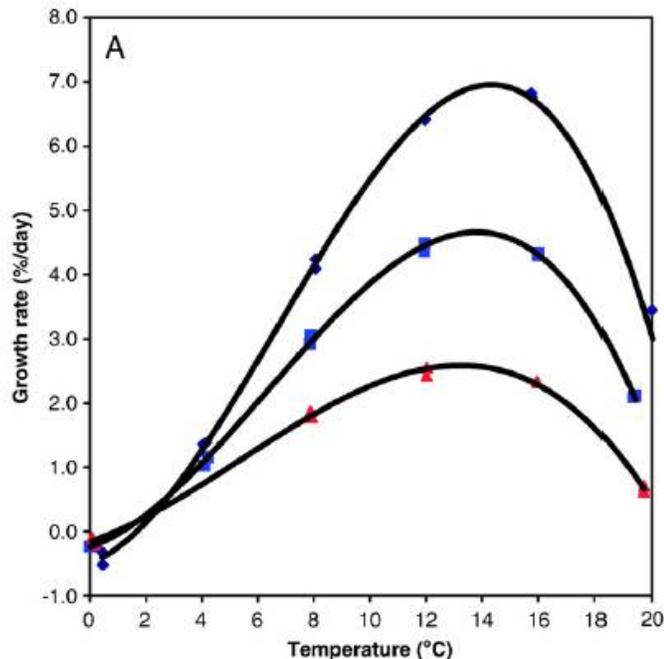
Gambar 6. Grafik Pertumbuhan Panjang Ikan

Faktor Penentu Pertumbuhan

Pertumbuhan ikan dipengaruhi oleh kombinasi faktor yang bersifat kompleks. Para peneliti telah berusaha mengukur dampak faktor penentu pertumbuhan ikan melalui penelitian percobaan. Faktor yang

mempengaruhi pertumbuhan antara lain adalah: keturunan (genetika), umur, jenis kelamin, ukuran, ketahanan terhadap hama dan penyakit, kondisi lingkungan, kematangan gonad, makanan dan kepadatan populasi (Halver and Hardy, 2002; Beveridge, 2004; dan Lekang, 2013). Menurut White, et al. (2004) agar usaha budidaya ikan dapat berkelanjutan, maka perlu memperhitungkan faktor ekologi, sosial dan ekonomi. Dalam budidaya ikan yang intensif, maka pemilihan lokasi usaha budidaya ikan, pemilihan benih ikan, pemberian pakan buatan dan pengendalian kualitas air menjadi kunci sukses dalam produksi budidaya ikan.

Hasil kajian Björnsson, et al (2007) menunjukkan bahwa temperatur air mempengaruhi pertumbuhan laju pertumbuhan ikan (lihat Gambar 7). Masing-masing jenis ikan memiliki kisaran temperatur optimal yang menentukan pertumbuhan optimal ikan tersebut.



Sumber: Björnsson, et al (2007)

Gambar 7. Temperatur Air dan Pertumbuhan Ikan

Model Pertumbuhan Ikan

Mengenai model pertumbuhan ikan, terdapat beberapa model, diantaranya Model von Bertalanffy, Model Logistic, Model Gompertz, Model Monomolecular, Model Richards dan Model Roff. Beberapa alternatif model tersebut dapat menjadi alternatif referensi untuk pengembangan model bioekonomi budidaya ikan. Model yang menghasilkan akurasi tertinggi dikaitkan antara hasil simulasi dan data

empiris dapat dipilih sebagai dasar dalam pengembangan model bioekonomi budidaya ikan. Gambaran lebih lanjut mengenai beberapa model pertumbuhan ikan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Model Pertumbuhan Ikan

Teori Pertumbuhan Ikan	Persamaan
Model von Bertalanffy	$W_t = W_{inf} \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right]^b$
Model Logistic	$F(W) = K(1 - W/W_{inf})$
Model Gompertz	$F(W) = K(\ln W_{inf} - \ln W)$
Model Monomoleculer	$F(W) = K((W_{inf}/W) - 1)$
Model Richards	$F(W) = (1 - (W/W_{inf})^n)K/n$
Model Roff	$W_{t+1} = W_t + E - G_{t+1}$

Keterangan:

$F(W)$ = pertumbuhan sebagai fungsi berat ikan (W), K = koefisien pertumbuhan, n = konstan, W_{inf} = berat infiniti, b = eksponen hubungan panjang-berat, t = waktu, t_0 = umur hipotetik, W = berat, E = ketersediaan energi (setara berat) dan G = gonad

Sumber: Enberg, Dunlop, and Jorgensen (2008)

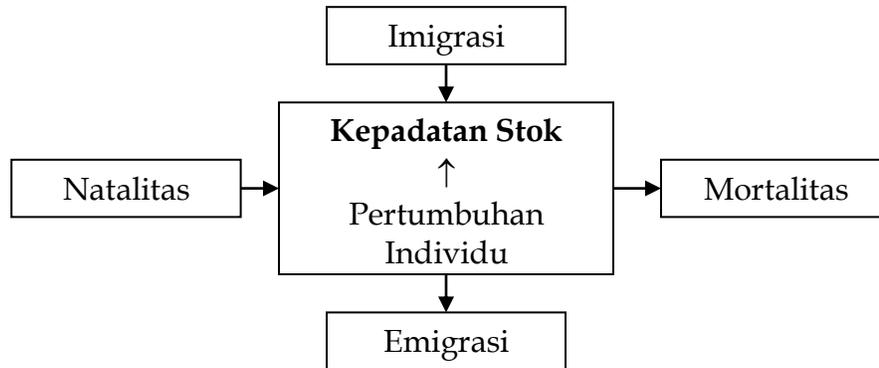
Dinamika Stok Sumberdaya Ikan

Pada kolam yang bersifat tertutup (tidak berhubungan langsung dengan perairan umum), maka stok sumberdaya ikan yang dipelihara dapat dihitung sebagai biomassa ikan yang masih hidup. Biomassa ikan tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan individu ikan, kematian ikan, kelahiran ikan yang terjadi di kolam dan intervensi manusia, misalnya menambah jumlah tebar benih ikan dan pemberian pakan buatan. Sedangkan di perairan umum, maka migrasi juga memberi pengaruh terhadap stok sumberdaya ikan pada perairan tersebut.

Terdapat beberapa versi definisi stok sebagai berikut (Sparre, dan Venema, 1999; Wijayanto, 2007; Wijayanto, et al, 2016):

- Menurut Cushing, stok adalah biota yang memiliki daerah pemijahan tunggal, dimana hewan dewasanya akan kembali dari tahun ke tahun.
- Menurut Gulland, suatu sub kelompok dari satu spesies dapat diperlakukan sebagai satu stok jika perbedaan-perbedaan dalam kelompok dalam kelompok tersebut dan "percampuran" dengan kelompok lain mungkin dapat diabaikan tanpa membuat kesimpulan yang keliru.
- Menurut Ihssen, dkk, stok adalah suatu kelompok *interspecific* dari individu-individu yang berhubungan secara acak dalam kesatuan menyeluruh menurut waktu dan ruang.
- Menurut Larkin, stok adalah suatu populasi organisme yang memiliki kumpulan gen yang sama, relatif terpisah yang menjamin bahwa suatu sistem mandiri yang kekal yang dapat dikelola.
- Menurut Ricker, stok adalah bagian dari suatu populasi ikan yang dari sudut pandang pemanfaatannya, baik secara aktual maupun potensial.
- Menurut Royce (1996), stok sumberdaya ikan adalah sekumpulan ikan yang dapat dieksploitasi dan dikelola secara independen. Artinya, pengelolaan stok tertentu relatif tidak berpengaruh (atau pengaruhnya sangat kecil) pada stok lain yang berbeda lokasinya.

Dalam beberapa kasus terjadi kerancuan pengertian antara stok dan populasi. Stok merupakan unit pengelolaan yang didefinisikan untuk tujuan operasional pemanfaatan sumberdaya ikan, misalnya untuk pembagian wilayah pengelolaan sumberdaya perikanan dan penentuan jumlah tangkapan yang diperbolehkan. Sedangkan populasi merupakan unit biologi. Stok sumberdaya ikan di perairan tertentu, baik sungai, rawa, waduk maupun laut, mengalami dinamika. Tanpa intervensi manusia, maka stok ikan akan bertambah karena faktor pertumbuhan dan emigrasi. Pertumbuhan yang terjadi dalam stok ikan antara lain dikarenakan pertumbuhan bobot (penambahan bobot) maupun reproduksi (pertambahan jumlah individu). Populasi ikan juga akan mengalami pengurangan karena faktor kematian, yaitu kematian dan imigrasi. Kematian terjadi antara lain karena faktor siklus hidup ataupun dimangsa predator. Emigrasi dan imigrasi terjadi sebagai konsekuensi sifat alamiah ikan dalam rangka siklus hidup ataupun mencari makanan. Emigrasi merupakan perpindahan ikan dari daerah lain ke suatu lokasi perairan. Sedangkan imigrasi merupakan perpindahan ikan dari suatu lokasi perairan ke daerah lain.



Sumber: Wijayanto (2007)

Gambar 8. Kepadatan Ikan dan Faktor Yang Mempengaruhi

Apabila memperhitungkan aspek campur tangan manusia, maka diperhitungkan dampak dari penangkapan ikan, baik secara tradisional, hobi memancing ikan maupun industri perikanan tangkap. Upaya penangkapan ikan akan menyebabkan tingkat kematian ikan menjadi semakin tinggi. Kematian karena kegiatan penangkapan ikan oleh manusia dapat dikategorikan sebagai kematian artifisial. Dinamika stok sumberdaya ikan akan semakin kompleks apabila intervensi manusia menyebabkan degradasi lingkungan, misalnya pencemaran dan kerusakan alam, yang dapat mengganggu proses pertumbuhan dan meningkatkan laju kematian ikan.

Kelangsungan Hidup dan Kematian Ikan

Tingkat kelangsungan hidup atau *survival* dan tingkat kematian atau *mortality* merupakan dua hal yang sangat berkaitan. Seandainya terdapat sumberdaya ikan pada perairan tertutup, dimana tidak ada imigrasi, emigrasi dan reproduksi, maka fraksi dari kelangsungan hidup adalah (Effendie, 2002; Wijayanto, 2007):

$$S = 1 - M$$

$$N(t+1) = S \cdot N(t) = (1-M) \cdot N(t)$$

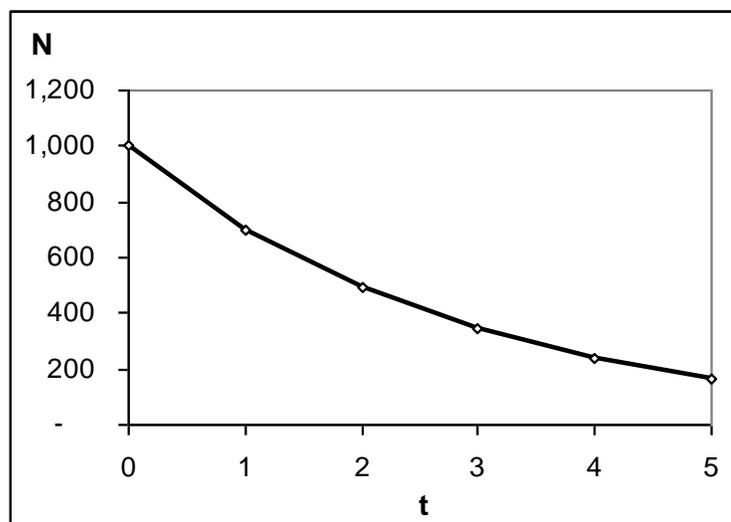
$$N(t) = S^t N(0)$$

Notasi S adalah tingkat kelangsungan hidup, M adalah tingkat kematian, N dan t adalah waktu. Misalnya, M = 0,3 (sehingga S = 0,7) dan N(t) = 1000, maka dihasilkan perhitungan dan grafis sebagai berikut.

Tabel 5. Kasus Kematian Stok Ikan

t	N(t)	N(t+1)/N(t)
0	1.000	
1	700	0,7
2	490	0,7
3	343	0,7
4	240	0,7
5	168	0,7

Sumber: Wijayanto (2007); Wijayanto, et al (2016)



Sumber: Wijayanto (2007); Wijayanto, et al (2016)

Gambar 9. Grafik Kasus Kematian Stok Ikan

Pada prinsipnya, terdapat beberapa jenis kematian ikan, yaitu kematian alami dan kematian artifisial. Kematian alami adalah kematian karena usia, penyakit maupun predasi antar ikan yang terjadi tanpa campur tangan manusia. Sedangkan kematian artifisial terjadi karena aktivitas manusia, baik melalui kegiatan penangkapan maupun degradasi lingkungan akibat ulah manusia.

Tingkat kelangsungan hidup atau *survival rate* dalam usaha budidaya ikan sangat mempengaruhi penerimaan dan keuntungan. Semakin

banyak ikan yang mampu bertahan hidup, dengan asumsi harga konstan, maka biomassa ikan yang dipanen cenderung semakin besar dan selanjutnya berpengaruh positif terhadap penerimaan dan keuntungan. Tingkat kelangsungan hidup dapat diukur dengan SR (*survival rate*), yaitu dengan rumus (Effendie, 2002):

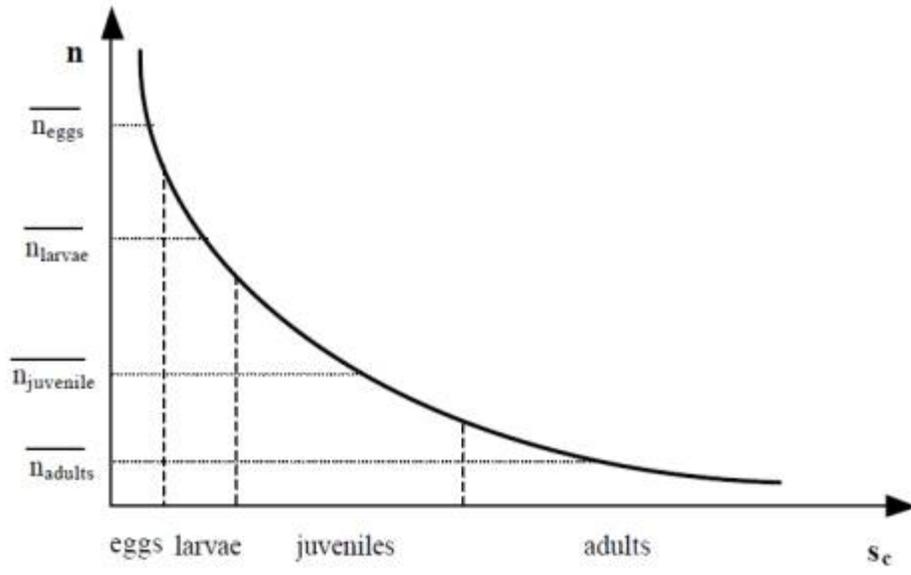
$$SR = (N_t / N_0) \times 100\%$$

SR adalah kelangsungan hidup atau *survival rate* dalam satuan persen, N_t adalah jumlah ikan yang bertahan hidup hingga waktu t , dan N_0 adalah jumlah ikan awal.

Tabel 6. Tingkat Kelangsungan Hidup Ikan

Jenis Ikan	Keterangan	Sumber
<i>Pangasius djambal</i> (ikan patin)	SR larva 15 hari adalah 70-94% (pembenihan)	Slembrouck, et al (2005)
<i>Cromileptes altivelis</i> (ikan kerapu tikus)	SR pembesaran dalam karamba jaring apung selama 6 bulan adalah 85%	Sunaryanto dan Ginting (2014)
<i>Chanos chanos</i> (ikan bandeng)	SR pembesaran skala kecil selama 6 bulan adalah 80%.	WWF Indonesia (2014)*
<i>Lates calcarifer</i> (ikan kakap putih)	SR pembesaran dalam karamba jaring apung dari ukuran benih 4-5 inch menjadi ukuran panen 600 gram adalah 70%.	WWF Indonesia (2015)*
<i>Ephinephelus fuscoguttatus</i> (ikan kerapu macan)	SR pembesaran dalam karamba jaring apung dari ukuran benih 7 cm menjadi ukuran panen 500 gram selama 10 bulan adalah 70%.	WWF Indonesia (2015)*
<i>Pangasius hypophthalmus</i> (ikan patin siam)	SR pembesaran dalam kolam dari ukuran benih 2,5-3,5 inch menjadi ukuran panen 600 gram dengan setahun dilakukan dua kali siklus budidaya adalah 85%.	WWF Indonesia (2015)*

Keterangan: * diolah kembali



Sumber: Monteiro (2002)

Gambar 10. Siklus Hidup Ikan dan Kelangsungan Hidup

Secara alamiah, ikan mengalami proses seleksi alam dimana tidak semua ikan dapat bertahan hidup hingga dewasa. Dimulai pada tahap pemijahan, telur, larva, juvenil hingga dewasa, dimana sebagian ikan mengalami kematian, baik karena predasi, kegagalan adaptasi terhadap lingkungan maupun penyakit. Masing-masing pelaku usaha budidaya ikan dituntut untuk mampu mempertahankan kehidupan ikan yang dibudidaya sebanyak mungkin dan selama mungkin, sehingga level kelangsungan hidup ikan yang menguntungkan dapat terlampaui.

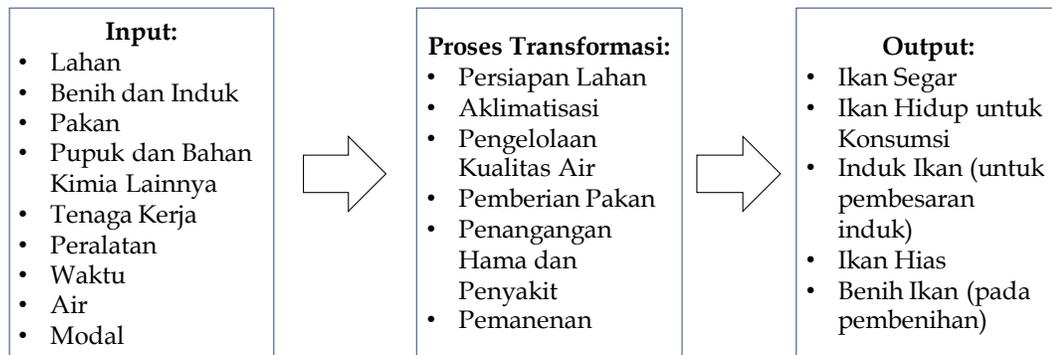
Bab III

Karakteristik Bisnis Budidaya Ikan

Budidaya perikanan memiliki peranan stratejik terkait dengan ketahanan pangan, pertumbuhan ekonomi, penyerapan tenaga kerja dan kesejahteraan. Budidaya perikanan merupakan masa depan penyediaan ikan di dunia, apalagi perikanan tangkap di beberapa negara justru mengalami pertumbuhan negatif. Penurunan produksi perikanan tangkap tersebut diantaranya disebabkan fenomena *overfishing*, dan terjadinya penurunan animo tenaga kerja muda menjadi nelayan. Budidaya ikan juga banyak dijumpai di pesisir dan daerah pedesaan, dimana masyarakatnya sebagian masih miskin. Oleh karena itu, kemajuan budidaya ikan akan mampu mendorong penyerapan tenaga kerja, peningkatan pendapatan per kapita dan pertumbuhan ekonomi.

Proses Transformasi

Ikan dalam budidaya ikan merupakan mesin biologi, yaitu mengubah input menjadi output. Output usaha budidaya ikan antara lain: ikan konsumsi, benih ikan, induk ikan maupun ikan hias, tergantung tujuan dari budidaya ikan.



Gambar 11. Proses Transformasi Budidaya Ikan

Budidaya ikan merupakan kegiatan yang kompleks. Tingkat kerumitan usaha budidaya ikan pada skala intensif sangatlah tinggi. Pelaku usaha budidaya ikan dituntut untuk mampu memelihara kehidupan ikan, memacu pertumbuhan ikan, mengelola kualitas air, menangani hama maupun penyakit, serta mengejar keuntungan. Pada budidaya ikan dengan metode super intensif, maka kematian ikan secara massal merupakan ancaman terbesar yang dapat menyebabkan kerugian usaha. Kematian ikan dapat disebabkan banyak faktor, termasuk penurunan kualitas air, serangan penyakit maupun serangan predator. Penurunan kualitas air dapat menyebabkan kematian ikan secara mendadak dalam

jumlah besar. Penurunan kualitas air diantaranya dapat disebabkan pencemaran, akumulasi bahan organik maupun ledakan populasi plankton. Ledakan populasi plankton dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut, dan setelah plankton mati menyebabkan peningkatan kandungan bahan organik dalam tambak/kolam dan peningkatan kandungan amoniak. Pemberian pakan yang berlebihan merupakan penyebab utama akumulasi bahan organik di tambak atau kolam pada usaha budidaya super intensif. Sedangkan penyakit ikan dapat disebabkan karena bakteri maupun virus. Serangan penyakit tersebut dapat menular dan secara cepat dapat menyebabkan kematian massal. Oleh karena itu, keberhasilan usaha budidaya ikan sangat dipengaruhi dukungan lingkungan perairan dan perilaku pembudidaya ikan dari waktu ke waktu. Hal itu menyebabkan perlunya pengontrolan usaha budidaya ikan selama 24 jam pada jenis usaha budidaya ikan tertentu, dengan memberdayakan karyawan secara bergilir.

Fungsi Produksi Budidaya Ikan

Produksi merupakan proses mentransformasikan faktor input menjadi output. Hubungan antara output dan input dalam produksi dijelaskan dalam fungsi produksi. Berikut beberapa pengertian dari fungsi produksi:

- Pindyck and Rubinfeld (1998): fungsi produksi merupakan hubungan antara input, proses produksi dan menghasilkan output.
- Nicholson and Snyder (2008): terdapat empat fungsi produksi sederhana, yaitu linier (elastisitas substitusi atau σ adalah tak terhingga), proporsi tetap atau *fixed proportions* ($\sigma=0$), Cobb-Douglas ($\sigma=1$), dan *constant elasticity of substitution* (CES).
- Rasmussen (2011): fungsi produksi merupakan fungsi yang menjelaskan seberapa kuantitas output maksimal yang dapat diproduksi (melalui penggunaan teknologi) dengan menggunakan sejumlah input.

Dalam budidaya ikan, fungsi produksi dipengaruhi oleh karakteristik pertumbuhan biologis dari ikan. Produksi budidaya ikan tidak bisa mengabaikan teori pertumbuhan ikan yang memiliki karakteristik tertentu karena dipengaruhi sifat biologis ikan dan dipengaruhi oleh faktor lingkungan (lokasi). Menurut Jolly and Clonts (1993), fungsi produksi dalam budidaya ikan merupakan hubungan teknis antara input dan output pada suatu waktu dengan menggunakan teknologi budidaya ikan. Input budidaya ikan antara lain: benih, pakan, bahan kimia, kolam, mesin, teknikal, institusi dan jasa organisasi. Output adalah barang dan jasa yang dihasilkan dari proses produksi, antara lain meliputi ikan,

umpan ikan, dan produk akuatik lainnya. Fungsi produksi budidaya ikan sebagai berikut:

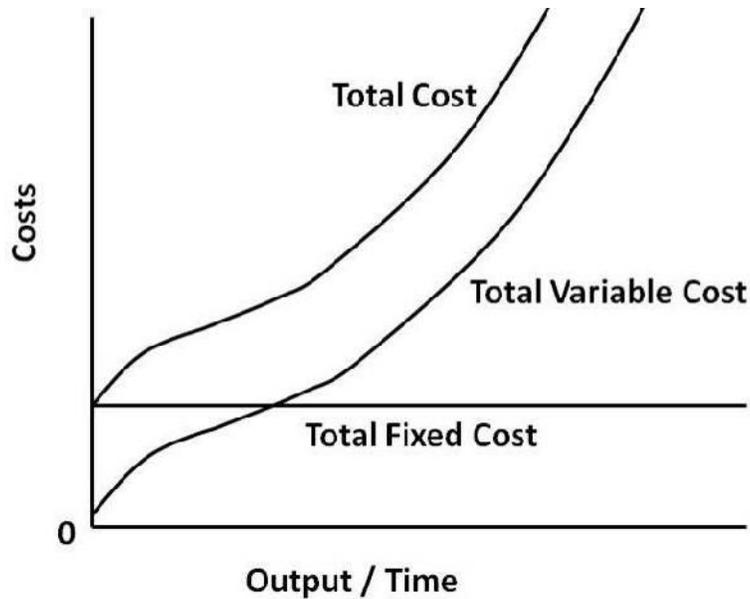
$$Y_1 = f (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$$

Keterangan:

- Y_1 = output ikan
- X_1 = jumlah pakan
- X_2 = tingkat ukuran kepadatan benih ikan,
- X_3 = tingkat kelangsungan hidup
- X_4 = kepadatan stok
- X_5 = periode pertumbuhan ikan,

Menurut Rahardja dan Manurung (2002), faktor produksi dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu faktor produksi tetap (*fixed input*), dan faktor produksi variabel (*variable input*). Faktor produksi tetap adalah faktor produksi yang penggunaannya tidak tergantung pada jumlah produksi. Sedangkan faktor produksi variabel tergantung pada tingkat produksi. Dalam jangka panjang dan jangka sangat panjang, maka semua faktor produksi sifatnya variabel.

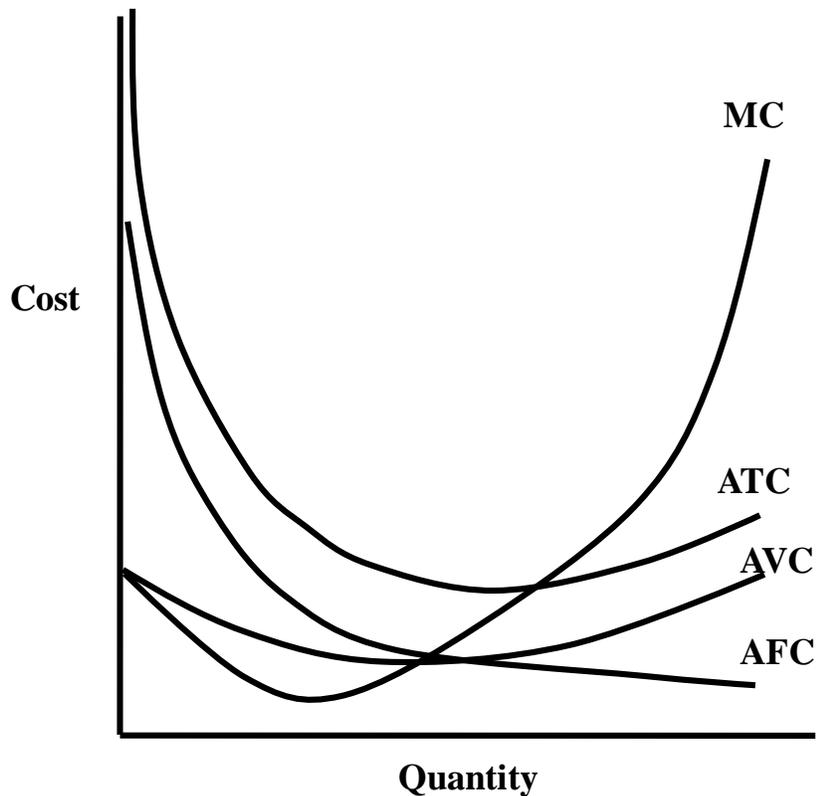
Biaya produksi juga dapat dibagi menjadi biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya variabel (*variable cost*). Biaya tetap tidak terpengaruh oleh volume produksi, sedangkan biaya variabel dipengaruhi oleh volume produksi. Ilustrasi dari biaya tetap, biaya variabel dan total biaya (*total cost*) dapat dilihat pada Gambar 12. Sedangkan biaya marjinal atau *marginal cost* (MC) merupakan tambahan biaya yang diperlukan untuk menambah satu unit output.



Sumber: Jolly and Clonts (1993).

Gambar 12. Total Biaya, Biaya Tetap, dan Biaya Variabel dalam Jangka Pendek

Biaya tetap merupakan jenis biaya yang sifatnya tetap dikeluarkan meskipun usaha budidaya sedang tidak operasional dan besarnya tidak terpengaruh secara langsung variabel kuantitas (*quantity*) output atau produksi, diantaranya biaya investasi sarana produksi, perijinan, dsb. Sedangkan biaya variabel merupakan biaya yang secara langsung dipengaruhi oleh jumlah output produksi, seperti biaya pengadaan benih dan biaya pengadaan pakan. Dalam jangka panjang, semua biaya bersifat variabel. Sedangkan kurva *average variable cost*, *average total cost*, dan *marginal cost* dalam jangka pendek dapat dilihat pada Gambar 13.



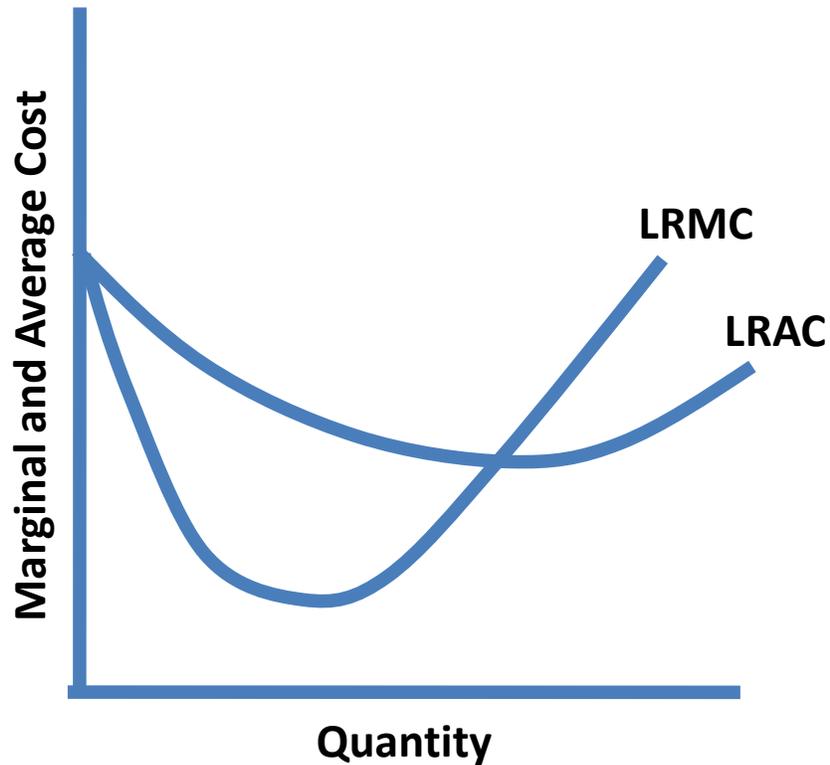
Keterangan:

MC = marginal cost, AFC = average fixed cost, AVC = average variable cost, ATC = average total cost

Sumber: McKenzie and Lee (2006)

Gambar 13. Kurva AVC, ATC, dan MC dalam Jangka Pendek

Dalam teori biaya produksi, terdapat prinsip skala ekonomi atau *economies of scale*, yaitu level biaya yang bersifat efisien. Dalam jangka panjang, rata-rata biaya jangka panjang (*long-run average cost* atau LAC) akan turun pada saat biaya marjinal jangka panjang (*long-run marginal cost* atau LMC) lebih kecil dibandingkan dengan LAC. Demikian pula sebaliknya, pada saat LMC lebih besar dibandingkan dengan LAC, maka LAC cenderung meningkat. Hal itu dapat dilihat pada Gambar 14. Biaya rata-rata jangka panjang minimal terjadi pada saat terjadi perpotongan antara kurva LMC dan kurva LAC.



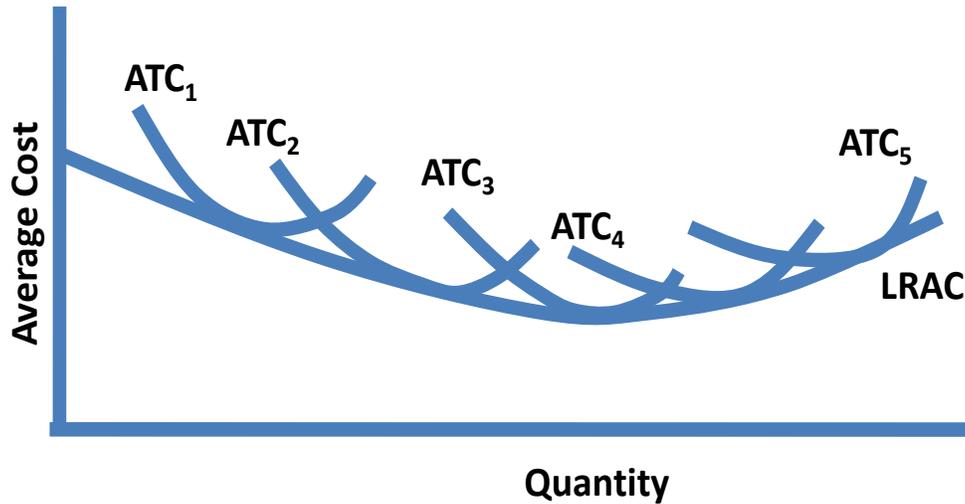
Keterangan:

LRMC = long-run marginal cost, LRAC = long-run average cost,

Sumber: McKenzie and Lee (2006)

Gambar 14. Biaya Rata-Rata Jangka Panjang dan Biaya Marjinal Jangka Panjang

Dalam teori biaya produksi juga dikaji hubungan antara biaya jangka pendek dan jangka panjang. Kurva biaya rata-rata jangka panjang seperti membungkus kurva biaya rata-rata jangka pendek. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 15.



Keterangan:

ATC = *average total cost*, LRAC = *long-run average cost*,

Sumber: McKenzie and Lee (2006)

Gambar 15. Kurva Biaya Jangka Panjang dan Jangka Pendek

Sesuai dengan ilustrasi di atas, efisiensi dapat ditingkatkan dengan peningkatan kuantitas produksi. Pergeseran kurva ATC_1 ke ATC_2 membuktikan peningkatan kuantitas produksi mendorong biaya rata-rata yang semakin rendah. Namun, peningkatan kuantitas produksi tidak selamanya mendorong peningkatan efisiensi. Pada kondisi tertentu (setelah peningkatan produksi melewati ATC minimal), maka peningkatan kuantitas produksi justru menyebabkan biaya rata-rata meningkat.

Beberapa peneliti telah mengkaji biaya pada usaha budidaya ikan. Rahayu (2011) melakukan kajian mengenai usaha pembesaran ikan nila pada kolam air deras di Kabupaten Klaten, dimana biaya tetap antara lain meliputi biaya pajak tanah, biaya listrik untuk penerangan kolam, dan biaya penyusutan peralatan. Sedangkan biaya variabel meliputi biaya tenaga kerja, biaya benih dan biaya pakan ikan. Tamba, et al (2011) melakukan kajian usaha budidaya ikan nila dalam karamba jaring apung di Kabupaten Dairi. Dalam kajian tersebut, Tamba, et al (2011) memperhitungkan modal tetap dan modal kerja, dimana modal tetap antara lain meliputi biaya investasi pembuatan paket karamba jaring apung dan sewa lahan. Modal kerja meliputi biaya benih ikan, biaya pembelian pakan, upah tenaga kerja dan biaya listrik. Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa komposisi biaya usaha budidaya dapat dikelompokkan dalam biaya investasi dan

biaya operasional dengan komponen biaya dapat beragam tergantung metode budidaya yang dipergunakan dan strategi pembiayaan yang dipilih.

Sedangkan laba atau keuntungan adalah nilai penerimaan total perusahaan dikurangi biaya total yang dikeluarkan perusahaan. Jika laba dinotasikan π , pendapatan total sebagai TR dan biaya total adalah TC, maka $\pi = TR - TC$. Pelaku usaha dikatakan memperoleh laba kalau nilai π positif ($\pi > 0$) di mana $TR > TC$. Menurut Jolly and Clonts (1993), total penerimaan (TR atau *total revenue*) usaha budidaya ikan adalah total penjualan selama suatu periode budidaya ikan tertentu dengan asumsi pembudidaya ikan hanya memproduksi dan menjual ikan. Penerimaan rata-rata (AR atau *average revenue*) adalah jumlah penerimaan per unit yang dijual. Sedangkan *marginal revenue* (MR) adalah laju perubahan penerimaan (TR) terhadap perubahan jumlah barang yang dijual.

Keunggulan Akuakultur

Akuakultur merupakan teknik yang sejak ratusan tahun lalu telah dikembangkan oleh manusia di berbagai belahan dunia, termasuk di Indonesia. Akuakultur dilakukan untuk memproduksi organisme perairan melalui proses memelihara atau mengembangbiakkan organisme air yang diinginkan, seperti: ikan, udang, kepiting, belut, kerang mutiara, dan rumput laut dalam kondisi terkontrol. Beberapa keunggulan akuakultur antara lain adalah (Wijayanto, 2016):

1. Faktor ketidakpastian (*uncertainty*) dikurangi. Dalam kegiatan penangkapan ikan, maka karakteristiknya seperti pemburu, dimana resiko untuk kegagalan relatif tinggi. Sedangkan dalam akuakultur, tingkat panen dapat lebih mudah diprediksikan dan bersifat lebih pasti dibanding usaha penangkapan ikan.
2. Mengurangi dampak eksternalitas negatif. Dalam upaya penangkapan, seringkali diperhadapkan masalah eksternalitas negatif, terutama pada kondisi sumberdaya bersifat milik bersama dan akses terbuka. Sedangkan dalam akuakultur, jenis kepemilikannya bersifat *sole ownership*, sehingga fenomena eksternalitas negatif dapat berkurang.
3. Dibandingkan pertanian, akuakultur memiliki kelebihan dapat memanfaatkan kolom kedalaman air. Dalam pertanian, dimensi yang dipergunakan adalah luas, yaitu panjang dan lebar lahan. Dalam akuakultur, dimensi yang dipergunakan adalah volume, yaitu panjang, lebar dan kedalaman.

4. Dibandingkan dengan peternakan, maka energi yang dipergunakan lebih rendah. Mengingat ikan mengapung di air sehingga dapat lebih menghemat energi dibanding hewan ternak. Dengan demikian, proporsi energi yang dipergunakan untuk pertumbuhan lebih besar dibanding hewan ternak. Ikan juga berdarah dingin dimana membutuhkan energi lebih efisien dalam pengaturan suhu tubuh, dibandingkan hewan ternak yang berdarah panas.
5. Usaha akuakultur dapat dilakukan secara fleksibel. Akuakultur dapat dilakukan dengan metode intensif maupun alamiah. Usaha akuakultur juga dapat dilakukan dengan mina padi maupun untuk kepentingan rekreasi dan hiburan.
6. Produksi akuakultur juga dapat didekatkan dengan daerah target pemasaran dimana lokasi sangat mempengaruhi berbagai biaya operasi.
7. Secara ekonomi, akuakultur memberikan stabilitas suplai ikan, penyerapan tenaga kerja dan peningkatan ekspor.

Pada prinsipnya, budidaya ikan merupakan kegiatan pembesaran ikan, kerang-kerangan dan tanaman perairan dalam kondisi terkontrol maupun semi terkontrol untuk mendapatkan keuntungan dan atau konsumsi manusia. Usaha budidaya ikan telah dilakukan sebelum masehi (SM), diantaranya di China, Mesir dan Assyria. Usaha budidaya ikan secara komersial di USA mulai berkembang pada tahun 1920-an dengan komoditi terbesar adalah *catfish*, *crawfish*, salmon dan trout. Dalam perkembangannya, Asia merupakan produsen utama budidaya ikan di dunia. Sedangkan kontribusi Eropa dalam total output budidaya ikan dunia pada tahun 1987 hanya sekitar 8% (Jolly and Clonts, 1993 dan Beveridge, 2004).

Modal Investasi dan Modal Kerja

Usaha budidaya ikan memerlukan modal, dengan kebutuhan modal dipengaruhi jenis usaha budidaya. Pada prinsipnya, jenis modal dapat dibedakan menjadi dua, yaitu modal investasi dan modal kerja. Modal investasi merupakan modal yang digunakan untuk membeli peralatan yang memiliki nilai ekonomi relatif tinggi dan umur ekonomisnya lebih dari satu tahun. Berikut beberapa jenis investasi yang diperlukan dalam usaha budidaya ikan:

1. Lahan. Investasi lahan berbeda dengan investasi lain. Kalau jenis investasi lain mengalami depresiasi, tetapi lahan atau tanah tidak mengalami depresiasi. Bahkan nilai jual tanah justru cenderung naik. Pembudidaya ikan perlu cermat dalam membeli lahan.

Pemilihan lokasi sangat menentukan keberhasilan usaha budidaya ikan, yaitu terkait dengan suplai dan kualitas air, kualitas lahan, aksesibilitas maupun kondusifitas lingkungan sosial untuk operasi budidaya ikan. Luas lahan perlu diperhitungkan terkait kebutuhan kolam/tambak, jalan, rumah, laboratorium, gudang dan kebutuhan lain.

2. Bangunan. Bangunan yang diperlukan dalam usaha budidaya ikan antara lain berupa mess karyawan, gudang pakan, gudang peralatan, rumah genset maupun bengkel, tergantung jenis usaha. Bangunan memiliki umur ekonomis dan perlu disiapkan biaya perawatan.
3. Mesin. Beberapa mesin yang diperlukan dalam usaha budidaya ikan antara lain: pompa air, pompa aerator, genset, mesin pendorong perahu, maupun kincir air. Beberapa jenis mesin tersebut memiliki umur ekonomis, mengalami depresiasi dan perlu disiapkan biaya perawatan.
4. Alat Transportasi. Beberapa jenis alat transportasi yang diperlukan dalam operasional budidaya ikan antara lain kendaraan roda dua, kendaraan roda dua, mobil maupun perahu motor tergantung jenis usaha. Beberapa jenis peralatan transportasi tersebut memiliki umur ekonomis, mengalami depresiasi dan perlu disiapkan biaya perawatan.
5. Media budidaya. Beberapa jenis media budidaya antara lain: kolam/tambak, karamba, maupun karamba jaring apung. Kolam dapat terbuat dari beton, tanah maupun terpal. Media budidaya ikan memiliki umur ekonomis, mengalami depresiasi dan perlu biaya perawatan

Model kerja merupakan modal yang diperlukan untuk membiayai pengeluaran non investasi. Modal kerja dapat dipergunakan untuk pengadaan pakan, obat, benih, energi, tenaga kerja, perawatan aset, komunikasi, administrasi hingga pembelian peralatan yang memiliki nilai ekonomis kurang dari satu tahun. Berikut beberapa jenis penggunaan modal yang diperlukan dalam usaha budidaya ikan:

1. Pakan. Biaya pakan dalam usaha budidaya ikan yang bersifat intensif memiliki proporsi biaya yang terbesar. Jenis pakan dalam usaha budidaya ikan disesuaikan dengan ikan yang dibudidayakan. Jenis pakan dapat dibedakan dari sifatnya, yaitu pakan alami dan pakan buatan. Pakan alami (hidup) dapat ditumbuhkan melalui proses budidaya. Pakan alami dapat digunakan untuk memberi makan larva, yaitu berupa plankton maupun artemia. Ukuran plankton harus disesuaikan dengan

bukaan mulut larva ikan yang dipelihara. Sedangkan pakan buatan merupakan jenis pakan yang diformulasikan dengan aneka bahan (diantaranya tepung ikan, tepung kedelai, vitamin, pengikat, dsb) untuk mensuplai kebutuhan nutrisi ikan. Pakan buatan dapat berbentuk serbuk, *crumble*, maupun pelet disesuaikan dengan ukuran ikan yang dipelihara. Jenis pakan buatan juga dapat dibedakan berdasarkan sifatnya dalam air, yaitu tenggelam dan terapung. Sebagian ikan juga diberikan ikan rucah, kepala udang, sayur/daun, dan limbah organik.

2. Bahan Kimia, Pupuk dan Obat. Bahan kimia biasanya dipergunakan pada saat persiapan lahan, terutama tambak dan kolam. Bahan kimia tertentu dapat dipergunakan untuk membunuh hama dan penyakit. Kapur dapat dipergunakan untuk mengatur pH. Sedangkan pupuk dipergunakan untuk menumbuhkan plankton yang diperlukan sebagai pakan alami dan penstabil kualitas air. Pemakaian pupuk biasanya dipergunakan pada saat persiapan lahan. Obat biasa dipergunakan untuk mengobati ikan yang terkena penyakit. Selain itu, sebagian para pembudidaya ikan di tambak dan kolam juga menggunakan probiotik untuk menjaga kualitas air dengan memanfaatkan bakteri yang mendukung kualitas air dan kesehatan ikan.
3. Benih dan Induk. Benih dipergunakan pada usaha pembesaran ikan, sedangkan induk dipergunakan pada usaha pembenihan, baik pembenihak ikan konsumsi maupun ikan hias. Pemilihan benih dan induk yang berkualitas menjadi faktor krusial penentu keberhasilan usaha budidaya ikan. Hendaknya benih dan induk yang dipilih merupakan benih dan induk yang berkualitas, dan sehat.
4. Energi. Pada usaha budidaya ikan di Indonesia, energi yang dipergunakan biasanya adalah listrik dan BBM (bahan bakar minyak). Pemakaian energi yang bersumber dari gas digunakan di sebagian negara tertentu. Pada lokasi budidaya ikan yang dilengkapi dengan jaringan listrik, maka pembudidaya ikan akan cenderung memilih penggunaan listrik untuk penerangan, pompa air, maupun kincir air. Hal itu disebabkan biaya listrik di Indonesia lebih efisien jika dibandingkan dengan penggunaan mesin diesel berbahan bakar solar (*diesel fuel*). Namun, para pembudidaya ikan dengan sistem intensif memiliki genset atau mesin diesel sebagai cadangan untuk mengantisipasi listrik mati. Selain itu, BBM juga diperlukan untuk operasional kendaraan yang dipergunakan sebagai sarana transportasi.

5. Tenaga kerja. Semakin intensif suatu usaha budidaya ikan, maka kebutuhan tenaga kerja semakin bertambah. Tenaga kerja diperlukan baik dalam proses persiapan lahan, penebaran benih ikan, pemeliharaan (termasuk pemberian pakan), pemantauan kualitas air, hingga proses panen ikan.
6. Peralatan penunjang. Dalam usaha budidaya ikan, diperlukan peralatan penunjang, seperti ember, ancho, selang, dsb. Keberadaan peralatan tersebut sangat diperlukan untuk kelancaran operasional budidaya ikan, meskipun nilainya (harga) relatif kecil.
7. Biaya lain. Selain biaya-biaya di atas, juga diperlukan modal kerja untuk biaya perijinan, administrasi, sosial dan pajak.

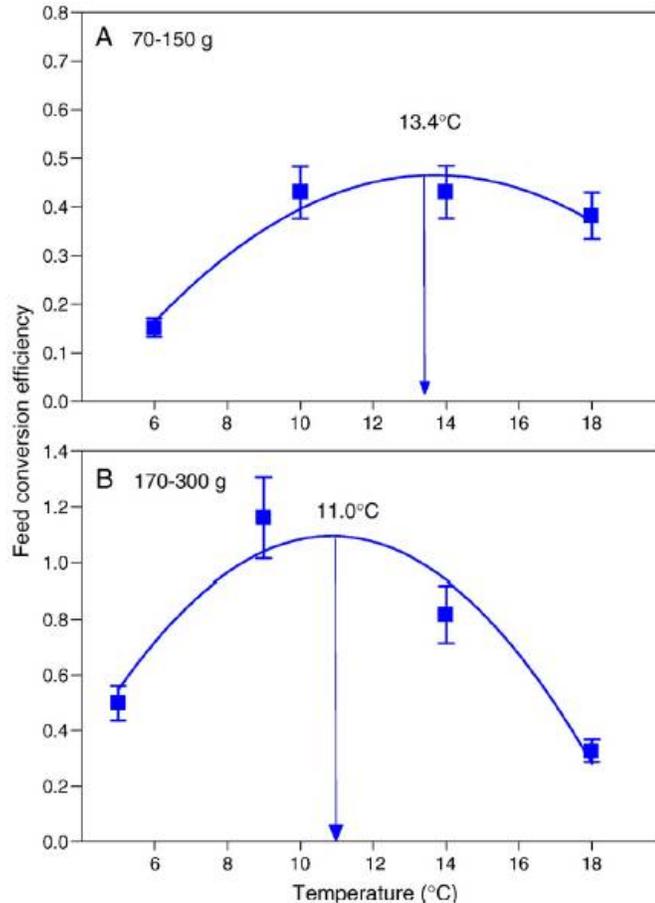
Modal investasi dan modal kerja di atas perlu diperhitungkan dalam proses pemodelan bioekonomi budidaya ikan. Dalam beberapa model yang berkembang, sebagian komponen biaya perlu dikonversi dalam satuan uang per hari (misalnya Rp/hari), diantaranya biaya tenaga kerja, dan depresiasi aset.

Konversi Pakan

Konversi pakan menjadi faktor yang sangat menentukan bagi pelaku usaha budidaya ikan untuk meraih keuntungan, terutama pada budidaya ikan semi intensif, intensif dan super intensif. *Food conversion ratio* (FCR) atau konversi pakan merupakan indikator efisiensi pemberian pakan buatan dalam usaha budidaya ikan. FCR adalah jumlah pakan yang dibutuhkan untuk setiap unit pertambahan berat tubuh. Semakin rendah FCR, maka pemanfaatan pakan semakin efisien (Halver and Hardy, 2002). Faktor yang mempengaruhi konversi pakan, antara lain kepadatan, umur, berat individu, temperatur dan cara pemberian pakan. FCR dapat diukur dengan rumus yang dikemukakan Halver and Hardy (2002), dan Engle (2010), yaitu:

$$FCR = \frac{F}{W_t - W_o}$$

Dimana F adalah berat pakan yang diberikan (gram), W_t adalah berat ikan pada saat t pada kegiatan budidaya ikan, dan W_o adalah berat ikan pada awal kegiatan budidaya ikan. Sebagai gambaran, FCR ikan nila merah yang dipelihara dalam karamba jaring apung di Danau Toba adalah 1,15 hingga 1,8 (Hanif, et al, 2011). Artinya, untuk menghasilkan tambahan berat biomassa sebesar 1 Kg diperlukan pakan sejumlah 1,15 hingga 1,8 kg. Sedangkan ikan nila yang dipelihara dalam karamba di Afrika dapat mencapai FCR sebesar 1,4 hingga 2,5 (Ofori, et al. 2009).



Sumber: Handeland, et al (2008)

Gambar 16. Hubungan antara Ukuran Ikan Temperatur dan FCR Ikan Salmon

Permintaan dan Penawaran

Selama ini, produksi perikanan dunia masih didominasi oleh perikanan laut, yaitu dari penangkapan. Namun, kesadaran untuk optimalisasi usaha budidaya perikanan semakin menguat mengingat sumberdaya perikanan tangkap banyak yang telah mengalami *overfishing*. Mengantisipasi permintaan produk perikanan yang semakin besar, maka terdapat empat (4) strategi utama yang dapat dilakukan menurut Cunningham, Dunn and Whitmarsh (1985), yaitu:

1. Meningkatkan upaya penangkapan pada stok yang masih *underutilized*
2. Memperbaiki pengelolaan stok yang tersedia
3. Mengembangkan usaha budidaya perikanan sebagai penambah suplai

4. Memperbaiki penggunaan suplai dari ketiga sumber (1, 2 dan 3) di atas.

Pertumbuhan penduduk dunia akan mendorong permintaan ikan konsumsi juga mengalami peningkatan. Hasil proyeksi FAO (2014) menunjukkan bahwa kebutuhan konsumsi ikan dunia akan meningkat menjadi 151.771 ribu ton per tahun pada tahun 2030, sedangkan konsumsi ikan pada tahun 2006 adalah 111.697 ribu ton. Artinya, terjadi peningkatan permintaan ikan untuk konsumsi sebesar 1,5% per tahun.

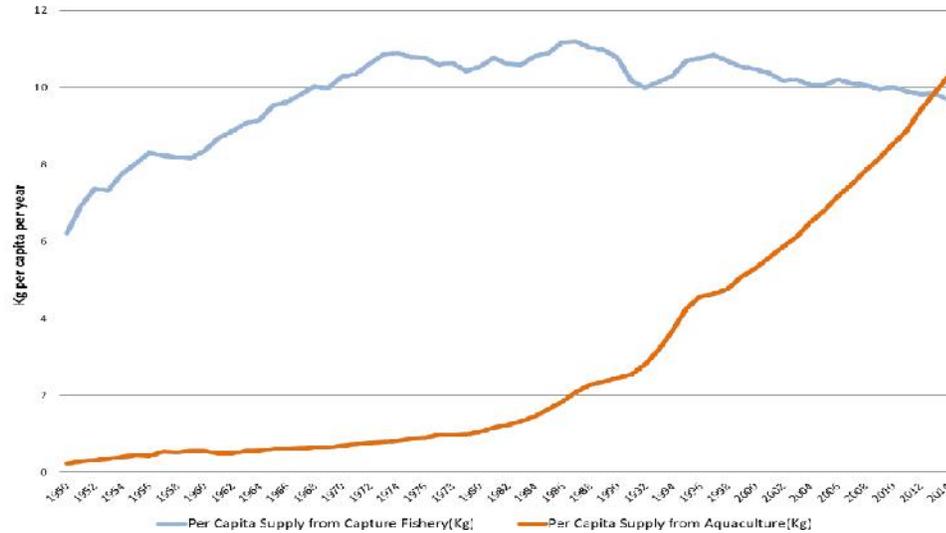
Tabel 7. Proyeksi Suplai dan Permintaan Ikan Dunia Tahun 2030

Satuan: 1.000 ton

Uraian	Total Produksi Ikan		Konsumsi per Kapita	
	Data 2008	Proyeksi 2030	Data 2006	Proyeksi 2030
Perikanan Tangkap	89.443	93.229	64.533	58.159
Perikanan Budidaya	52.843	93.612	47.164	93.612
Total	142.285	186.842	111.697	151.771

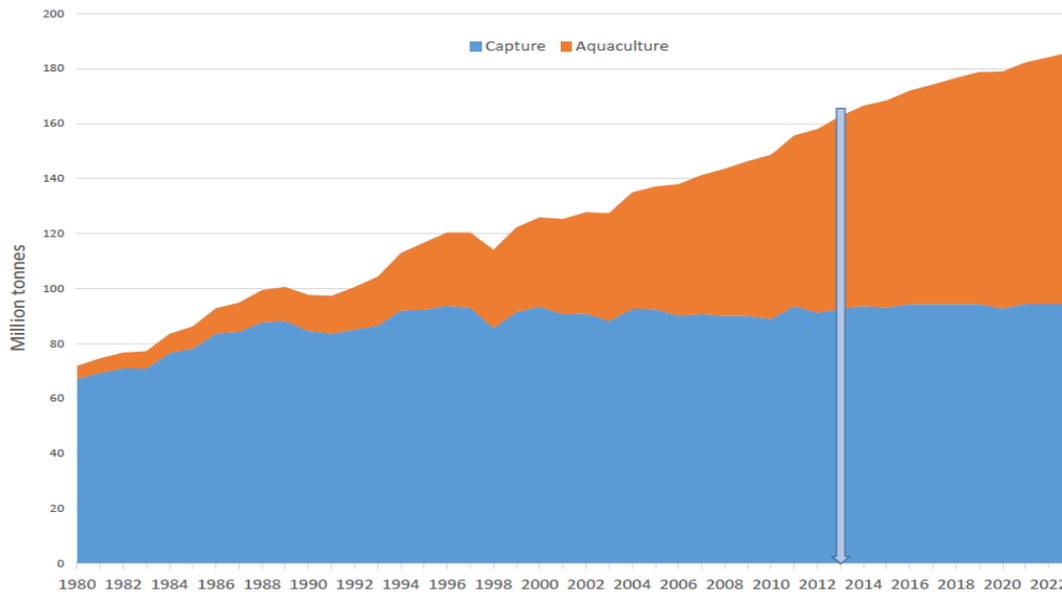
Sumber: World Bank, 2013.

Penduduk dunia diproyeksikan akan mencapai 8,5 miliar jiwa pada tahun 2030, pada tahun 2050 mencapai 9,7 miliar jiwa dan pada tahun 2100 mencapai 11,2 miliar jiwa. Pertumbuhan penduduk dari tahun 2015-2030 diperkirakan mencapai 0,7%. Namun, produksi perikanan tangkap dunia justru mengalami pelambatan pertumbuhan produksi, yaitu sebesar 0,18% per tahun. Produksi perikanan budidaya justru mengalami pertumbuhan yang lebih agresif, yaitu 2% per tahun. Oleh karena itu, diprediksikan bahwa suplai perikanan tangkap akan tergantikan oleh suplai perikanan budidaya dalam memenuhi kebutuhan akan ikan, baik untuk pangan ataupun non pangan di dunia.



Sumber : FAO (2014)

Gambar 17. Perkembangan Suplai Ikan per Kapita untuk Konsumsi Manusia

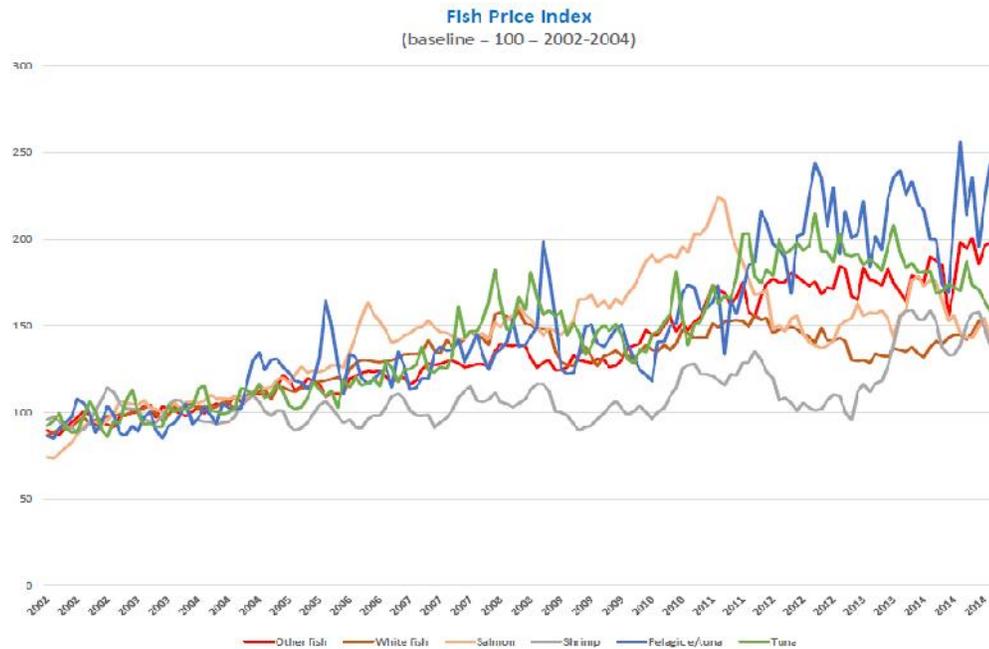


Sumber : FAO (2014)

Gambar 18. Tren Produksi Perikanan Tangkap dan Dunia

Tren pelambatan pertumbuhan produksi perikanan tangkap dunia dan peningkatan permintaan ikan dunia merupakan peluang dan tantangan bagi pengembangan perikanan budidaya. Harga komoditas perikanan juga memiliki tren mengalami peningkatan. Ikan dinilai sebagai sumber nutrisi yang berkualitas, sehingga negara-negara tertentu tetap

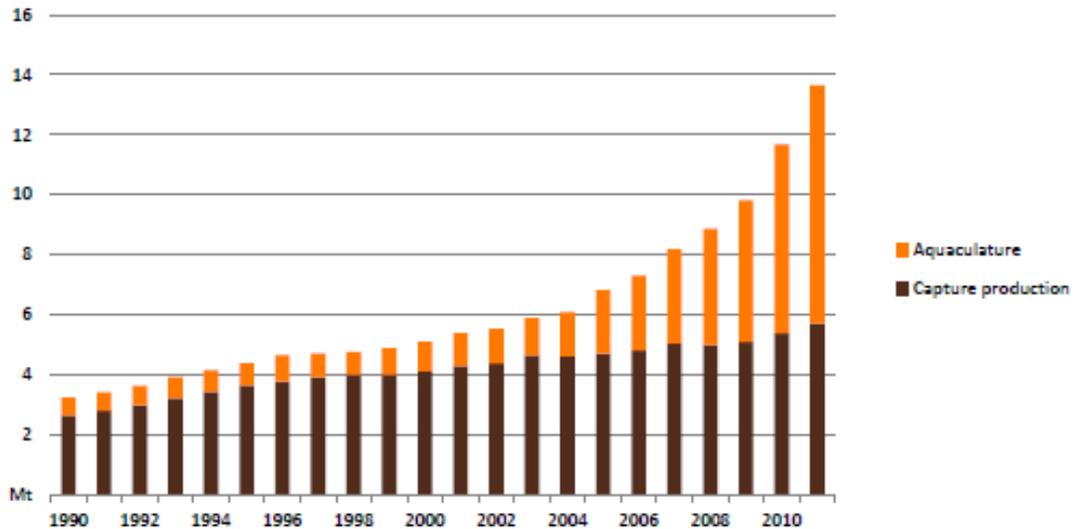
memprioritaskan ketersediaan suplai ikan, diantaranya Jepang dan Korea Selatan.



Sumber : FAO (2014)

Gambar 19. Perkembangan Harga Ikan Dunia

Perkembangan produksi perikanan tangkap di Indonesia juga mengalami pelambatan pada tahun 1990-2010, sedangkan perikanan budidaya di Indonesia justru mengalami peningkatan pada tahun 1990-2010. Hal ini diakibatkan adanya *overfishing* pada perairan Indonesia. Meskipun demikian, produksi perikanan tangkap Indonesia yang masih mengalami pertumbuhan merupakan peluang, mengingat beberapa negara justru mengalami pertumbuhan negatif. Namun, harus diakui bahwa sebagian sumberdaya ikan Indonesia telah mengalami *overexploited*, sehingga perlu pengelolaan yang lebih bijaksana, terutama pada daerah tertentu dan jenis ikan tertentu yang telah mengalami *overexploited*.



Sumber : di unduh dari www.fao.org, tanggal 5 Mei 2016

Gambar 20. Produksi Perikanan Indonesia Tahun 1990-2010

Penduduk Indonesia juga terus mengalami pertumbuhan. Pada tahun 2015, jumlah penduduk Indonesia adalah sebesar 255.461.686 jiwa dan diproyeksikan menjadi 268.074.565 jiwa pada tahun 2019. Laju pertumbuhan penduduk Indonesia pada tahun 2015-2016 mengalami peningkatan sebesar 1%. Peningkatan jumlah penduduk ini akan mempengaruhi tingkat konsumsi ikan per kapita. Tingkat konsumsi ikan penduduk Indonesia dari tahun 2010-2014 mengalami peningkatan. Proyeksi konsumsi ikan per kapita tahun 2015 sebesar 37,73 kg/kapita; tahun 2016 sebesar 39,13 kg/kapita; dan diproyeksikan pada tahun 2020 menjadi 44,74 kg/kapita. Artinya, jumlah konsumsi ikan penduduk Indonesia akan terus mengalami peningkatan yang didorong oleh konsumsi per kapita dan peningkatan jumlah penduduk.

Volume ekspor Indonesia tahun 2012-2014 mengalami peningkatan, sedangkan volume impor Indonesia mengalami pelambatan. Peningkatan volume ekspor Indonesia tahun 2010-2014 sebesar 3,57%, sedangkan volume impor Indonesia pada tahun 2010-2014 mengalami penurunan yaitu sebesar 3,05%. Sama halnya dengan peningkatan volume ekspor, nilai ekspor produk perikanan juga mengalami peningkatan sebesar 12,96%. Namun berbeda dengan produk impor hasil perikanan, ketika volume impor dari tahun 2010-2014 mengalami penurunan justru nilai impor hasil perikanan meningkat sebesar 5,40%. Hal ini menunjukkan bahwa harga produk perikanan yang diimpor mengalami peningkatan harga.

Tabel 8. Perkembangan Ekspor dan Impor Perikanan Indonesia

Uraian	Tahun					Pertumbuhan (%)	
	2010	2011	2012	2013	2014*	2010-2014	2013-2014
Volume Ekspor (ton)	1.103.576	1.159.349	1.229.114	1.258.179	1.268.983	3,57	0,86
Volume Impor (ton)	401.678	469.964	337.360	353.404	333.106	-3,05	-5,74
Nilai Ekspor (US\$ 1.000)	2.863.831	3.521.091	3.853.658	4.181.857	4.638.536	12,96	10,92
Nilai Impor (US\$ 1.000)	391.365	492.598	412.362	457.247	462.406	5,40	1,13
Neraca Perdagangan (US\$ 1.000)	2.472.466	3.028.493	3.441.296	3.724.610	4.176.130	14,12	12,12

Sumber: KKP (2015)

Volume ekspor hasil perikanan Indonesia terbesar adalah ke negara China dengan perolehan sebesar 25% pada tahun 2013. Volume ekspor perikanan ke negara China sebesar 241 ribu ton senilai US\$306 juta. Jika dibandingkan dengan volume dan nilai ekspor pada tahun sebelumnya, yaitu sebesar 197 ton senilai US\$197 juta, ekspor perikanan ke negara China mengalami peningkatan volume sebesar 22,58% dan nilai sebesar 55,63%. Volume ekspor hasil perikanan Indonesia ke Amerika Serikat adalah sebesar 11%; Jepang 8%; Uni Eropa 6% dan negara lainnya sebesar 50%.

Sedangkan nilai ekspor hasil perikanan Indonesia terbesar dari tahun 2008-2012 adalah ke negara Jepang. Oleh karena itu, China dan Jepang harus mendapatkan perhatian serius karena menjadi negara importir produk perikanan yang terbesar dari Indonesia. Kenaikan rata-rata nilai ekspor Indonesia yang terbesar adalah ekspor ke negara China, yaitu 31,85%. Ekspor ke negara Jepang mengalami kenaikan nilai rata-rata sebesar 8,29%; Hongkong naik sebesar 5,18%; Malaysia naik sebesar 11,32%; Korea Selatan naik sebesar 4,38% dan Filipina naik sebesar 7,48%.

Tabel 9. Nilai Ekspor Perikanan Indonesia Berdasarkan Negara Tujuan

Tujuan	Nilai/value (US\$1.000)				
	2008	2009	2010	2011	2012
Jepang	616.732	617.775	691.749	806.060	842.118
China	100.403	97.036	150.371	220.998	284.664
Hongkong	86.017	89.476	118.775	92.680	98.181
Malaysia	62.760	58.432	60.860	77.444	93.524
Korea Selatan	62.010	51.851	50.299	70.478	68.206
Filipina	30.626	10.231	21.490	15.745	18.180

Sumber : KKP (2015).

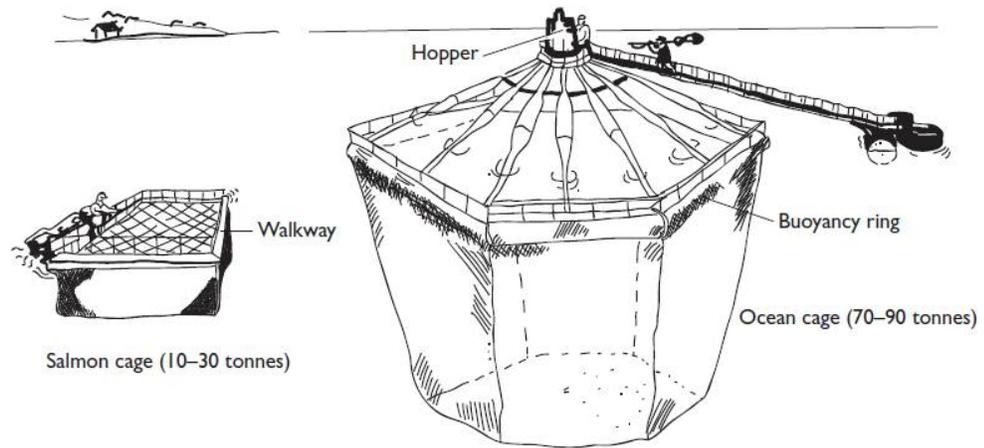
Tabel 10. Volume dan Nilai Ekspor Perikanan Berdasarkan Komoditas

Rincian	Tahun						Kenaikan Rata-rata (%)	
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2008-2012	2011-2012
Volume (Ton)	911.674	881.413	1.103.576	1.159.349	1.229.114	621.223	8,24	6,02
Udang	170.583	150.989	145.092	158.062	162.068	81.906	-0,98	2,53
Tuna, Cakalang, Tongkol	130.056	131.550	122.450	141.774	201.160	205.206	12,98	41,89
Ikan lainnya	424.401	430.513	622.932	621.632	538.723	269.567	8,15	-13,34
Kepiting	20.713	18.673	21.537	23.089	28.212	19.786	8,72	22,19
Lainnya	165.923	149.688	191.564	214.793	298.952	144.858	17,37	39,18
Nilai (US\$1.000)	2.699.683	2.466.202	2.863.831	3.521.091	3.853.658	1.973.432	9,97	9,44
Udang	1.165.293	1.007.481	1.056.399	1.309.674	1.304.149	723.604	3,72	-0,42
Tuna, Cakalang, Tongkol	347.189	352.300	383.230	498.591	749.992	398.353	22,69	50,42
Ikan lainnya	734.392	723.523	898.039	1.100.576	965.062	418.625	8,22	-12,31
Kepiting	214.319	159.993	208.424	262.321	329.724	198.060	14,39	25,69
Lainnya	238.490	225.904	317.738	349.930	504.730	234.791	22,44	44,24

Sumber : KKP (2015).

Udang merupakan komoditas ekspor hasil perikanan Indonesia yang terbesar, namun volume ekspor udang mengalami penurunan rata-rata sebesar -0,98% pada tahun 2008-2012. Produksi udang di Indonesia mengandalkan usaha budidaya, sedangkan perikanan tangkap udang cenderung telah mengalami *overexploited*. Pada tahun 2013, negara tujuan ekspor udang terbesar adalah Amerika Serikat, yaitu sebesar 49%. Sedangkan kenaikan rata-rata volume ekspor komoditas TTC (tuna, tongkol dan cakalang) yang berasal dari usaha perikanan tangkap dari tahun 2008-2013 adalah 12,98%.

Meskipun budidaya ikan di Indonesia telah berkembang, namun teknologi budidaya ikan di Indonesia masih kalah bersaing. Budidaya ikan di Indonesia masih mengandalkan budidaya air tawar dan budidaya air payau dengan teknologi masih didominasi oleh teknologi sederhana. Sebaiknya, Indonesia juga mengembangkan budidaya laut yang memiliki potensi yang juga besar dengan nilai jual komoditasnya cenderung lebih mahal dibandingkan budidaya air tawar. Sebagai contoh, budidaya ikan salmon di laut telah dikembangkan dengan karamba dengan ukuran yang relatif besar, misalnya dengan volume hingga 90 ton. Budidaya ikan tuna juga prospektif untuk dikembangkan, mengingat produksi per trip ikan tuna cenderung menurun karena penurunan stok sumberdaya ikan tuna.



Sumber: Bone and Moore (2008)

Gambar 21. Ilustrasi Karamba pada Budidaya Ikan Salmon

Bab IV

Maksimisasi Keuntungan

Konsep maksimisasi keuntungan diperlukan dalam mempelajari bioekonomi perikanan. Sebagian besar model bioekonomi menggunakan kaidah maksimisasi keuntungan yang menjadi salah satu kaidah dalam ekonomi mikro. Salah satu tujuan ekonomi adalah kesejahteraan, termasuk kesejahteraan pembudidaya ikan dan nelayan yang dipengaruhi oleh keuntungan dari usaha perikanan budidaya dan perikanan tangkap.

Pendekatan Marginal

Pendekatan marginal untuk melakukan maksimisasi keuntungan merupakan pendekatan yang paling banyak digunakan dalam bioekonomi perikanan. Dalam pendekatan marginal, keuntungan akan mencapai maksimal pada saat penerimaan marginal (marginal revenue atau MR) adalah sama dengan biaya marginal (*marginal cost* atau MC). Hubungan antara input dan output (keuntungan) yang bersifat tidak linier menyebabkan pendekatan marginal cocok diterapkan dalam maksimisasi keuntungan.

Pendekatan marginal ini dikembangkan dengan teorema matematika, terutama terkait dengan optimalisasi. Yang dimaksud dengan optimalisasi dapat berupa maksimisasi maupun minimalisasi. Dalam optimalisasi digunakan dua syarat, yaitu dikaitkan dengan turunan pertama dan kedua.

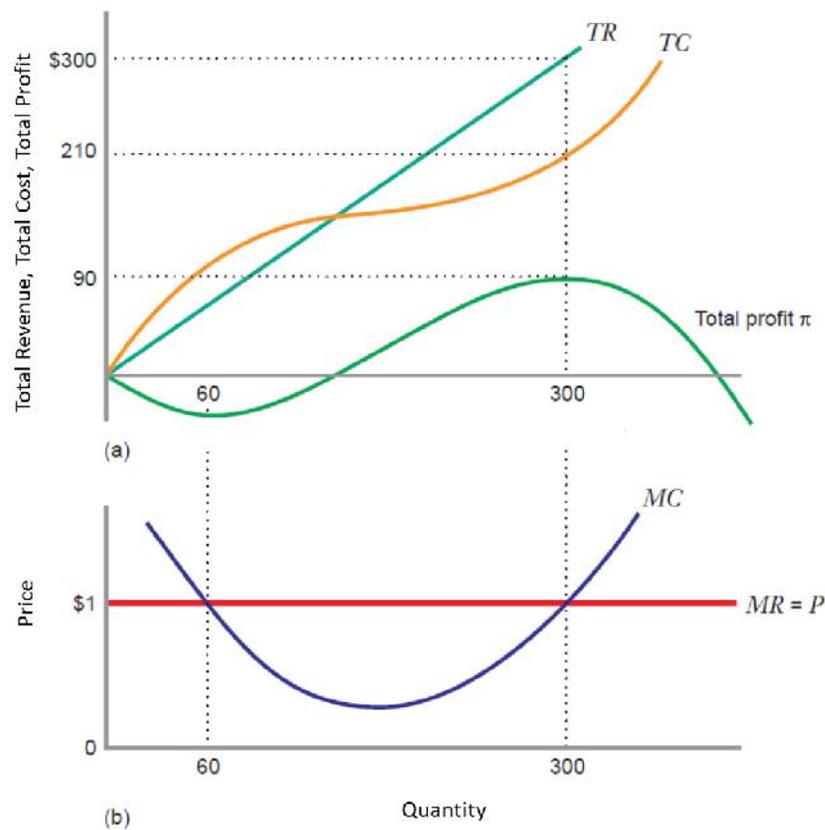
Tabel 11. Kaidah Optimalisasi

	Maksimisasi	Minimalisasi	Keterangan
Turunan pertama	nol	positif	First order condition
Turunan kedua	nol	negatif	Second order condition

MR sama dengan MC berarti turunan pertama dari fungsi keuntungan sama dengan nol. Keuntungan merupakan penerimaan (*total revenue* atau TR) dikurangi pengeluaran (*total cost* atau TC). MR merupakan turunan pertama dari TR, dan MC adalah turunan pertama dari TC. Jadi, turunan pertama dari keuntungan merupakan MR dikurangi MC. Apabila $MR=MC$, maka turunan pertama keuntungan bernilai nol, artinya memenuhi kaidah matematika dalam optimalisasi. Pada saat $MR = MC$, maka terdapat dua kemungkinan, yaitu keuntungan maksimal atau

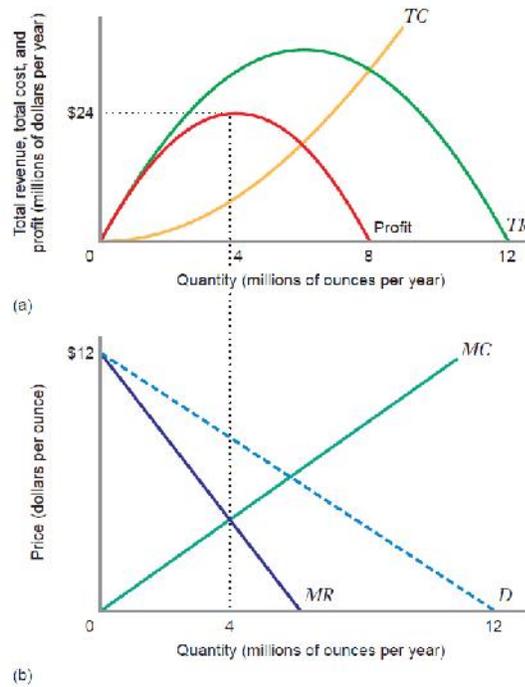
minimal. Oleh karena itu, $MR=MC$ adalah syarat pertama (*first order condition* atau FOC), sedangkan syarat tambahannya turunan kedua dari keuntungan harus bernilai negatif (*second order condition* atau SOC).

Menurut Besanko and Braeutigam (2011), maksimisasi keuntungan pada kondisi pasar persaingan sempurna (kondisi *price-taking*) adalah pada saat harga sama dengan biaya marjinal ($P=MC$) dan dengan catatan bahwa MC dalam kondisi mengalami kenaikan. Sedangkan pada kondisi jangka pendek, keuntungan maksimal terjadi pada saat harga sama dengan biaya marjinal jangka pendek (*short-run marginal cost* atau SMC), dan dengan syarat tambahan slope SMC sedang mengalami kenaikan serta harga lebih besar dari biaya variabel rata-rata (*average variable cost* atau AVC). Pada jangka panjang, maksimisasi keuntungan terjadi pada saat harga sama dengan *long-run marginal cost* ($P=MC$). Dalam kondisi pasar monopoli, keuntungan maksimal juga terjadi pada saat $MR=MC$. Dalam kondisi pasar monopsoni, keuntungan maksimal terjadi pada saat *marginal expenditure* (ME) sama dengan *marginal revenue* (MR).



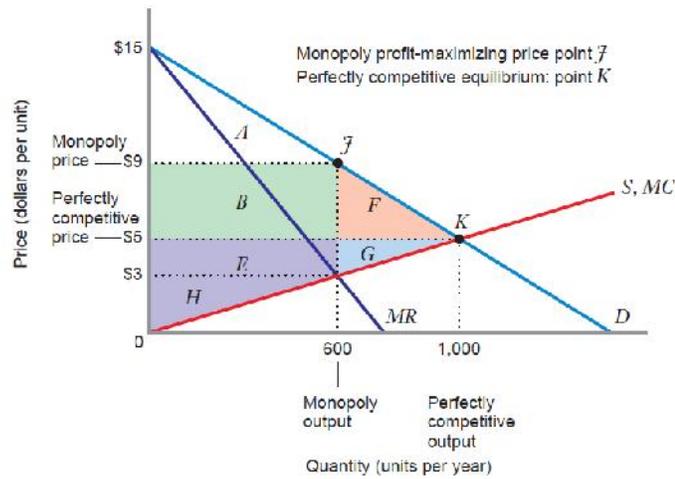
Sumber: Besanko and Braeutigam (2011)

Gambar 22. TR, TC, MR, MC dan Keuntungan Pasar Persaingan Sempurna



Sumber: Besanko and Braeutigam (2011)

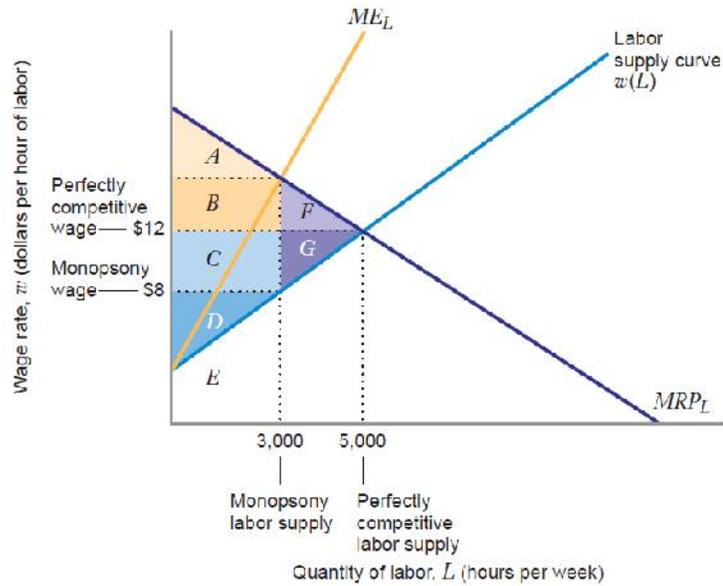
Gambar 23. TR, TC, MR, MC dan Keuntungan Pasar Monopoli



	Perfect Competition	Monopoly	Impact of Monopoly
Consumer surplus	$A + B + F$	A	$-B - F$
Producer surplus	$E + G + H$	$B + E + H$	$B - G$
Net economic benefit	$A + B + E + F + G + H$	$A + B + E + H$	$-F - G$

Sumber: Besanko and Braeutigam (2011)

Gambar 24. Perbandingan Pasar Persaingan Sempurna dan Pasar Monopoli



	Perfect Competition	Monopsony	Impact of Monopsony
Consumer surplus	$A + B + F$	$A + B + C$	$C - F$
Producer surplus	$C + D + G$	D	$-C - G$
Net economic benefit	$A + B + C + D + F + G$	$A + B + C + D$	$-F - G$

Sumber: Besanko and Braeutigam (2011)

Gambar 25. Perbandingan Pasar Persaingan Sempurna dan Pasar Monopsoni

Pendekatan Non Marginal

Pendekatan marginal awalnya dikembangkan oleh Marshall dan Cournot. Dalam perkembangannya, pendekatan marjinal mendapatkan kritikan dari beberapa peneliti, diantaranya Lester yang berpendapat bahwa analisis marjinal dan maksimisasi keuntungan merupakan teori umum perilaku perusahaan yang terlalu menyederhanakan bisnis menjadi dua variabel sederhana, yaitu pendapatan marjinal dan biaya marjinal. Pada kenyataannya, perusahaan tidak hanya ditentukan oleh pemegang saham, namun juga ditentukan oleh para manajer yang menjalankan perusahaan. Manajer tersebut dalam beberapa kasus memiliki kepentingan berbeda dengan pemegang saham. Perusahaan memiliki sejumlah pengambil keputusan, dan diantara mereka memiliki tujuan yang berbeda, misalnya keuntungan, penjualan, pangsa pasar, persediaan dan produksi. Dalam perkembangannya, berkembang model interaksi individu mengelola dalam sebuah organisasi.

Anderson and Ross (2005) melakukan kajian mengenai metode maksimisasi keuntungan dengan pendekatan alternatif (alternatif Austrian). Menurut Anderson and Ross (2005), pendekatan $MR=MC$ merupakan model yang paling banyak digunakan dalam maksimisasi keuntungan, namun bukan berarti merupakan model yang paling akurat, sehingga mencoba dikaji model alternatif lain, yaitu Model Rothbard, dan Model Baumol. Hasil kajian Anderson and Ross (2005) tersebut membuktikan bahwa Model Rothbard lebih komplis dibandingkan Model Baumol, dimana faktor waktu telah diperhitungkan dalam Model Rothbard. Menurut Mas-Collel, et al (1995), permasalahan maksimisasi keuntungan dengan asumsi *price-taking* merupakan maksimisasi penerimaan (harga dikalikan jumlah produksi) dengan kendala *production set* (kendala teknologi produksi). Implikasi bagi para pelaku usaha dalam pemilihan rencana produksi yang memaksimalkan keuntungan adalah para pelaku usaha perlu memproduksi sejumlah tertentu output pada biaya input yang rendah. Oleh karena itu, minimalisasi biaya (*cost minimalization*) merupakan *necessary condition* dari maksimisasi keuntungan.

Optimisasi multivariat dapat digunakan untuk upaya maksimalisasi keuntungan. Penerimaan dan biaya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, misalnya promosi, tenaga kerja, modal maupun output yang bersifat multi-produk. Oleh karena itu, perlu dilakukan turunan parsial dalam melakukan maksimisasi keuntungan. Sebagai contoh, jika keuntungan (π) memiliki persamaan $\pi = 80X - 2X^2 - XY - 3Y^2 + 100Y$, maka perlu dilakukan turunan parsial terhadap π , yaitu $\partial\pi/\partial X=0$ dan $\partial\pi/\partial Y=0$. Penyelesaian kasus ini dapat dilakukan dengan cara substitusi dari persamaan hasil dari yaitu $\partial\pi/\partial X=0$ dan $\partial\pi/\partial Y=0$, dan ditemukan bahwa keuntungan maksimal terjadi pada saat $X=16,52$ dan $Y=13,92$ (Salvatore, 2001).

Selain itu, maksimisasi keuntungan juga dapat dilakukan dengan optimisasi terkendala. Maksimisasi terkendala dapat dilakukan dengan memecahkan persamaan kendala untuk satu dari variabel keputusan, dan kemudian mensubstitusikan nilai variabel ini ke dalam fungsi tujuan. Sebagai contoh, jika $\pi = 80X - 2X^2 - XY - 3Y^2 + 100Y$ dan disertai dengan kendala $X+Y=12$, maka untuk memecahkan kasus ini dapat dilakukan dengan mensubstitusikan bahwa $X=12-Y$ ke dalam persamaan keuntungan, sehingga diperoleh $\pi = -4Y^2 + 56Y + 672$. Selanjutnya, maksimisasi keuntungan dapat dilakukan dengan penurunan pertama keuntungan sama dengan nol, yaitu $d\pi/dY = -8Y + 56 = 0$, sehingga ditemukan bahwa keuntungan maksimal terjadi pada saat $Y=7$ dan setelah disubstitusikan maka diperoleh $X=5$.

Maksimisasi keuntungan juga dapat menggunakan metode Lagrange. Metode Lagrange dapat dipergunakan pada persamaan keuntungan yang rumit. Misalnya jika keuntungan mengikuti persamaan $\pi = 80X - 2X^2 - XY - 3Y^2 + 100Y$, dengan kendala $X + Y = 12$, maka dapat digunakan pengali Lagrange, yaitu $\lambda(X + Y - 12)$, dimana λ adalah huruf latin lambda sebagai notasi pengali Lagrange. Selanjutnya, dapat disusun fungsi Lagrange (L_{π}) sebagai berikut:

$$L_{\pi} = 80X - 2X^2 - XY - 3Y^2 + 100Y + \lambda(X + Y - 12)$$

Fungsi Lagrange di atas dapat diperlakukan sebagai fungsi tanpa kendala dengan tiga variabel yang tidak diketahui, yaitu X , Y dan λ (hanya sebagai alat bantu). Untuk memaksimalkan L_{π} , maka dapat dilakukan turunan parsial terhadap L_{π} terhadap X , Y dan λ , yaitu:

$$\partial L_{\pi} / \partial X = 80 - 4X - Y + \lambda = 0$$

$$\partial L_{\pi} / \partial Y = -X - 6Y + 100 + \lambda = 0$$

$$\partial L_{\pi} / \partial \lambda = X + Y - 12 = 0$$

Jika persamaan $80 - 4X - Y + \lambda = 0$ dikurangi dengan $-X - 6Y + 100 + \lambda = 0$, maka ditemukan persamaan $-20 - 3X + 5Y = 0$. Selanjutnya, jika $3(X + Y - 12) = 3 \cdot 0$ dikurangi dengan $-20 - 3X + 5Y = 0$, maka diperoleh persamaan $8Y - 56 = 0$, maka diperoleh bahwa $Y = 7$, $X = 6$ dan $\lambda = -53$. Nilai λ memiliki interpretasi ekonomi, yaitu terkait dengan dampak marginal berhubungan dengan perubahan 1 unit kendala. Pada kasus ini, artinya penurunan kendala kapasitas output sebesar 1 unit dapat menyebabkan peningkatan keuntungan sebesar 53.

Maksimisasi keuntungan dapat menggunakan cara melakukan minimisasi persamaan biaya dan dikombinasikan dengan maksimisasi persamaan penerimaan. Selain itu, metode Maclaurin, metode Taylor, *linier programming*, dan *non-linier programming* juga dapat dipergunakan untuk melakukan optimisasi (Chiang, 1984).

Bab V

Perkembangan Pemodelan Bioekonomi Budidaya Ikan

Menurut Padilla and Charles (1994), pemodelan bioekonomi budidaya ikan lebih mendekati kehutanan dan peternakan dibandingkan perikanan tangkap, dengan menggunakan pendekatan maksimisasi keuntungan sebagai fokus utama. Dengan terjadinya pergeseran prioritas produksi dari perikanan tangkap ke perikanan budidaya, maka pengembangan bioekonomi mulai mengkaji pengembangan bioekonomi perikanan budidaya. Model bioekonomi yang dikembangkan dapat mengkaitkan hubungan perikanan tangkap dan perikanan budidaya, maupun model perikanan budidaya dengan tujuan maksimisasi keuntungan. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk model bioekonomi maksimisasi keuntungan pada usaha budidaya ikan, diantaranya dengan basis model Beverton-Holt dan von Bertalanffy.

Basis Model Beverton-Holt

Bjorndal (1988) telah melakukan kajian optimalisasi panen dengan menggunakan basis pertumbuhan ikan Model Beverton-Holt. selanjutnya dikembangkan lebih lanjut oleh Arnason (1992), Heap (1993) dan Strand and Mistiaen (1999).

Arnason (1992) melakukan kajian penelitian mengenai optimalisasi pemberian pakan dan waktu panen dalam budidaya ikan dengan tujuan maksimisasi keuntungan. Persamaan *present value* dari panen ditetapkan: $R = x(T)\exp(-iT)$, dimana T adalah waktu panen, $x(T)$ adalah cohort biomassa pada saat dipanen dan i adalah faktor diskonto. Persamaan *instantaneous feeding* atau $F(t)$ ditetapkan sebagai berikut: $F(t) = f(t) \cdot n(t)$, dimana $f(t)$ adalah jumlah pakan per individu dalam *cohort*, $n(t)$ adalah jumlah individu ikan dan t adalah waktu. Selanjutnya, biaya pemberian

pakan (C) mengikuti persamaan: $C = \int_0^T s \cdot F(t) \cdot \exp(-it) dt$ dimana s adalah harga pakan ikan per unit biomassa, dimana harga relatif pakan ikan dibanding harga output adalah $s = p_f / p_x$, dimana p_f adalah harga pakan ikan per unit, dan p_x adalah harga per unit biomassa ikan yang dipanen. Fungsi profit (P) ditetapkan sebagai berikut:

$P = x(T) \cdot \exp(-iT) - \int_0^T F(t) \cdot \exp(-it) dt$. *Present value* dari biaya panen ditetapkan: $p_h \cdot x(T) \cdot \exp(-iT)$, sedangkan biaya bersifat implisit pada harga p_x , yaitu $p_x = p_g - p_h$, dimana p_g adalah harga gross dari output dan p_x adalah *net output price*. Biomassa *cohort* $x(t)$ ditetapkan $x(t) \equiv n(t) \cdot w(t) = n(0) \cdot \exp(-m \cdot t) \cdot w(t)$ dimana $n(t)$ merupakan jumlah ikan,

$w(t)$ adalah bobot ikan pada saat t , $n(0)$ adalah jumlah awal ikan, dan m merupakan laju mortalitas *cohort* yang diasumsikan konstan. Melalui penyelesaian matematis ditetapkan fungsi profit sebagai berikut:

$J = w(T) \cdot \exp(-rT) - s \cdot \int_0^T f(t) \cdot \exp(-rt) dt$, dimana J merupakan keuntungan per rekrutmen ikan, yaitu $J = P/n(0)$, dan faktor diskonto "baru" adalah r yang berasal dari $r = i + m$, $w(T)$ adalah bobot individu saat panen. Selanjutnya dilakukan maksimisasi J dengan penyelesaian matematis dengan dapat diperoleh persamaan optimalisasi pemberian pakan mengikuti persamaan sebagai berikut:

$\dot{f}(t) = [(G_w - r) \cdot G_f - G_w \cdot G(f, w, t) - \partial G_f / \partial t] / G_{ff}$. Pada kondisi khusus, dimana waktu bersifat *autonomous* dan fungsi pertumbuhan stok bersifat *independent (Stock Independent Growth Function)*, maka persamaan

optimalisasi pemberian pakan menjadi sebagai berikut: $\dot{f}(t) = -r \cdot (G_f / G_{ff})$ dimana waktu optimal (t^*) mengikuti persamaan sebagai berikut: $t^* = T + (\ln(s) - \ln(G_f(0))) / r$. Sedangkan apabila kondisinya berlaku *Stock Independent Nonautonomous Growth Function*, maka persamaan optimalisasi pemberian pakan akan menjadi sebagai berikut:

$\dot{f}(t) = (-r \cdot G_f - \partial G_f / \partial t) / G_{ff}$, dimana waktu optimal mengikuti persamaan: $t^* = T + (\ln(s) - \ln(G_f(0, t^*))) / r$.

Heaps (1993) juga melakukan kajian optimalisasi pemberian pakan pada perikanan budidaya. Menurut Heaps, kajian dari Arnason pada tahun 1992 bersifat terlalu general. Penelitian Heaps menggunakan persamaan

dinamis pertumbuhan ikan, yaitu: $\dot{n} = -mn - h$ dan $\dot{w} = G(w, f, t)$, dimana n adalah jumlah ikan, w adalah bobot rata-rata ikan, t adalah waktu, f adalah jumlah pemberian pakan per ikan, merupakan laju mortalitas, h

merupakan jumlah ikan dipanen, \dot{n} adalah laju panen, dan \dot{w} adalah pertambahan bobot individu. Jika $R(w)$ adalah nilai ikan sebagai net cost (capturing and slaughtering), maka maksimasi $R(w)$ mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$\text{MAX}_{(h, f, n(T), W(T), T)} R(w(T))n(T)e^{-iT} + \int_0^T (R(w)h - s(n)e^{-it} - k(1 - e^{-it})) / i$$

. Kondisi optimal untuk pemanenan dan pemberian pakan mengikuti persamaan dua persamaan

berikut: $\hat{G}_f = G_w - r + (R'(w)G_f - s) \frac{h}{sn}$ dan $R'(w)G - rR(w) - sf = 0$, dimana

$\hat{G}_f = \dot{G}_f / G_f$ dan $r = i + m$.

Mistiaen and Strand (1999) melakukan kajian mengenai optimalisasi pemberian pakan dan waktu panen. Dalam penelitian tersebut dilakukan maksimasi profit pada dua kondisi yaitu: skema harga kontinyu, dan skema harga “patah” atau *piecewise-continuous*. Pada skema harga kontinyu dimasukkan beberapa variabel antara lain: harga (p), pertumbuhan ikan (w), waktu panen (T), jumlah pakan (f), faktor diskonto (r), biaya pakan per ikan (CF), dan waktu budidaya (t), yaitu dengan

persamaan sebagai berikut:
$$\max_{f(t), T} \left[J = p(w)w(T)e^{-rT} - \int_0^T C_F f(t)e^{-rt} dt \right],$$

dimana J adalah profit. Melalui penyelesaian matematis diperoleh dua

persamaan, yaitu persamaan
$$\frac{\partial J^*}{\partial w(T)} = \left[p(w) + w(T) \frac{\partial p(w)}{\partial w(T)} \right] e^{-rT} - \lambda^*(T) = 0,$$

untuk optimalisasi waktu panen, dimana $\lambda(T)$ merupakan present value dari bobot panen, serta persamaan

$$\frac{\partial J^*}{\partial T} = \left[\frac{\partial p(w)}{\partial w(T)} w^*(T)w(T) + p(w)w^*(T) - rp(w)w(T) - C_F f^*(T)e^{-rT} \right] = 0,$$

yang mencerminkan optimalisasi keuntungan. Pada skema *piecewise-continuous*, dilakukan penyelesaian matematis pada persamaan

$$\max_{J_1, \dots, J_n, T_1, \dots, T_n} \left\{ \sup_{f(t), T_i} \left[J_i = p_i w_i(T_i) e^{-rT_i} - \int_0^{T_i} C_F f(t) e^{-rt} dt; i = 1, \dots, n \right] \right\},$$
 dimana

$$\frac{W^*_i(T_i) [p_i + \eta(T_i) e^{rT_i}]}{p_i w_i(T_i)} = r + \frac{C_F f^*_i(T_i)}{p_i w_i(T_i)},$$

hasilnya adalah persamaan η merupakan *multiplier* terkait *lower bound* (minimal bobot untuk mendapatkan pi).

Basis Model von Bertalanffy

Springborn, et al (1992) dan Wijayanto (2014) melakukan kajian optimalisasi waktu panen dalam budidaya ikan menggunakan pertumbuhan ikan Model von Bertalanffy dengan asumsi *length exponent* sama dengan tiga. Asumsi tersebut diperlukan agar keuntungan maksimal dapat terdefiniskan. Pada kenyataannya, *length exponent* mungkin bukanlah bilangan bulat, namun bilangan pecahan. Namun, kalau *length exponent* menggunakan bilangan pecahan, maka keuntungan maksimal tidak dapat terdefiniskan. Oleh karena itu, apabila hendak menggunakan model von Bertalanffy dalam bioekonomi, maka perlu diasumsikan bahwa *length exponent* merupakan bilangan bulat, misalnya dua atau tiga.

Tabel 12. Beberapa Model Bioekonomi Budidaya Ikan

	Model Optimalisasi Keuntungan				
	Bjorndal (1988)	Arnason (1992)	Springborn, et al. (1992)	Mistiaen and Strand (1999)	Wijayanto (2014)
Model Biologi	$\dot{w}_t = g(t, N_t, F_t)$ $N_t = Re^{-\lambda t}$ $B_t = Re^{-\lambda t} \cdot w_t$	$\dot{w}_t = G[f_t, w_t] = \alpha \ln f_t$	$W_t = \{W_{inf}^{1/2} [1 - e^{-Kt}] + W_0^{1/2} e^{-Kt/2}\}^2$ $Y_t = W_t N_t$ $N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$	$\dot{w}_t = g[f_t, w_t] = \alpha \ln f_t + \varepsilon$	$W_{inf} = W_{inf} \left[1 - e^{-K(bt+tb_0-t_0)} \right]^b$ $B_{bn} = W_{inf} \left[1 - e^{-K(bt+tb_0-t_0)} \right]^b N_0 (1 - MR_{bn})$
Persamaan Keuntungan	$V_t = p_w Re^{-\lambda t} \cdot W_t$	$J = w_T \cdot e^{-rT} - s \cdot \int_0^T f_t \cdot e^{-rt} dt$	$R_t = P \cdot Y_t - C_t$ $C_t = C_0 + C_1 t + C_2$	$J = p_w \cdot w_T \cdot e^{-rT} - \int_0^T C_T \cdot f_t \cdot e^{-rt} dt$	$\Pi_{bn} = W_{inf} (1 - e^{-K(bt+tb_0-t_0)})^b N_0 (1 - MR_{bn}) P_p - P_p N_0 W_0 - (W_{inf} (1 - e^{-K(bt+tb_0-t_0)})^b N_0 (1 - MR_{bn}) - N_0 W_0) FCR P_p - W_{inf} (1 - e^{-K(bt+tb_0-t_0)})^b N_0 (1 - MR_{bn}) P_p - C_k t_{bn}$
Variabel	<ul style="list-style-type: none"> B: biomassa ikan e: bilangan eksponensial F: jumlah pakan g: fungsi pertumbuhan berat M: instantaneous mortality rate N: jumlah ikan p: harga ikan per kilogram R: rekrutmen ikan t: umur ikan V: nilai gross biomass w: berat per ikan 	<ul style="list-style-type: none"> C: biaya pakan e: bilangan eksponensial f: jumlah pakan G: fungsi pertumbuhan berat i: discount rate J: keuntungan m: mortality rate r: new "discount" rate (r=i+m) s: harga pakan dibandingkan harga ikan t: umur ikan T: waktu panen w: berat ikan α: parameter pertumbuhan marjinal 	<ul style="list-style-type: none"> C₁: cost during treatment C₂: biaya panen C₀: start-up cost C_t: biaya produksi pada saat t e: bilangan eksponensial K: koefisien pertumbuhan ikan N: jumlah ikan N₀: jumlah awal ikan P: harga ikan R: net economic rent (profit) t: waktu W: berat ikan W_{inf}: berat infiniti W₀: berat awal Y: panen Z: instantaneous mortality coefficient 	<ul style="list-style-type: none"> ε: error C: biaya pakan e: bilangan eksponensial f: jumlah pakan g: fungsi pertumbuhan berat J: keuntungan p: harga ikan r: discount rate t: umur ikan T: waktu panen w: berat ikan α: konstanta 	<ul style="list-style-type: none"> []_{bn}: keuntungan saat t_{bn} b: parameter eksponen hubungan panjang-berat B_{bn}: biomassa ikan saat t_{bn} C₀: biaya harian (tenaga kerja, obat, bahan bakar, depresiasi aset, peralatan penunjang dan perawatan aset). e: bilangan eksponensial, FCR: konversi pakan K: koefisien pertumbuhan ikan, MR: mortality rate N₀: jumlah awal ikan P₀: harga benih P_g: harga jual ikan panen P_p: harga pakan P_{tp}: tarif transportasi panen t: umur ikan t_{bn}: waktu budidaya t₀₀: umur ikan pada saat awal budidaya t₀: waktu awal ikan memiliki panjang. W_{inf}: berat infiniti W₀: berat awal W_{bn}: berat ikan saat t_{bn}

Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Kombinasi Model Budidaya Ikan dan Perikanan Tangkap

Beberapa peneliti juga telah melakukan kajian bioekonomi keterkaitan antara budidaya dan perikanan tangkap, antara lain: Ye and Beddington (1996), Antonelli, et al (2005) dan Mikkelsen (2007). Prinsip pemodelan antara bioekonomi perikanan tangkap dan perikanan budidaya yang telah dilakukan beberapa peneliti relatif sama, yaitu maksimisasi keuntungan.

Mikkelsen (2007) melakukan studi bioekonomi keterkaitan antara perikanan budidaya dan perikanan tangkap terkait terjadinya konflik dalam pengelolaan wilayah pesisir antara perikanan budidaya dan perikanan tangkap. Dalam penelitian Mikkelsen tersebut dikaji dampak eksternalitas negatif suatu usaha budidaya terhadap perikanan tangkap, terutama terkait dengan daya dukung lingkungan (*carrying capacity*), laju pertumbuhan biologis (*intrinsic growth rate*), dan koefisien daya tangkap (*catchability coefficient*). Dalam kajian Mikkelsen dikembangkan 3 rejim, yaitu (1) tanpa ada regulasi sehingga terjadi peningkatan usaha budidaya secara tidak terkontrol, (2) pihak perencana (*social planner*, yaitu pemerintah) mengoptimalkan keuntungan total, yaitu keuntungan perikanan budidaya ditambah keuntungan perikanan tangkap, dan (3) nelayan mendapatkan hak pengelolaan, termasuk pemberian kompensasi nelayan kepada pembudidaya ikan.

Ye and Beddington (1996) melakukan kajian model bioekonomi interaksi antara perikanan tangkap dan perikanan budidaya. Pada kasus nilai pasar budidaya dan perikanan tangkap bersifat ekuivalen, fungsi permintaan ditetapkan $D = \alpha_1 p_1 \beta_1$ dengan $\alpha_1 = \alpha_1 \theta p_1 \gamma$, dimana D adalah permintaan, I adalah rata-rata pendapatan per kapita, p adalah harga ikan, p_y adalah harga produk substitusi, sedangkan α , β , θ dan σ adalah konstanta. Dalam penelitian Ye and Beddington (1996) tersebut, fungsi pertumbuhan menggunakan Model Schaefer, yaitu: $dX/dt = rX(1-X/K) - qEX$ dan persamaan rente ekonomi: $R = (pqX - c)E$, dimana X adalah biomassa stok, r adalah *intrinsic growth rate*, K adalah *carrying capacity*, E adalah upaya penangkapan, q adalah koefisien daya tangkap, R adalah rente ekonomi atau keuntungan, dan c adalah biaya per unit upaya penangkapan. Melalui penyelesaian matematis diperoleh fungsi suplai (S_f) dari usaha

$$S_f = \frac{rc}{pq} \left(1 - \frac{c}{pqK} \right)$$

penangkapan pada kondisi keseimbangan, yaitu:

Sedangkan fungsi produksi pada usaha budidaya ikan menggunakan Model Cobb-Douglas yang dimodifikasi dengan hasil penyelesaian matematis sebagai berikut: $Sc = \alpha' A \theta'' + \alpha'' L \beta'' - \sigma''$ atau $Sc = \alpha' A \theta'$ dan $Rc = pSc - ccA$, dimana Sc adalah total produksi budidaya; α' , θ' , α'' , β'' , dan σ'' adalah konstanta, L adalah jumlah tenaga kerja, A adalah luas lahan budidaya, Rc adalah rente dari budidaya, dan cc adalah *opportunity cost* per unit area budidaya, serta diasumsikan $\alpha'' = \beta''$, dan $\theta' = \theta'' + \alpha''$. Pada kondisi keseimbangan pasar, dimana $D = Sc + S_f$, maka hubungan antara harga dan produksi ditemukan sebagai berikut:

$$c_c = \frac{\alpha'^{1/\theta'} p^{1/\theta'}}{\left\{ \alpha_1 p^{\beta_1+1} - \frac{rc}{q} \left(1 - \frac{c}{pqK} \right) \right\}^{1/\theta'}}$$

Sedangkan apabila produk budidaya ikan saling mensubstitusi dengan produk penangkapan. Dalam kajian Ye and Beddington (1996) tersebut juga dikembangkan model berbasis dua persamaan permintaan, yaitu: $D_1 = \sigma_1 p_1 \beta_1 p_2 \sigma_1$ dan $D_2 = \sigma_2 p_2 \beta_2 p_1 \sigma_2$, dimana D_1 adalah permintaan ikan hasil penangkapan, D_2 adalah permintaan ikan hasil budidaya, p_1 adalah harga ikan hasil tangkapan, p_2 adalah harga ikan hasil budidaya, serta σ_1 , β_1 , σ_1 , σ_2 , β_2 , dan σ_2 adalah konstanta. Melalui penyelesaian matematis diperoleh fungsi suplai

$$S_1 = \frac{rc}{p_1 q} \left(1 - \frac{c}{p_1 q K} \right)$$

budidaya (S_1) dan penangkapan (S_2) sebagai berikut:

$$S_2 = \alpha' \left(\frac{\alpha' p_2}{c_c} \right)^{\frac{\theta}{1-\theta}}$$

dan

Antonelli, et al (2005) melakukan kajian pemodelan bioekonomi mengenai interaksi budidaya ikan dan perikanan tangkap. Pendekatan yang digunakan adalah *simple heuristic dynamic model* dimana perkembangan populasi ikan (X) ditetapkan dengan persamaan: $X(t+1) = F(X(t)) = X(t) + RX(t) - H(t)$, dimana t adalah waktu, R adalah *specific growth rate*, H adalah *harvesting*. Pada kegiatan penangkapan dimana $H(t) = qEX(t)$, maka akan diperoleh persamaan $X(t+1) = F(X(t)) = X(t)(1 - R(X(t)) - qE)$, dimana q merupakan *catchability coefficient*. Apabila terdapat beberapa kelompok struktur umur ikan dan aliran *cohort* (kelompok), maka melalui penyelesaian matematis akan diperoleh persamaan dinamika dari populasi ikan sebagai

berikut: $X_n(t+1) = (1 - m_x)X_n(t) + S_{n-1}X_{n-1}(t) - H_n(t) + \Phi_n$, dimana Si merupakan *survival coefficient* dari kelas (i), $m_i = 1 - S_i$, merupakan laju kematian kelas (i), Φ merupakan transfer ikan dari budidaya ikan yang lepas ke perairan terbuka (*open sea*). Pada persamaan ini sudah mengandung faktor interaksi budidaya ikan dan perikanan tangkap. Sedangkan populasi ikan budidaya mengikuti persamaan: $Y_n(t+1) = (1 - m_y)Y_n(t) + S_{n-1}^y Y_{n-1}(t) - H_n^y(t) - \Phi_n$ dimana tanda "y" pada S, dan H untuk menunjukkan berasal dari usaha budidaya ikan.

Beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa model bioekonomi dapat diaplikasikan pada kasus interaksi antara usaha budidaya ikan dan penangkapan ikan. Pada prinsipnya, pemodelan bioekonomi interaksi budidaya ikan dan penangkapan ikan dapat dikembangkan berdasarkan jenis rejim pengelolaan perikanan, teknologi yang dipergunakan dan sifat keterkaitan antara budidaya ikan dan penangkapan.

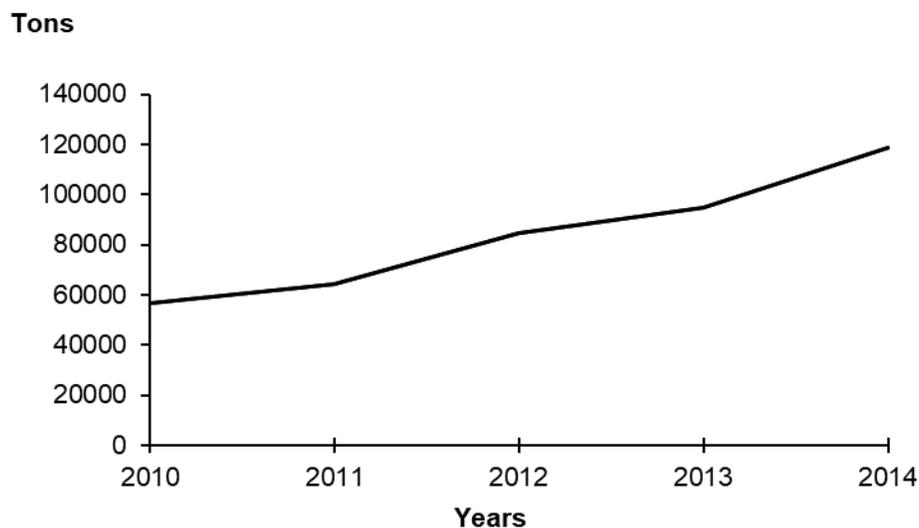
Bab VI

Aplikasi Model Bioekonomi Budidaya pada Ikan Gurami

Kajian model bioekonomi budidaya ikan gurami sudah dilakukan Wijayanto, et al (2016). Pada kajian tersebut, terdapat perbedaan antara waktu optimal budidaya ikan gurami yang berkembang sebagai kebiasaan pelaku usaha budidaya ikan di Propinsi Jawa Tengah dengan model yang ditemukan.

Gambaran Umum Budidaya Gurami

Ikan gurami (*Osphronemus goramy*) merupakan salah satu komoditas utama perikanan budidaya di Indonesia dan menjadi salah satu menu makanan favaorit bagi sebagian penduduk di Indonesia. Menurut KKP (2015), produksi ikan gurami cenderung mengalami peningkatan. Pada tahun 2010, produksi ikan gurami sebesar 56.889 ton dan berkembang menjadi 118.776 ton di tahun 2014. Artinya, produksi ikan gurami dapat berkembang sebesar 20,5 persen per tahun dalam kurun waktu 2010 hingga 2015 (KKP, 2015).



Sumber: KKP (2015)

Gambar 26. Perkembangan Produksi Gurami di Indonesia

Ikan gurami di Indonesia diproduksi melalui budidaya ikan, terutama di kolam air tawar. Terdapat variasi metode dalam masyarakat terkait dengan usaha budidaya ikan gurami, baik yang bersifat tradisional hingga

intensif. Ikan gurami juga dibudidayakan secara *mono-culture* dan *poly-culture*.

Model Bioekonomi Gurami Berdasarkan Model Polinomial

Keuntungan merupakan total penerimaan dikurangi total biaya. Penerimaan dipengaruhi oleh harga jual ikan dan biomassa ikan yang dipanen. Biomassa ikan dipengaruhi oleh berat ikan individu, dan jumlah ikan yang masih hidup pada proses budidaya ikan. Komponen biaya meliputi biaya pengadaan benih, biaya tenaga kerja, biaya pakan, biaya pengadaan sarana dan peralatan produksi. Komponen biaya tersebut dikonversi ke dalam satuan Rp/hari. Kebutuhan pakan buatan dipengaruhi oleh konversi pakan (*food conversion ratio* atau FCR) dan pertambahan biomassa ikan yang dibudidayakan. Berikut adalah persamaan matematis pemodelan bioekonomi budidaya gurami (Wijayanto, et al, 2016)

$$Wt = a t^2 + b t \quad (6.1)$$

$$\Pi_{tb} = TR - TC \quad (6.2)$$

$$TR = Btb \cdot Pi \quad (6.3)$$

$$Btb = Wt \cdot Ntb \quad (6.4)$$

$$Ntb = No - M \cdot tb \quad (6.5)$$

$$TR = Wt \cdot Pi \cdot (No - M \cdot tb) \quad (6.6)$$

$$TC = Cp + Cb + Ctk + Cd \quad (6.6)$$

$$Cp = Pp \cdot Qp \quad (6.8)$$

$$Qp = (Btb - Bo) \cdot FCR \quad (6.9)$$

$$Bo = No \cdot Wtbo \quad (6.10)$$

$$Ctk = Ptk \cdot tb \quad (6.11)$$

$$Cd = Pd \cdot tb \quad (6.12)$$

$$tb = t - tbo \quad (6.13)$$

Keterangan:

Π_{tb} : keuntungan usaha (Rp/siklus) pada saat tb

tb : waktu budidaya (hari)

tbo : umur ikan pada saat awal budidaya (hari)

TR : total revenue atau penerimaan (Rp/siklus) pada saat tb

Btb : biomassa ikan pada saat tb (gram)

Pi : harga ikan (Rp/gram)

Ntb: populasi ikan (ekor) pada saat tb
 No : populasi awal ikan (ekor)
 M : rata-rata kematian ikan per hari (ekor/hari)
 TC : total cost atau biaya budidaya (Rp/siklus) pada saat tb
 Cp : biaya pengadaan pakan (Rp) pada saat tb
 Cb : biaya pengadaan benih (Rp)
 Ctk : biaya tenaga kerja (Rp) pada saat tb
 Cd : biaya depresiasi atau penyusutan alat dan bangunan (Rp) pada saat tb
 Pp : harga pakan (Rp/gram)
 Qp : jumlah penggunaan pakan (gram) pada saat tb
 Bo : biomassa awal ikan (gram)
 Wtbo: berat individu ikan pada saat awal (gram/ekor)
 FCR: konversi pakan
 Ptk : biaya tenaga kerja per hari (Rp/hari)
 Pd : biaya depresiasi sarana fisik dan peralatan per hari (Rp/hari)

Dengan menggunakan persamaan (6.1) hingga (6.12), maka diperoleh persamaan (6.13) dan (6.14)

$$\Pi_{tb} = Btb.Pi - Cp - Cb - Ctk - Cd \quad (6.14)$$

$$\Pi_{tb} = g.tb^3 + h.tb^2 + i.tb + j \quad (6.15)$$

Dimana:

$$g = a.(Pp.FCR.M - Pi.M)$$

$$h = Pi.a.No - Pi.b.M + 2.Pp.FCR.a.tbo.M - 2.Pi.a.tbo.M - Pp.FCR.a.No + Pp.FCR.b.M$$

$$i = 2.Pi.a.tbo.No - Pi.b.tbo.M + Pp.FCR.a.tbo^2.M - Pp.FCR.b.No - Pi.a.tbo^2.M + Pi.b.No - 2.Pp.FCR.a.tbo.No + Pp.FCR.b.tbo.M - Pd - Ptk$$

$$j = Pi.a.tbo^2.No + Pi.b.tbo.No - Pp.FCR.a.tbo^2.No - Pp.FCR.b.tbo.No + Pp.FCR.Bo - Cb$$

Maksimisasi profit dapat dilakukan dengan turunan pertama fungsi profit sama dengan nol, yaitu:

$$\frac{d\pi}{dtb} = 0 = 3.g.tb^2 + 2.h.tb + i \quad (6.16)$$

Selanjutnya, melalui persamaan (6.16) dapat diketahui tb yang menghasilkan keuntungan maksimal dengan solusi persamaan kuadrat (Rosser, 2003), yaitu sebagai berikut:

$$tb_{1,2} = \frac{-(2h) \pm \sqrt{(2h)^2 - 4 \cdot (3g) \cdot i}}{2 \cdot (3 \cdot g)} \quad (6.16)$$

$$tb_1 = \frac{-(2h) + \sqrt{(2h)^2 - 4 \cdot (3g) \cdot i}}{2 \cdot (3 \cdot g)} \quad (6.18)$$

$$tb_2 = \frac{-(2h) - \sqrt{(2h)^2 - 4 \cdot (3g) \cdot i}}{2 \cdot (3 \cdot g)} \quad (6.19)$$

Apabila pembudidaya ikan memiliki target ukuran panen sesuai permintaan pasar, maka dapat dikembangkan rumus untuk mengestimasi kebutuhan waktu budidaya dan keuntungan yang diperoleh. Jika ukuran permintaan pasar ditetapkan sebagai W_t , maka persamaannya sebagai berikut (Wijayanto, et al, 2016):

$$W_t = a (t_{bo} + t_{bt})^2 - b (t_{bo} + t_{bt}) \quad (6.20)$$

Keterangan:

W_t : target ukuran ikan yang dipanen (gram/ekor)

t_{bt} : waktu budidaya yang diperlukan untuk mencapai W_t

Jika W_t sudah ditentukan, maka t_{bt} dapat diketahui. Persamaan (6.1) dapat diubah menjadi sebagai berikut (Wijayanto, et al, 2016):

$$W_t = a \cdot t_{bo}^2 + 2 \cdot a \cdot t_{bo} \cdot t_{bt} + a \cdot t_{bt}^2 - b \cdot t_{bo} - b \cdot t_{bt} \quad (6.21)$$

$$0 = a \cdot t_{bt}^2 + (2 \cdot a \cdot t_{bo} - b) \cdot t_{bt} + a \cdot t_{bo}^2 - b \cdot t_{bo} - W_t \quad (6.22)$$

Persamaan (6.22) dapat diketahui nilai t_{bt} dengan menggunakan rumus solusi persamaan kuadrat sebagai berikut:

$$t_{bt(1,2)} = \frac{-(2 \cdot a \cdot t_{bo} - b) \pm \sqrt{(2 \cdot a \cdot t_{bo} - b)^2 - 4 \cdot a \cdot (a \cdot t_{bo}^2 - b \cdot t_{bo} - W_t)}}{2 \cdot a} \quad (6.23)$$

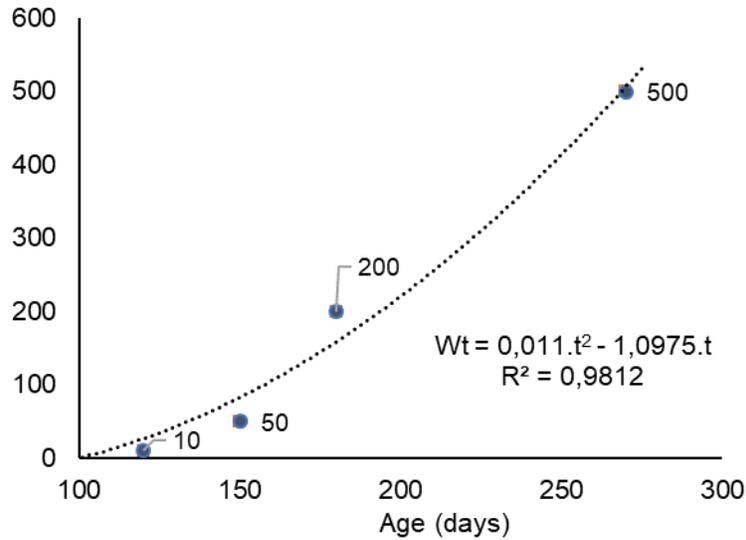
Pertumbuhan Ikan Gurami dan Maksimisasi Keuntungan

Dalam kajian Wijayanto, et al (2016), pertumbuhan ikan gurami dapat dilihat pada tabel, ilustrasi dan persamaan sebagai berikut.

Tabel 13. Pertumbuhan Ikan Gurami

Umur (hari)	Berat (gram per ekor)
90	5
120	10
150	50
180	200
270	500

Source: Rahmat (2013)



Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Gambar 27. Pertumbuhan Ikan Gurami

Pertumbuhan ikan gurami mengikuti persamaan polinomial ordo dua sebagai berikut:

$$W_t = 0.011 t^2 - 1.0975 t$$

$$R^2 = 98\%$$

Subject to:

$$W_t, t > 0$$

$$W_t \leq W_{inf}$$

Menurut Rainboth (1996) and Froese, dan Thorson and Reyes Jr. (2013), diperkirakan nilai W_{inf} , L_{inf} dan hubungan panjang-berat ikan gurami adalah sebagai berikut:

- $W_{inf} = 6\,512$ gram,
- $L_{inf} = 67.9$ cm,
- $W = 0.01995 L^{3.01}$

Terdapat beberapa tahapan dalam usaha budidaya ikan gurami yang berkembang di masyarakat, yaitu sebagai berikut:

- Tahap 1: budidaya untuk menghasilkan benih dengan panjang 3 - 5 cm (0,5 - 2,5 gram) yang membutuhkan waktu 2 bulan.
- Tahap 2: budidaya untuk menghasilkan benih dengan panjang 5-8 cm (2,5 - 10,4 gram) yang membutuhkan waktu 2 bulan.
- Tahap 3: budidaya untuk menghasilkan benih dengan panjang 10 - 12 cm (20,4 - 35,2 gram) yang membutuhkan waktu 2 bulan.

- Tahap 4: budidaya ikan gurami yang menghasilkan ukuran konsumsi, yaitu 500 – 1.000 gram, dan memerlukan waktu 4 bulan.

Wijayanto, et al (2016) menggunakan beberapa asumsi penelitian sebagai berikut.

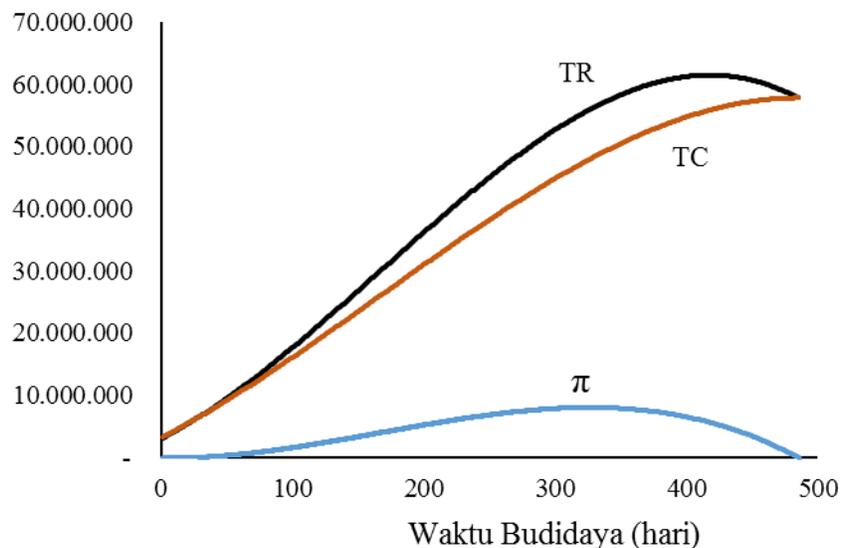
Tabel 14. Asumsi dan Hasil Penelitian Bioekonomi Ikan Gurami

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
Asumsi	
a	0,0110
b	1,09750
Berat Awal (Wtbo)	50 gram/ekor (diperkirakan umur 134 hari)
Umur benih (tbo)	134 hari
Jumlah benih (No)	2000 ekor
Kematian rata-rata (M)	3 ekor/hari (SR 120 hari adalah 82%)
Harga jual ikan (Pi)	Rp. 30/gram
FCR	1,5
Harga Pakan Buatan (Pp)	Rp. 10/gram
Biaya depresiasi bangunan dan alat (Pd)	Rp. 29.000/hari
Biaya tenaga kerja (Ptk)	Rp. 28.000/kolam/hari
Hasil Penelitian	
Persamaan keuntungan	$\Pi = -0,5 \text{ tb}^3 + 247. \text{ tb}^2 - 3.755. \text{ tb}$
Turunan pertama keuntungan ($d\Pi/d \text{ tb} = 0$) sebagai first order condition	$d\Pi/d \text{ tb} -1,5 \text{ tb}^2 + 493. \text{ tb} - 3.755 = 0$
Waktu budidaya (tb) optimal (menggunakan persamaan 19)	324 hari
Turunan kedua keuntungan ($d^2\Pi/d$	$-3. \text{ tb} + 493 = (-3 \times 324) + 493 = - 479$

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
$tb^2 = \text{negatif}$) sebagai second order condition	(negatif, terbukti memenuhi syarat/SOC)
Keuntungan maksimal	Rp. 7.847.700/siklus
Berat ikan pada saat keuntungan maksimal	1.804,7 gram/ekor (SR 51%)
Biomassa pada keuntungan maksimal	1.855.282 gram atau 1,8 ton
Biomassa maksimal	2.0 ton (SR 37%; t_b : 418 hari, t : 552 hari)

Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu budidaya ikan gurami yang menghasilkan keuntungan maksimal adalah 324 hari, dengan keuntungan mencapai Rp 7.847.700 per siklus. Namun, kondisi demikian sulit dilaksanakan karena terkendala oleh keterbatasan modal dari pembudidaya ikan.



Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Gambar 28. TR, TC dan Keuntungan Budidaya Ikan Gurami

Sedangkan apabila menggunakan ukuran 500 gram sebagai target, dan ukuran awal 50 gram ($t = 134$ hari), maka pembudidaya ikan membutuhkan 135 hari budidaya (4,5 bulan). Pada kondisi demikian, keuntungan tercapai sebesar Rp 2.771.759 per siklus per kolam.

Bab VII

Aplikasi Model Bioekonomi Budidaya pada Ikan Lele

Budidaya ikan lele telah berkembang pesat di masyarakat karena pertimbangan permintaan pasar, pertumbuhan ikan yang cepat, kemudahan dalam pemberian pakan, daya adaptasi yang tinggi, dan harga jual yang menguntungkan. Pemodelan bioekonomi budidaya ikan lele dengan model pertumbuhan polinomial dilakukan Wijayanto, et al (2016).

Gambaran Umum Budidaya Lele

Ikan lele (*Clarias* sp) merupakan salah satu komoditas utama perikanan budidaya di Indonesia, bahkan *catfish* (termasuk ikan lele dan ikan patin) termasuk salah satu komoditas perdagangan ikan utama di dunia. Menurut publikasi World Bank (2013), kelompok komoditas *catfish* (termasuk lele dan patin) memiliki pangsa pasar hingga 5% dari suplai ikan di dunia, baik pada tahun 2008 maupun hasil perhitungan estimasi pada tahun 2030.

Produsen utama komoditas *catfish* di dunia diantaranya adalah kelompok negara Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Terdapat beberapa tipe ikan lele yang berada di perairan Indonesia, antara lain *Clarias gariepinus* (lele dumbo) dan *Clarias batrachus* (lele lokal). Ikan lele dapat hidup pada beberapa jenis perairan, antara lain sungai, waduk, danau, hingga kolam. Ikan lele cenderung menyukai perairan yang tenang. Ikan jenis *Clarias* sp termasuk omnivora yang memakan ikan yang berukuran lebih kecil, invertebrata, moluska, detritus, maupun tanaman air.

Budidaya ikan lele relatif mudah karena ikan lele memiliki daya adaptasi lingkungan yang tinggi, responsif terhadap pakan buatan, serta pertumbuhannya relatif cepat. Produksi ikan lele di Indonesia mencapai 242.811 ton pada tahun 2008 dan tumbuh menjadi 679.379 ton pada tahun 2014 (KKP, 2015).

Tabel 15.Perkembangan Produksi Lele di Indonesia

Tahun	Produksi (Ton)
2010	242 811
2011	337 577
2012	441 217
2013	543 774
2014	679 379
Rata-rata pertumbuhan (2010-2014): 29,48% per tahun	

Sumber: KKP (2015)

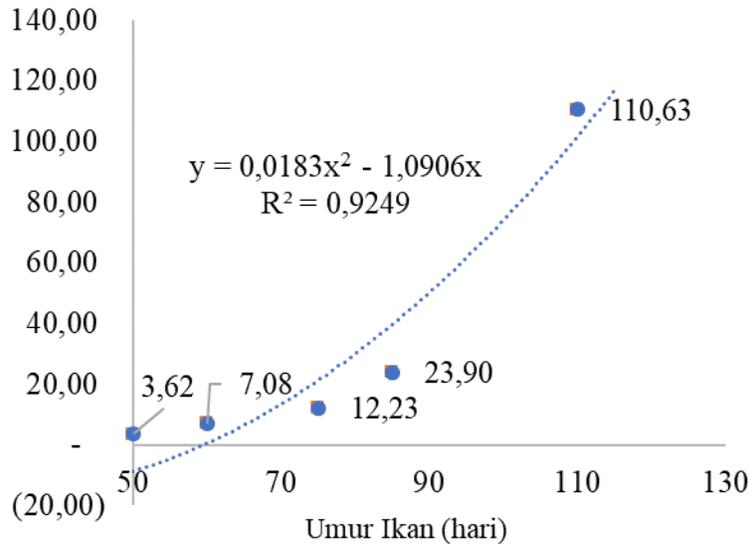
Model Bioekonomi Ikan Lele Berdasarkan Model Polinomial

Model bioekonomi ikan lele dengan menggunakan model polinomial mengacu kepada model bioekonomi seperti pada ikan gurami pada Bab VII. Dalam kajian Wijayanto, et al (2016), pertumbuhan ikan lele diestimasi seperti pada tabel, gambar dan persamaan berikut.

Tabel 16.Pertumbuhan Ikan Lele

Umur (hari)	Berat Individu (gram/ekor)	Panjang (cm/ekor)
50	3,62	8
60	7,08	10
75	12,23	12
85	23,90	15
110	110,63	25

Sumber: Gunawan (2015), diolah kembali



Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Gambar 29. Estimasi Kurva Pertumbuhan Berat Lele (gram/ekor)

Hasil estimasi menunjukkan bahwa pertumbuhan lele mengikuti fungsi polinomial sebagai berikut:

$$W_t = 0,0183 t^2 - 1,0906 t$$

$$R^2 = 92\%$$

Dengan syarat:

$$W_t, t > 0$$

$$W_t \leq W_{inf}$$

W_{inf} (berat maksimal) adalah 34.784,04 gram, L_{inf} (panjang maksimal) adalah 170 cm, dan hubungan panjang dan berat mengikuti persamaan $W = 0,00708 L^{3,00}$ (IGFA, 2001 dan Froese, Thorson and Reyes Jr., 2013).

Pada saat ini, usaha budidaya lele telah demikian berkembang, bahkan sedang mengalami tren karena permintaan yang tinggi, baik untuk kebutuhan lokal, dalam negeri maupun ekspor. Lele juga ditetapkan sebagai salah satu komoditas unggulan nasional oleh pemerintah Indonesia. Usaha budidaya lele dapat dilakukan di kolam, terpal dan karamba.

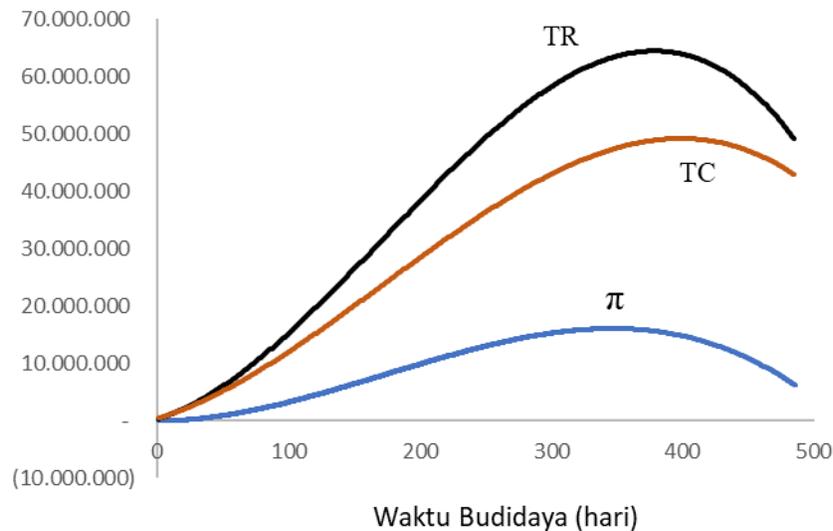
Dalam kajian Wijayanto, et al (2016), aplikasi model bioekonomi untuk melakukan maksimisasi keuntungan difokuskan pada pembesaran yang menghasilkan ikan ukuran konsumsi, bukan pendederan yang menghasilkan benih. Beberapa asumsi yang digunakan dalam aplikasi model adalah sebagai berikut.

Tabel 17. Asumsi dan Hasil Penelitian Bioekonomi Budidaya Lele

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
Asumsi	
a	0,0183
b	1,09060
Berat awal (Wtbo)	3,9 gram/ekor (diperkirakan umur 63 hari)
Umur benih (tbo)	63 hari
Jumlah benih (No)	3.500 ekor
Kematian rata-rata (M)	6 ekor/hari (SR 60 hari adalah 90%)
Harga jual ikan (Pi)	Rp. 17/gram
FCR	1
Harga pakan buatan (Pp)	Rp. 10/gram
Biaya depresiasi bangunan dan alat (Pd)	Rp. 15.000/hari
Biaya tenaga kerja (Ptk)	Rp. 14.000/hari
Hasil Penelitian	
Persamaan keuntungan	$\pi = -0,77.tb^3 + 397.tb^2 + 608.tb$
Turunan pertama keuntungan ($d\pi/d tb = 0$) sebagai first order condition	$d\pi/d tb = -2,3058.tb^2 + 795.tb - 608 = 0$
Waktu budidaya (tb) optimal, menggunakan persamaan (4.18)	345 hari (t=408 hari)
Turunan kedua keuntungan ($d^2\pi/d tb^2 = \text{negatif}$) sebagai second order condition	$-4,6.tb + 795 = (-4,6 \times 345) + 795 = -796$ (negatif, terbukti memenuhi syarat)
Berat ikan pada saat keuntungan maksimal	2.601,3 gram/ekor (SR 41%)

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
Biomassa pada keuntungan maksimal	3.719.897 gram atau 3,72 ton
Biomassa maksimal	3.792.160 gram (SR 35%; tb: 379 hari, t: 442 hari)

Berdasarkan hasil simulasi, terestimasi bahwa keuntungan maksimal terjadi pada waktu budidaya 345 hari dengan keuntungan per siklus mencapai Rp. 5.411.512 /siklus untuk benih 3.500 ekor. Ikan lele memiliki pertumbuhan yang tinggi, namun juga memiliki sifat kanibal. Dalam keterbatasan modal yang dialami sebagian pembudidaya ikan, maka waktu optimal tersebut cenderung tidak dipergunakan, karena dinilai terlalu lama (0,9 tahun).



Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Gambar 30. Kurva TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Lele

Waktu budidaya untuk menghasilkan ukuran ikan tertentu sebagai target, misalnya target ukuran rata-rata ikan yang dipanen 100 gram/ekor. Apabila ukuran benih 3,9 gram per ekor dan umur benih tersebut adalah 63 hari, maka estimasi waktu budidaya yang diperlukan untuk menghasilkan target ukuran ikan panen (tbt) adalah 47 hari (1,6 bulan), dan diperoleh keuntungan sebesar Rp. 826.418/siklus.

Bab VIII

Aplikasi Model Bioekonomi Budidaya pada Ikan Nila

Gambaran Umum Budidaya Nila

Ikan nila merah termasuk komoditas perikanan budidaya yang utama di Indonesia. Produksi nila merah yang utama dilakukan melalui usaha budidaya ikan dengan beberapa jenis metode. Ikan nila merah dapat dipelihara di karamba jaring apung, karamba di sungai, kolam, maupun tambak air payau. Nila merah relatif mudah beradaptasi dengan lingkungan perairan, dimana ikan nila merah dapat hidup di sungai, rawa, danau, waduk, hingga perairan payau. Bahkan ikan nila merah dapat dikategorikan sebagai *invasive species* sehingga penebaran ikan nila merah di perairan umum pada saat ini tidak direkomendasikan karena dapat menekan stok ikan endemik dari perairan tersebut. Rata-rata pertumbuhan produksi ikan nila (termasuk nila merah) di Indonesia dalam kurun waktu 2010-2014 relatif agresif, yaitu mencapai 21,41% per tahun.

Tabel 18. Perkembangan Produksi Nila di Indonesia

Tahun	Produksi Nila (Ton)
2010	461.191
2011	567.078
2012	695.063
2013	924.772
2014	999.615

Sumber: KKP (2015)

Maksimisasi Budidaya KJA Berbasis Pertumbuhan von Bertalanfy

Apabila menggunakan model pertumbuhan von Bertalanfy, maka perlu meneliti mengenai hubungan panjang dan berat ikan. Hubungan panjang berat dari ikan diestimasi dengan mengikuti persamaan berikut (Effendie, 2002 dan King, 2007):

$$W = aL^b \quad (8.1)$$

$$\ln W = \ln a + b \ln L \quad (8.2)$$

Keterangan: a dan b adalah parameter, W adalah berat ikan dan L adalah panjang ikan.

Sedangkan estimasi panjang ikan (L) dilakukan dengan menggunakan persamaan von Bertalanffy. Apabila menggunakan pendekatan regresi linier $Y_1 = a_1 + b_1.X_1$, dimana Y_1 adalah $\ln W$, X_1 adalah $\ln L$, a_1 adalah $\ln a$ dan b_1 adalah b , maka dengan meregresikan $\ln W$ (sebagai variabel tidak bebas) dengan $\ln L$ (sebagai variabel bebas), maka dapat diketahui a , yaitu sama dengan $\exp(a_1)$, dan b . Rumus pertumbuhan panjang ikan von Bertalanffy adalah sebagai berikut (Effendie, 2002; dan King, 2007):

$$L_t = L_{\text{inf}} \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right] \quad (8.3)$$

Atau

$$L_t = L_{\text{inf}} \left[1 - e^{-Kt} \right] + L_0 e^{-Kt} \quad (8.4)$$

Keterangan

L_t = Panjang ikan pada saat ikan berumur t dengan satuan cm/ekor

L_{inf} = Panjang maksimum ikan dengan satuan cm/ekor

L_0 = Panjang ikan pada saat $t=0$.

K = Koefisien pertumbuhan ikan,

e = Bilangan eksponensial,

t = Umur ikan dengan satuan hari

t_0 = Waktu awal ikan memiliki panjang.

Menurut Craig (1999), t_0 adalah umur ikan pada saat panjang sama dengan nol, dimana sebelumnya panjang ikan bernilai negatif. Persamaan pertumbuhan ikan dalam berat dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W_t = W_{\text{inf}} \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right]^b \quad (8.5)$$

W_t adalah berat ikan pada saat waktu t , W_{inf} adalah berat maksimum ikan. Pendugaan L_{inf} dilakukan dengan persamaan transformasi pertumbuhan dari Ford-Walford, yaitu (Effendie, 2002 dan King, 2007):

$$L_{t+1} = L_{\text{inf}} (1 - e^{-K}) + L_t e^{-K} \quad (8.6)$$

Terkait persamaan (12.32), dapat digunakan regresi linier $Y_2 = a_2 + b_2.X_2$, dimana L_{t+1} sama dengan Y_2 , L_t sama dengan X_2 , $L_{\text{inf}} (1 - e^{-K})$ sama dengan a_2 , dan e^{-K} sama dengan b_2 . Dengan demikian $L_{\text{inf}} = a_2 / (1 - e^{-K})$. Pendugaan W_{inf} dapat dilakukan melalui pendugaan, dimana $W_{\text{inf}} = a.L_{\text{inf}}^b$.

Dalam pendugaan nilai K dan t_0 dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\ln (L_{\text{inf}} - L_t) = \ln L_{\text{inf}} + K.t_0 - K.t \quad (8.7)$$

Apabila digunakan regresi linier $Y_3 = a_3 + b_3.X_3$, dimana $\ln(L_{inf} - L_t)$ sama dengan Y_3 , t sama dengan X_3 , $\ln(L_{inf} + K.t_0)$ sama dengan a_3 , dan $-K$ sama dengan b_3 . Dengan demikian $K = -b_3$, dan $t_0 = (a_3 - \ln(L_{inf})) / K$. Setelah diketahui nilai W_{inf} , K , t_0 , dan b , maka selanjutnya dapat dikembangkan model bioekonomi yang memadukan konsep biologi dan ekonomi.

Persamaan penerimaan atau total revenue (TR_{tbn}), biaya atau total cost (TC_{tbn}) dan keuntungan (Π_{tbn}) didefinisikan sebagai berikut:

$$\Pi_{tbn} = TR_{tbn} - TC_{tbn} \quad (8.8)$$

$$TR_{tbn} = B_{tbn}.P_{ik} \quad (8.8)$$

$$t = t_{bo} + t_{bn} \quad (8.10)$$

$$W_{tbn} = W_{inf} \left[1 - e^{-K(tbn+tbo-t_0)} \right]^b \quad (8.11)$$

$$B_{tbn} = W_{tbn}.N_o.(1-MR.t_{bn}) \quad (8.12)$$

$$B_{tbn} = W_{inf} \left[1 - e^{-K(tbn+tbo-t_0)} \right]^b N_o.(1-MR.t_{bn}) \quad (8.13)$$

$$TC_{tbn} = C_b + C_p + C_{tp} + C_h.t_{bn} \quad (8.14)$$

$$B_o = N_o.W_o \quad (8.15)$$

$$C_b = P_b.N_o.W_o \quad (8.16)$$

$$C_p = (B_{tbn}-B_o) FCR. P_p \quad (8.17)$$

$$C_{tp} = B_{tbn}.P_{tp} \quad (8.18)$$

$$C_h = C_{tk} + C_o + C_{bbm} + C_d + C_{pp} + C_{pa} \quad (8.18)$$

Keterangan:

Π_{tbn} = Keuntungan usaha budidaya ikan dengan satuan Rp/siklus panen

TR_{tbn} = Total penerimaan usaha budidaya ikan dengan satuan Rp/siklus panen

TC_{tbn} = Total biaya usaha budidaya ikan dengan satuan Rp/siklus panen

B_{tbn} = Biomass ikan dengan satuan Kg pada saat t_{bn} hari budidaya

P_{ik} = Harga jual ikan panen dengan satuan Rp/Kg.

C_h = Biaya harian usaha budidaya ikan dengan satuan Rp/hari.

t = Umur ikan yang dibudidayakan dengan satuan hari

t_{bn} = Waktu budidaya ikan dengan satuan hari

- tbo = Umur awal ikan pada saat dibudidaya dengan satuan hari
- No = Populasi ikan pada awal periode budidaya dengan satuan ekor.
- Wo = Berat ikan pada saat awal periode budidaya dengan satuan Kg/ekor.
- Pb = Harga benih ikan dengan satuan Rp/Kg
- FCR = Konversi pakan, misal FCR=1,3 maka 1 Kg pertambahan berat ikan memerlukan pakan buatan 1,3 Kg.
- Pp = Harga pakan ikan dalam satuan Rp/Kg.
- MR = Tingkat kematian ikan harian dengan satuan persen per hari (%/hari)
- Cb = Biaya pembelian benih dengan satuan Rp
- Cp = Biaya pengadaan pakan ikan dengan satuan Rp
- Ctp = Biaya transportasi pemasaran ikan dengan satuan Rp
- Ctk = Biaya tenaga kerja harian dengan satuan Rp/hari
- CO = Biaya pengadaan obat harian dengan satuan Rp/hari
- Cbbm = Biaya pengadaan bahan bakar dengan satuan Rp/hari
- Cd = Biaya depresiasi harian aset tetap (karamba jaring apung, perahu dan mesin) dengan satuan Rp/hari
- Cpp = Biaya pengadaan peralatan penunjang dengan satuan Rp/hari
- Cpa = Biaya perawatan aset dengan satuan Rp/hari
- Ptp = Tarif transportasi pemasaran dengan satuan Rp/Kg
- Pp = Harga pakan ikan dengan satuan Rp/Kg.

Selanjutnya, dapat dirumuskan kembali persamaan keuntungan pada model biomassa menjadi sebagai berikut (Wijayanto, 2014):

$$\begin{aligned}
\Pi_{tbn} = & W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn} + t_{bo} - t_o)}\right)^b N_o (1 - MR.t_{bn}) P_{ik} - P_b . N_o . W_o - \\
& \left(W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn} + t_{bo} - t_o)}\right)^b N_o (1 - MR.t_{bn}) - . N_o . W_o \right) FCR . P_p - \\
& W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn} + t_{bo} - t_o)}\right)^b N_o (1 - MR.t_{bn}) P_{tp} - C_h . t_{bn} \quad (8.20)
\end{aligned}$$

Subject to:

$$\begin{aligned}
(i) \quad & \frac{dB_{tbn}}{dt_{bn}} \geq 0 \\
(ii) \quad & tbn \geq 0
\end{aligned}$$

Maksimisasi profit dilakukan dengan turunan pertama persamaan profit terhadap t_{bn} sama dengan nol atau $d\Pi_{tbn}/dt_{bn} = 0$. Turunan pertama dari fungsi profit terhadap t_{bn} sama dengan nol akan menghasilkan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{d\Pi_{tbn}}{dt_{bn}} = \frac{dTR_{tbn}}{dt_{bn}} - \frac{dTC_{tbn}}{dt_{bn}} = 0 \quad (8.21)$$

Persamaan diatas dapat dipergunakan apabila nilai $b = 2$ atau 3 , serta dapat terselesaikan dengan menggunakan beberapa dalil matematika sebagai berikut:

$$\frac{d}{dx} [f(x)g(x)] = f(x)g'(x) + g(x)f'(x) \quad (8.22)$$

$$\frac{d}{dx} cx^n = cnx^{n-1} \quad (8.23)$$

$$\frac{d}{dx} e^{f(t)} = e^{f(t)} f'(t) \quad (8.24)$$

Dengan asumsi nilai $b=3$, maka hasil persamaan optimalisasi keuntungan dengan pendekatan $d\Pi_{tbn}/dt_{bn} = 0$ sebagai berikut (Wijayanto, 2014):

$$\begin{aligned} \frac{d\Pi_{tbn}}{dt_{bn}} = & 3W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^2 N_o (1 - MR.t_{bn}) P_{ik} . K . e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)} - W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^3 N_o . MR . P_{ik} - \\ & \left(3 . W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^2 N_o (1 - MR.t_{bn}) K . e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)} - W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^3 N_o . MR \right) FCR . P_p - \\ & - 3W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^2 N_o (1 - MR.t_{bn}) P_{tp} . K . e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)} + W_{inf} \left(1 - e^{-K(t_{bn}+t_{bo}-t_o)}\right)^3 N_o . MR . P_{tp} - C_h = 0 \end{aligned} \quad (8.25)$$

Persamaan (8.25) merupakan model optimasi waktu budidaya yang akan menghasilkan keuntungan maksimal, dengan syarat tambahan turunan kedua dari fungsi profit adalah negatif (*second order conditions*). Apabila nilai W_{inf} , P_{ik} , b , K , t_{bo} , t_o , MR , N_o , FCR , P_p , P_{tp} , dan Ch diketahui, maka nilai t_{bn} yang menghasilkan keuntungan maksimal juga dapat diketahui.

Pada kenyataannya, konsumen dapat memiliki selera tertentu terkait dengan ukuran ikan yang akan dikonsumsi. Pada kasus demikian, pelaku usaha budidaya ikan dapat memanen ikan sesuai target ukuran ikan, meskipun sebenarnya secara ekonomi pada ukuran tersebut tidak menghasilkan keuntungan yang maksimal.

Dalam model pertumbuhan individu, dapat dilakukan estimasi waktu budidaya, dimana apabila W_{tbn} , W_{inf} , K , t_o , t_{bo} dan b diketahui (dimana $b=3$), maka dapat dicari t_{bn} atau waktu budidaya yang diperlukan.

Persamaan untuk mencari t_{bn} dapat menggunakan persamaan berikut (Wijayanto, 2014):

$$t_{bn} = \frac{\ln \left(1 - \left(\frac{W_{t_{bn}}}{W_{inf}} \right)^{1/3} \right) + (K \cdot t_{bo}) - (K \cdot t_o)}{K} \quad (8.25)$$

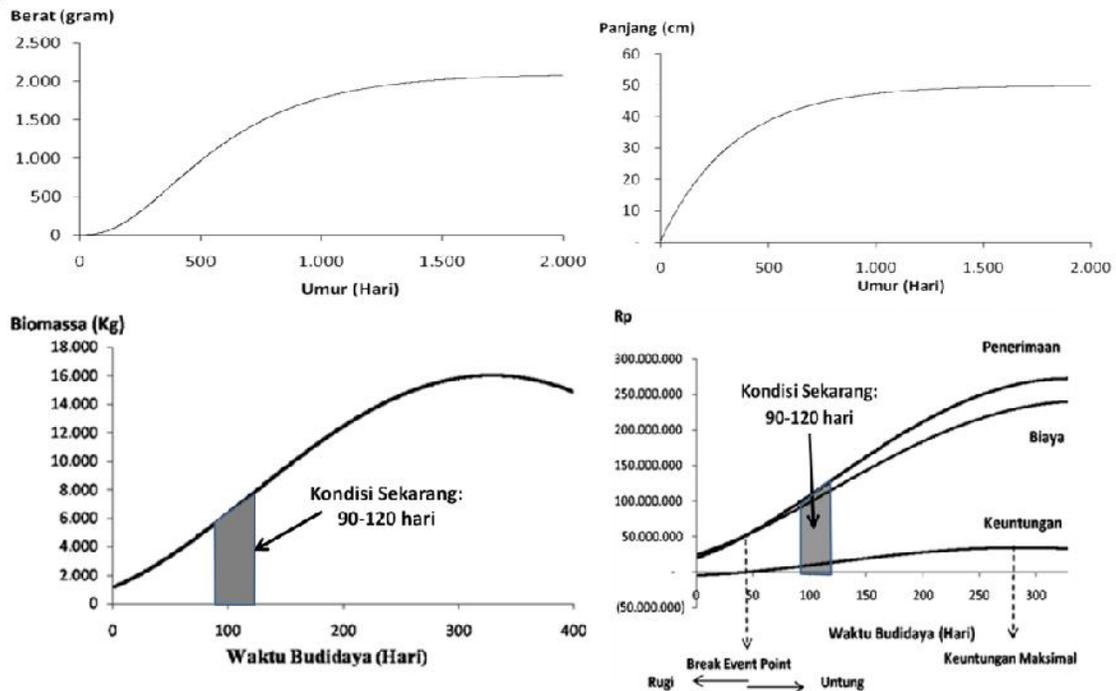
Model bioekonomi ini dikembangkan dan sudah diaplikasikan oleh Wijayanto (2014) untuk budidaya ikan nila merah dalam karamba jaring apung. Berikut gambaran aplikasi model tersebut.

Tabel 19. Aplikasi Model Wijayanto-Bertalanffy pada Ikan Nila

	Nilai
$b_1 = b$	3,00497458998844
$a_1 = \text{Ln } a$	-4,11065048046055
$a = \exp (\text{Ln } a)$	0,0163971050600781
R^2	92,58%
t Hitung	69,558
F Hitung	4838,279
L_{inf} (cm)	50,0441444730955
W_{inf} (Kg)	2,09546577834264
K	0,00294133586234927
t_o	2,21945945860328
Waktu Budidaya Menghasilkan Keuntungan Maksimal	286 hari
Umur Ikan	376 hari
Estimasi Ukuran Ikan (saat $t_{bn} = 286$ hari)	622 gram
Keuntungan Tertinggi (saat $t_{bn} = 286$ hari)	Rp. 34.095.810
Nilai Turunan Pertama Fungsi Profit Saat $t_{bn} = 286,46996$ Hari	0,00314

	Nilai
Nilai Turunan Kedua Fungsi Profit Saat tbn = 286,46996 Hari	-1887.485840

Sumber: Wijayanto (2014)



Sumber: Wijayanto (2014)

Gambar 31. Kurva Panjang Berat, Biomassa, TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Nila Merah di KJA

Aplikasi Model Bioekonomi Polinomial pada Budidaya Nila di Kolam

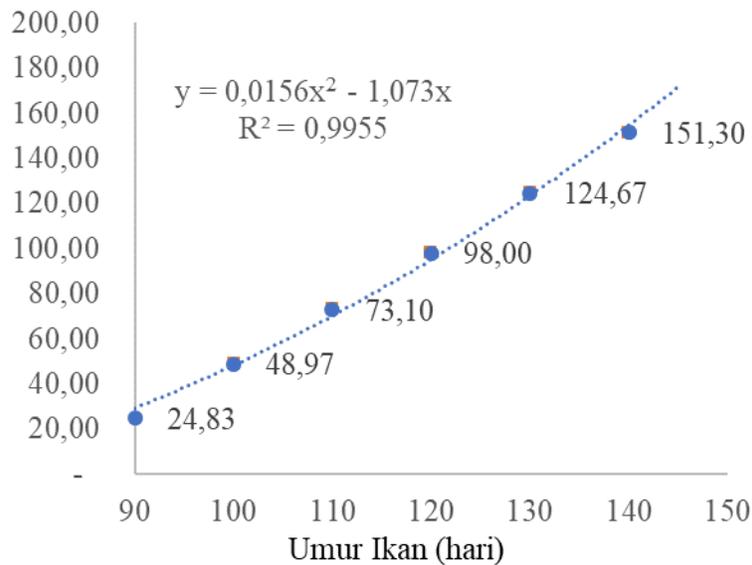
Dalam pemodelan bioekonomi nila ini, digunakan data pertumbuhan ikan nila yang dikemukakan oleh Carman dan Sucipto (2015) dan Wijayanto (2014). Model bioekonomi yang digunakan juga menggunakan model bioekonomi polinomial pada Bab VI dan VII

Tabel 20. Pertumbuhan Nila

Umur (hari)	Berat Individu (gram/ekor)
90	24,83
100	48,97

Umur (hari)	Berat Individu (gram/ekor)
110	73,10
120	98,00
130	124,67
140	151,30

Sumber: Carman dan Sucipto (2015) dan Wijayanto (2014), diolah kembali



Gambar 32. Estimasi Kurva Pertumbuhan Berat Nila (gram/ekor)

Hasil estimasi menunjukkan bahwa pertumbuhan nika mengikuti fungsi sebagai berikut:

$$W_t = 0,0156 t^2 - 1,073 t$$

$$R^2 = 99\%$$

Dengan syarat:

$$W_t, t > 0$$

$$W_t \leq W_{inf}$$

W_{inf} (berat maksimal) ikan nila adalah 3.744,41 gram, L_{inf} (panjang maksimal) adalah 60 cm, dan hubungan panjang dan berat mengikuti persamaan $0,02042 L^{2,96}$ (Eccles, 1992 dan Froese, Thorson and Reyes Jr., 2013). Ikan nila termasuk komoditas unggulan dalam budidaya ikan karena pertumbuhannya yang cepat, daya adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan, dan permintaan pasar (dalam dan luar negeri). Usaha

budidaya nila dapat dilakukan di kolam, karamba dan karamba jaring. Beberapa asumsi yang digunakan dalam aplikasi model adalah sebagai berikut.

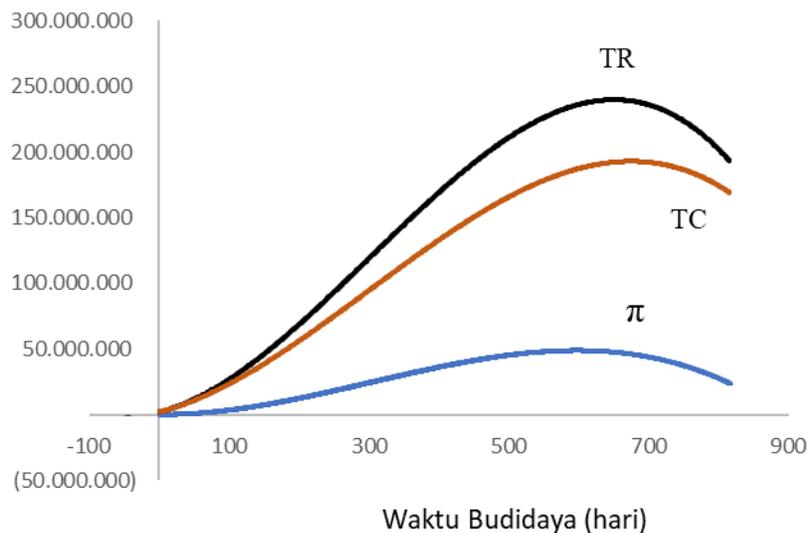
Tabel 21. Asumsi dan Penelitian Bioekonomi Budidaya Nila

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
Asumsi	
a	0,0156
b	1,073
Berat Awal (Wtbo)	20 gram/ekor
Umur benih (tbo)	84 hari
Jumlah benih (No)	6000 ekor
Kematian rata-rata (M)	6 ekor/hari (SR 120 hari adalah 88%)
Harga jual ikan (Pi)	Rp. 175gram
FCR	1
Harga Pakan Buatan (Pp)	Rp. 10/gram
Biaya depresiasi bangunan dan alat (Pd)	Rp. 42.000/hari
Biaya tenaga kerja (Ptk)	Rp. 7.000/hari
Hasil Penelitian	
Persamaan keuntungan	$\pi = -0,47.tb^3 + 422.tb^2 - 3.164.tb$
Turunan pertama keuntungan ($d\pi/d tb = 0$) sebagai first order condition	$d\pi/d tb = -1,404.tb^2 + 843.tb - 3.164 = 0$
Waktu budidaya (tb) optimal, menggunakan persamaan (4.18)	597 hari (t=681 hari)
Turunan kedua keuntungan ($d^2\pi/d tb^2 = \text{negatif}$) sebagai second order	$-2,808.tb + 843 = (-2,808 \times 597) + 843 = -832,53$ (negatif, terbukti)

Asumsi dan Hasil Penelitian	Nilai
condition	memenuhi syarat)
Berat ikan pada saat keuntungan maksimal	6.504,0 gram/ekor (SR 40%)
Biomassa pada keuntungan maksimal	15.726.572 gram atau 15,7 ton
Biomassa maksimal	15.995.762 gram (SR 35%; tb: 651 hari, t: 735 hari)

Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Berdasarkan hasil simulasi, terestimasi bahwa keuntungan maksimal terjadi pada waktu budidaya 584 hari dengan keuntungan per siklus mencapai Rp. 28.605.731/siklus/kolam untuk benih 6.000 ekor. Dalam keterbatasan modal yang dialami sebagian pembudidaya ikan, maka waktu optimal tersebut cenderung tidak dipergunakan, karena dinilai terlalu lama (1,6 tahun).



Sumber: Wijayanto, et al (2016)

Gambar 33. Kurva TR, TC dan Keuntungan (Rp) Usaha Budidaya Nila

Dapat diestimasi waktu budidaya untuk menghasilkan ukuran ikan tertentu sebagai target, misalnya target ukuran rata-rata ikan yang dipanen 250 gram/ekor. Apabila ukuran benih 19,9 gram per ekor dan umur benih tersebut adalah 84 hari, maka estimasi waktu budidaya yang diperlukan untuk menghasilkan target ukuran ikan panen (tbt) adalah 82

hari (2,7 bulan) dan dan diperoleh keuntungan sebesar Rp. 2.317.101/siklus/kolam.

Daftar Pustaka

- Akbar, S. dan Sudaryanto. 2001. Pembenuhan dan Pembesaran Kerapu Bebek. Penebar Swadaya, Depok.
- Anderson, L.G. and J.C. Seijo. 2010. Bioeconomics of Fisheries Management. First Edition. USA: Blackwell Publishing
- Anderson, W.L. and R.L. Ross. 2005. The Methodology of Profit Maximization: an Austrian Alternative. The Quarterly Journal of Austrian Economics Vol. 8. No. 4. pp. 31-44.
- Antonelli, G., G.I. Bischi and F. Lamantia. 2005. Mathematical Bioeconomic Modelling of The Interaction Between Aquaculture and Open Sea Fisheries. Editor: K.J. Thomson and L. Venzi. Paper disajikan pada 95th EAAE Seminar, Civitavecchia (Rome), 9-11 December 2005.
- Arnason, R. 1992. Optimal Feeding Schedules and Harvesting Time in Aquaculture. Marine Resource Economics. Vol. 7. pp. 15-35
- Besanko, D.A. and R.R. Braeutigam. 2011. Microeconomics. Fourth Edition. John Wiley and Sons, Inc. USA. 792 p.
- Beveridge, M.C.M. 2004. Cage Aquaculture. Third Edition. UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Bjorndal, T. 1988. Optimal Harvesting of Farmed Fish. Marine Resource Economics. Vol. 5. pp. 139-159.
- Björnsson, B. , A. Steinarsson and T. Árnason. 2007. Growth Model for Atlantic Cod (*Gadus morhua*): Effects of Temperature and Body Weight on Growth Rate. Aquaculture 271 (2007). pp. 216-226
- Bone, Q and R. H. Moore. 2008. Biology of Fishes. Third Edition. Taylor & Francis Group, UK. 478p.
- Carman, O. dan A. Sucipto. 2015. Pembesaran Nila 2,5 Bulan. Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta. pp. 100.
- Chiang, A. 1984. Fundamental Methods of Mathematical Economics. Third Edition. McGraw Hill International Edition, Singapore. 788p.
- Craig, P.C. 1999. The von Bertalanffy Growth Curve: When a Good Fit is not Good Enough. Naga. The ICLARM Quarterly. Vol. 22. No. 4. pp. 28-29.
- Cunningham, S., M.R. Dunn and D Whitmarsh. 1985. Fisheries Economics, An Introduction. Mansell Publishing Limited, London.
- Effendie, M.I. 2002. Biologi Perikanan. Yayasan Pustaka Nusatama, Yogyakarta.

- Enberg, K., E.S. Dunlop and C. Jorgensen. 2008. Fish Growth. dalam Ecological Models. __ (Eds). Elseiver, USA.
- Engle, C.R. 2010. Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis. First Edition. Blackwell Publishing, USA.
- FAO, 2014. The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunity and Challenges. Food and Agriculture Organization
- Fauzi, A dan S. Anna. 2005. Pemodelan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan. Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Froese, R. and C. Binohlan. 2003. Simple Methods to Obtain Preliminary Growth Estimates for Fishes. J. Appl. Ichthyol. 19 (2003), pp. 376–379.
- Froese, R., J. Thorson and R.B. Reyes Jr., 2013. A Bayesian Approach for Estimating Length-Weight Relationships in Fishes. J. Appl. Ichthyol. (2013), pp. 1-7.
- Gunawan, S. 2015. Kupas Tuntas Budidaya Bisnis Lele. Penerbit Penebar Swadaya, Jakarta. 187 p.
- Halver, J.E., and R.W. Hardy. 2002. Fish Nutrition. Third Edition. Academic Press, USA.
- Hamre, J., E. Johnsen and K. Hamre. 2014. A New Model for Simulating Growth in Fish. PeerJ 2:e244; DOI 10.7717/peerj.244: 1-16.
- Handeland, S., A.K. Imsland and S.O. Stefansson. 2008. The Effect of Temperature and Fish Size on Growth, Feed Intake, Food Conversion Efficiency and Stomach Evacuation Rate of Atlantic Salmon Post-Smolts. Aquaculture 283 (2008), pp. 36–42
- Hanif, S., B.K. Setyo, B. Syahputra dan J. Hutajulu. 2011. Panduan Budidaya Ikan Nila Sistem Karamba Jaring Apung. Better Management Practices, Seri Panduan Perikanan Skala Kecil. Versi 1. WWF Indonesia, Jakarta.
- Hannesson, R. 1993. Bioeconomic Analysis of Fisheries. FAO.
- Heap, T., 1993. The optimal feeding of farmed fish. Marine Resource Economics. Vol. 8, pp. 89-99
- Helfman, G.S., B.B. Collette, D.E. Facey, and B.W. Bowen. 2009. The Diversity of Fishes: Biology, Evolution, and Ecology. Second Edition. John Wiley & Sons, USA. 720p.
- IGFA. 2001. Database of IGFA Angling Records until 2001. IGFA, Fort Lauderdale, USA.
- Jolly, C.M. and H.A. Clonts. 1993. Economics of Aquaculture. Food Product Press, an Imprint of The Haworth Press, Inc, USA.

- Khademzadeh, O., Haghi M., 2017. Length-Weight Relationship and Condition Factor of White Leg Shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) in Culture Systems of Choebdeh, West-South of Iran. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 5(1), pp. 298-301.
- King, R.P. 1996. Length-Weight Relationships of Nigerian Freshwater Fishes. *Naga. The ICLARM Quarterly*. Edisi: July 1996. pp. 49-52.
- KKP, 2015. Kelautan dan Perikanan Dalam Angka Tahun 2015. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta, 308 p.
- Lekang, O. 2013. *Aquaculture Engineering*. Second Edition. Wiley-Blackwell, UK.
- Marahudin, F. dan I.R. Smith. 1986. *Ekonomi Perikanan, dari Teori Ekonomi ke Pengelolaan Perikanan*. Jilid I. Penerbit PT. Gramedia Jakarta.
- Mas-Collel, A, M.D. Whinton and J.R. Green. 1995. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press, New York.
- McKenzie, R.B. and D.R. Lee. 2006. *Microeconomics for MBAs: The Economic Way of Thinking for Managers*. www.ebooksclub.org.
- Mikkelsen, E. 2007. Aquaculture-Fisheries Interactions. *Marine Resource Economics*. Vol. 22, pp. 287-303.
- Mistiaen, J.A. and I. Strand. 1999. Optimal Feeding and Harvest Time for Fish with Weight-Dependent Prices. *Marine Resource Economics*, Vol. 13. pp. 231-246.
- Monteiro, R.S.O. 2002. Fish Growth Modelling Growth of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Tagus Estuary, Portugal. *Diplome D'études Approfondies Europeen En Modelisation De L'environnement Marin*.
- Nicholson, W. and C. Snyder, 2008. *Microeconomic Theory Basic Principles and Extensions*. Tenth edition. Thomson South-Western.
- Ofori, J.K., H.R. Dankwa, R. Brummett and E.K. Abban. 2009. *Producing Tilapia in Small Cage in West Africa*. Ghana: Water Research Institute.
- Padilla, J.E. and A.T. Charles. 1994. Bioeconomic Modeling and The Management of Capture and Culture Fisheries. *Naga. The ICLARM Quarterly* 1994. Edisi: Januari 1994. pp. 18-20.
- Pindyck, R.S and D.L. Rubinfeld. 1998. *Microeconomics*. Fourth Edition. Prentice Hall International, Inc. New Jersey.
- Rahardja, P dan M Manurung. 2002. *Teori Ekonomi Mikro, Suatu Pengantar*. Edisi Revisi. Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.

- Rahayu, W. 2011. Analisis Pendapatan Usaha Pembesaran Ikan Nila Merah (*Oreochromis* sp) pada Kolam Air Deras Di Kecamatan Polanharjo Kabupaten Klaten. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. Vol. 7. No. 1. pp. 1-13.
- Rahmat, R.P., 2013. *Budidaya Gurami*. PT. AgroMedia Pustaka. Jakarta, 96 p.
- Rainboth, W.J., 1996. *Fishes of the Cambodian Mekong*. FAO species identification field guide for fishery purposes. FAO, Rome, 265 p.
- Rasmussen, S. 2011. *Production Economics, The Basic Theory of Production Optimisation*. Springer Heidelberg Dordrecht, London.
- Rosser, M., 2003. *Basic Mathematics for Economists*. Second Edition. Routledge, London. 535 p.
- Royce, W.F. 1996. *Introduction to The Practice of Fishery Science*. Revised Edition. Academic Press, USA.
- Salvatore, D. 2001. *Managerial Economics dalam Perekonomian Global*. Edisi Keempat. Jilid 1. Penerbit Erlangga, Jakarta. 466p.
- Seijo, J.C., O. Defeo and S Salas. 1998. *Fisheries Bioeconomic: Theory, Modelling and Management*. FAO. Rome.
- Slembrouck, J. O. Komarudin, Maskur dan M. Legendre. 2005. *Petunjuk Teknis Pembenihan Ikan Patin Indonesia, Pangasius djambal*. Kerjasama IRD, BRPBAT Bogor, dan BBAT Sukabumi.
- Sparre, P dan Venema, SC. 1999. *Introduksi Pengkajian Stok Ikan Tropis*. Buku I. Manual. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan, Jakarta.
- Springborn, R.R., A.L. Jensen, W. Y. B. Chang, and C. Engle, 1992. Optimum Harvest Time in Aquaculture: An Application Of Economic Principles to a Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), Growth Model. *Aquaculture and Fisheries Management*, Vol. 23, pp. 639-647.
- Strand, I and J.A. Mistiaen. 1999. Optimal Feeding and Harvest Time for Fish With Weight-Dependent Prices. *Marine Resource Economics*, Vol. 13, pp. 231-246.
- Sunaryanto, A. dan S.P. Ginting. 2014. *Teknologi Sederhana Budidaya Ikan*. CCDDP-IFAD.
- Tamba, S., M. Ramli dan Hendrik. 2011. *Analisis Kelayakan Budidaya Ikan Nila (Oreochromis niloticus) Dalam Keramba Jaring Apung Di Desa Silalahi III Kecamatan Silahisabungan Kabupaten Dairi Provinsi Sumatera Utara*. Universitas Riau.
- The World Bank. 2013. *Fish to 2030, Prospect for Fisheries and Aquaculture*. The World Bank, Washington DC. 80 p.

- White, K., B. O'Neil and Z. Tzankova. 2004. At a Crossroads: Will Aquaculture Fulfill The Promise of The Blue Revolution?. SeaWeb, 2004. SeaWeb Aquaculture Clearinghouse. pp. 1-17.
- Wijayanto, D. 2007. Buku Ajar Bioekonomi Perikanan. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Wijayanto, D. 2014. Model Bioekonomi Optimalisasi Keuntungan Budidaya Ikan: Studi Kasus Budidaya Ikan Nila Merah dengan Keramba Jaring Apung pada Koperasi Serba Usaha Bersama Maju Sejahtera di Waduk Wadaslintang, Kabupaten Wonosobo. Disertasi. Program Doktor Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Diponegoro.
- Wijayanto, D., R.A. Nugroho, dan F. Kurohman. 2016. Model Bioekonomi Untuk Optimalisasi Keuntungan Usaha Budidaya Ikan Ekonomis Penting. Laporan Riset Penerapan dan Pengembangan. LPPM Undip.
- Wijayanto, D., R.A. Nugroho, dan F. Kurohman. 2016. Buku Ajar Bioekonomi Perikanan: Studi Kasus Perikanan Tangkap dan Perikanan Budidaya. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Wijayanto, F. Kurohman dan dan R.A. Nugroho. 2016. Model Bioekonomi untuk Optimalisasi Keuntungan Usaha Budidaya Ikan Ekonomis Penting. Laporan Akhir Riset Pengembangan DAN Penerapan (RPP). LPPM Undip
- Wijayanto, F. Kurohman dan R.A. Nugroho. 2016. Model Maksimisasi Keuntungan Budidaya Pembesaran Lele (*Clarias* sp). Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Pascasarjana, SPS Undip.
- Wijayanto, F. Kurohman dan dan R.A. Nugroho. 2016. Model of Profit Maximization of the Giant Gourami (*Osphronemus goramy*) Culture. *Omni-Akuatika*, 13 (1): 54-59, 2017
- WWF Indonesia, 2014. Budidaya Ikan Bandeng (*Chanos chanos*) Pada Tambak Ramah Lingkungan. Versi 1, Desember 2014. WWF Indonesia, Jakarta
- WWF Indonesia. 2015. Budidaya Ikan Kakap Putih (*Lates calcarifer*, Bloch., 1790) Di Karamba Jaring Apung dan Tambak. Edisi 1, Maret 2015. WWF Indonesia, Jakarta.
- WWF Indonesia. 2015. Budidaya Ikan Kerapu Macan - Sistem Karamba Jaring Apung. Edisi 2, Januari 2015. WWF Indonesia, Jakarta.
- Ye, Y. and J.R. Beddington. 1996. Bioeconomic Interactions Between the Capture Fishery and Aquaculture. *Marine Resource Economics*. Volume 11. pp. 105-123