



BUKU AJAR

**MATA KULIAH
DINAMIKA POPULASI**

**OLEH
DR.IR. SURADI WIJAYA SAPUTRA, MS.**

PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
FAKULTAS PERIKANAN DEAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2007

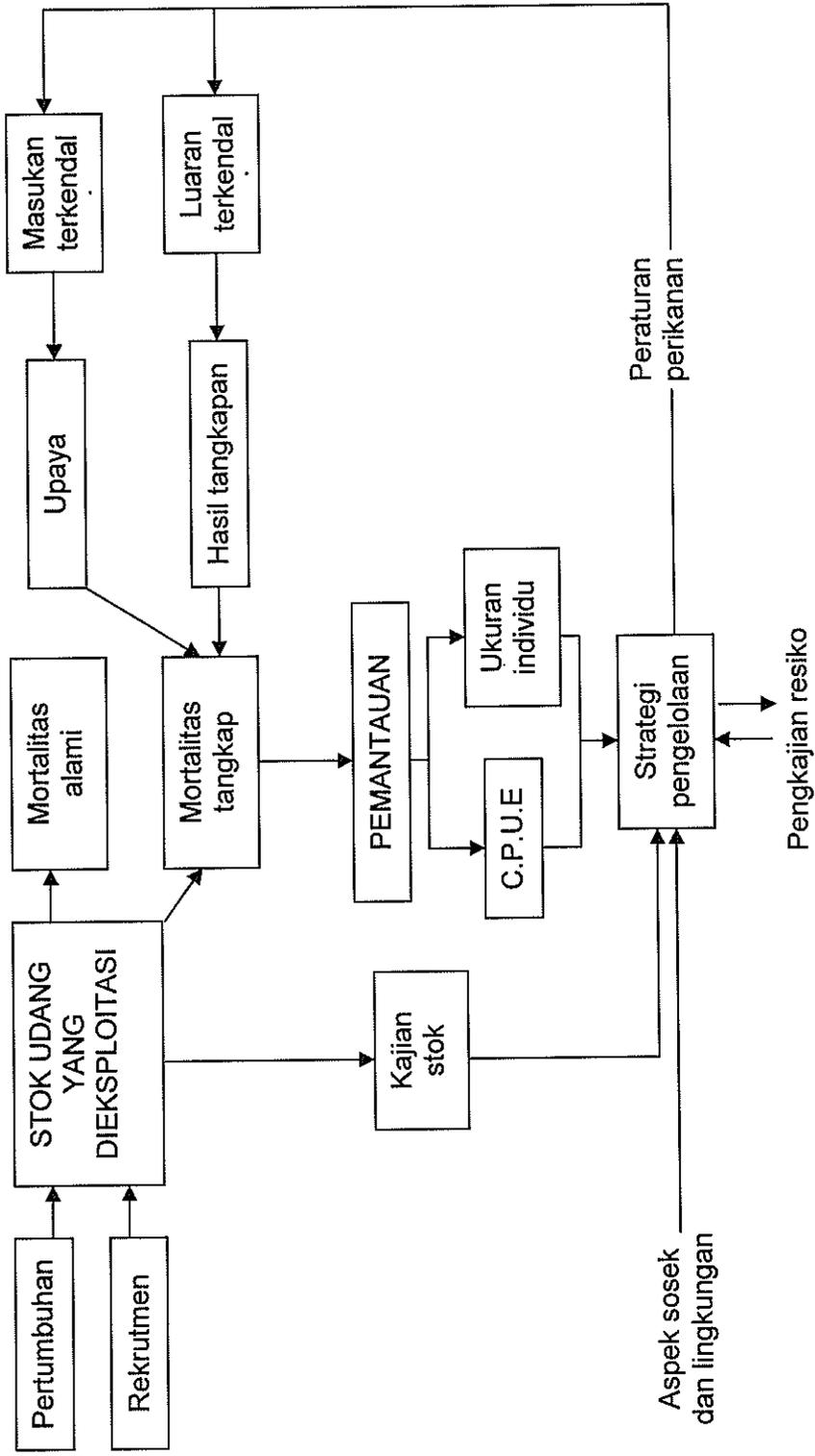
UPT-PUSTAK-UNDP
No. Daft: D160/BA/FPIK/C1
Tgl. : 22-7-2007

BUKU AJAR

MATA KULIAH DINAMIKA POPULASI

DESKRIPSI SINGKAT

Mata kuliah Dinamika Populasi Ikan seharusnya diambil oleh mahasiswa sesudah mendapatkan kuliah ***Matematik, Biologi Perikanan dan Statistik***. Mata kuliah ini memiliki ruang lingkup populasi-populasi ikan yang hidup di perairan laut maupun tawar, yang merupakan habitat sumberdaya ikan utama, khususnya untuk daerah tropis. Fokus utama perkuliahan adalah pemahaman atas sifat keseimbangan dan dinamika yang dimiliki oleh setiap populasi ikan di alam, yang dalam keadaan tertentu (seperti eksploitasi yang berlebihan) akan bisa terganggu. Di dalam mata kuliah ini juga diberikan metode (*tools*) yang berguna untuk mempelajari dan menilai populasi ikan dalam kekompleksan kondisi daerah tropis negara berkembang. Beberapa metode dan teknik yang diberikan dalam kuliah ini dipilih dari antara yang memungkinkan penerapannya di perairan Indonesia dari segi fasilitas serta pembiayaan yang ada.



KEGIATAN KULIAH I : PENDAHULUAN

1. TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM

Setelah menyelesaikan kuliah ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan mengenai populasi ikan, sifat-sifat intrinsiknya dan faktor-faktor dinamikanya, seleksi alat tangkap, serta cara-cara estimasinya. Faktor-faktor luar (lingkungan) yang mempengaruhi dan pependugaan stock ikan dengan pendekatan analitik dan survey.

2. TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

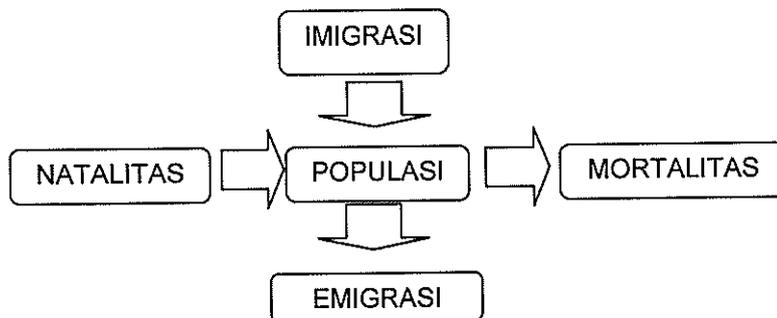
Mahasiswa dapat menjelaskan pengertian populasi ikan, Dinamikanya serta kaitannya dengan manajemen perikanan.

3. KEGIATAN BELAR

3.1. Pengertian Dinamika Populasi

Populasi udang di suatu perairan adalah dinamis, mengalami perubahan-perubahan, baik penambahan maupun pengurangan. Penambahan terhadap populasi dapat disebabkan oleh karena masuknya individu lain yang berasal dari daerah lain (imigrasi) dan karena adanya kelahiran (natalitas). Pengurangan terhadap suatu populasi dapat disebabkan karena kematian (mortalitas) atau karena keluarnya individu dari populasi tersebut ke luar wilayah perikanan (Gambar 1).

Sebagai obyek kajian, dinamika populasi berada pada wilayah kajian antara biologi populasi dan matematika populasi. Biologi populasi lebih banyak membutuhkan dasar keilmuan biologi dan sedikit atau kurang memanfaatkan matematika. Sedangkan matematika populasi lebih banyak atau dominan dalam memanfaatkan ilmu matematika dan sedikit memanfaatkan biologi.

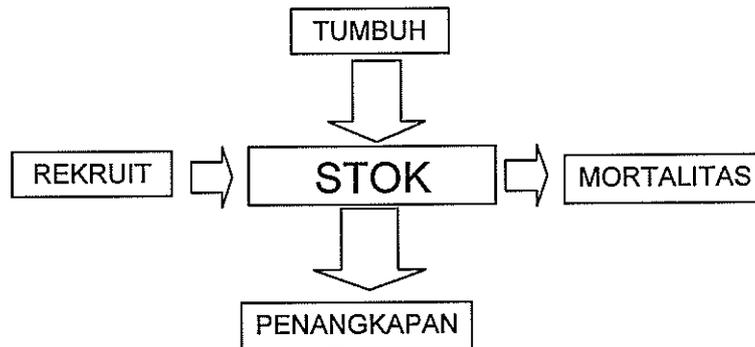


Gambar 1. Keseimbangan dinamis populasi di suatu wilayah perikanan

3.2. Pengertian Dinamika Stok

Stok adalah suatu kelompok organisme dari suatu spesies yang mempunyai karakteristik (parameter stok) yang sama dan menempati suatu daerah geografis tertentu. Pada prinsipnya suatu stok adalah kelompok ikan atau udang yang batas geografis persebarannya dapat ditentukan, demikian pula kegiatan perikanan (armada penangkapan) yang mengeksploitasi kelompok ikan atau udang tersebut. Stok harus berasal dari suatu ras yang sama dalam suatu spesies yang sama. Sekelompok atau suatu sub kelompok individu dari suatu spesies dapat diperlakukan sebagai satu stok jika perbedaan -

perbedaan dalam kelompok tersebut dan “percampuran” dengan kelompok lain dapat diabaikan tanpa membuat kesimpulan yang keliru. Sebagaimana populasi, stok ikan di suatu wilayah perikanan juga bersifat dinamis, oleh karena bertambah oleh adanya pertumbuhan dan rekrut dan adanya pengurangan oleh karena mortalitas alami dan penangkapan (Gambar 2).



Gambar 2. Keseimbangan dinamis stok ikan di suatu wilayah perikanan

3.3. Model Pengkajian Stok

Model pengkajian stok ikan telah lama berkembang dan terus berkembang sejalan dengan perkembangan kebutuhan dan ilmu-ilmu pendukungnya. Secara umum model yang digunakan untuk pengkajian stok ikan dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yaitu (1) model baku perikanan (*standart fisheries model*) dan (2) model non baku perikanan. Model baku perikanan dapat dikelompokkan lagi menjadi 3, yaitu (a) model produksi, (b) model analitik, dan (c) model stok dan penambahan baru (Y/R).

3.4. Daftar Pustaka/Acuan/Bacaan Anjuran

1. Walford, L.A. 1958. Living resources of the sea. The Ronald Frees Company. New York. 321p.
2. Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Manila. ICLARM Studies and Reviews 8: 325p.
3. Sanders, M.J. and Kedidi, S.M. 1983. Introduction to fish stock assessment. FAO. Suez RAB/81/002/MAN/3. 244p.
4. Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957 On the dynamics of the exploited fish populations. Academic Press. London. 516p.
5. Ricker, W.E. 1958. Handbook of computation for biological statistics of fish populations. Bulletin No. 119. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 300p.
6. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin 191. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 382p.
7. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 1. 337p.
8. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 2. 101p.
9. Longhurst, A. and D Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press. 407p.
- 10 King. 1996. Introduction to fisheries biology and stock assessment. Fishing News (Books). London.

POKOK BAHASAN II

TEORI PERTUMBUHAN

1. TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM :

Setelah menyelesaikan kuliah ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan mengenai populasi ikan, sifat-sifat intrinsiknya dan faktor-faktor dinamikanya, seleksi alat tangkap, serta cara-cara estimasinya. Faktor-faktor luar (lingkungan) yang mempengaruhi dan pependugaan stock ikan dengan pendekatan analitik dan survey.

2. TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

Setelah kegiatan kuliah, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan:

- a. Teori pertumbuhan ikan
- b. Pola-pola pertumbuhan pada ikan
- c. Cara-cara analisis dan estimasi pertumbuhan berdasarkan data frekuensi panjang dan berat ikan

3. KEGIATAN BELAJAR

3.1. Kegiatan Belajar 1: Konsep Pertumbuhan

Pertumbuhan adalah perubahan ukuran panjang atau berat dalam suatu periode waktu tertentu (Effendie, 1997). Selanjutnya dinyatakan bahwa pertumbuhan dalam individu adalah penambahan jaringan akibat dari pembelahan sel secara mitosis. Hartnoll (1982) menyatakan bahwa pertumbuhan dapat diekspresikan sebagai penambahan panjang, volume, berat basah atau berat kering dalam periode waktu tertentu. Anggoro (1992) menyatakan pertumbuhan adalah perubahan bentuk atau ukuran, baik panjang, bobot atau volume dalam jangka waktu tertentu. Secara fisik pertumbuhan diekspresikan dengan perubahan jumlah atau ukuran sel penyusun jaringan tubuh dalam rentang waktu tertentu. Secara morfologis pertumbuhan digambarkan dalam perubahan bentuk (metamorfosis), dan secara energetik, pertumbuhan dapat dijelaskan dengan perubahan kandungan total energi (kalori) tubuh pada periode

waktu tertentu. Effendie (1997) membedakan pertumbuhan menjadi pertumbuhan mutlak dan pertumbuhan nisbi.

(1) Pertumbuhan mutlak ialah perbedaan panjang atau berat dalam dua saat (

$$dG = L_t - L_o \text{ atau } dG = W_t - W_o). \dots\dots\dots 2$$

(2) Pertumbuhan nisbi ialah panjang atau berat yang dicapai dalam satu periode tertentu dihubungkan dengan panjang atau berat awal periode :

$$RG = (L_t - L_o)/L_o \text{ atau } RG = (W_t - W_o)/W_o. \dots\dots\dots 3$$

Pada organisme yang tidak memiliki eksoskeleton pertumbuhan dapat berlangsung terus menerus, tapi pada krustasea hal itu tidak dapat terjadi karena dibatasi oleh adanya eksoskeleton, sehingga proses pertumbuhan menjadi terputus-putus (Hartnoll, 1982). Pada udang pertumbuhan ditandai dengan adanya pergantian kulit (*molting, ekdisis*).

Pertumbuhan krustasea pada umumnya adalah sebagai berikut : a) udang berganti kulit, melepaskan dirinya dari kulit luarnya yang keras (*eksoskeleton*), b) air diserap (*absorbed*), ukuran udang bertambah besar, c) kulit luar yang baru terbentuk dan d) air secara bertahap diganti dengan jaringan baru. Oleh karenanya pertumbuhan panjang individu merupakan fungsi berjenjang (*step function*), tubuh bertambah panjang pada setiap ganti kulit dan tidak bertambah panjang antara ganti kulit. Pada setiap ganti kulit integumen membuka, pertumbuhan terjadi cepat pada periode waktu yang pendek, sebelum integumen yang baru menjadi keras (Hartnoll, 1982). Pertumbuhan larva dan pascalarva udang merupakan perpaduan antara proses perubahan struktur melalui metamorfosis dan ganti kulit (*molting*), serta meningkatnya biomass sebagai proses transformasi materi dan energi pakan menjadi masa tubuh udang (Hartnoll, 1982).

Pada tingkat individu, udang mempunyai pola pertumbuhan yang terputus-putus (*discontinuu*), karena tidak terjadi pertumbuhan saat diantara ganti kulit. Selanjutnya dinyatakan bahwa pertumbuhan udang penaid sangat cepat dan ukuran maksimum bervariasi dari panjang total 8,4-12 cm pada spesies penaid yang kecil (*Metapenaeus spp*) sampai dengan 30 cm pada spesies udang besar seperti *P monodon*, dicapai pada umur sekitar 2 tahun. Secara sederhana prinsip faali dan karakteristik ganti kulit pada udang mengikuti alur proses

sebagai berikut (Yamaoka dan Scheer, 1970; Wickins, 1982) yang dikutip Anggoro (1992).

- (a) Mobilisasi dan akumulasi cadangan material metabolik, seperti Ca, P dan bahan organik ke dalam hepatopankreas selama akhir periode antar ganti kulit (*intermolt* akhir).
- (b) Pembentukan kulit baru diiringi dengan resorpsi material organik dan anorganik dari kulit lama selama periode persiapan (awal) ganti kulit (*pre molt*).
- (c) Pelepasan kulit lama pada saat ganti kulit dan diikuti dengan absorpsi air dari media eksternal dalam jumlah besar,
- (d) Pembentukan dan pengerasan kulit baru dari cadangan material organik dan anorganik yang berasal dari *hemolimfe* (darah) dan hepatopankreas (sebagian kecil berasal dari media eksternal), yang terjadi pada periode setelah ganti kulit (*post molt*),
- (e) Pertumbuhan jaringan somatik selama periode setelah ganti kulit dan awal antar ganti kulit (*intermolt* awal).

Laju pertumbuhan udang secara internal tergantung pada kelancaran proses ganti kulit dan tingkat kerja osmotik (osmoregulasi) yang dialaminya (Hartnoll, 1982). Proses ganti kulit dan osmoregulasi dikontrol oleh kerja sistem neuroendokrin (Kamemoto, 1976; Cooke dan Sullivan, 1982) yang dikutip Anggoro (1992), yaitu :

- a) *Molt inhibiting hormone (MIH)* dan hormon osmoregulasi (*osmoregulation hormone*), yang dikeluarkan oleh sel-sel neurosekresi organ-X dan kelenjar sinus pada tangkai mata serta organ pericardial,
- b) *Krustekdison* atau *molt accelerating hormone (MAH)*, yang dikeluarkan oleh organ-Y (terletak di bagian *posterior* rahang atas).

Bagi hewan air yang pertumbuhannya ditentukan oleh kelancaran ganti kulit, mekanisme osmoregulasinya ditentukan oleh perimbangan osmoefektor antara cairan intra sel (CIS) dengan cairan ekstra sel (CES). Osmoefektor anorganik (Na^+ dan Cl^-) berkonsentrasi tinggi dalam CES, sebaliknya osmoefektor organik (asam amino bebas) dan ion K^+ berkonsentrasi tinggi dalam CIS. Perimbangan ini sangat menentukan pH optimum dan kemantapan osmolaritas cairan tubuh, sehingga perlu dipertahankan agar sel-sel penyusun jaringan tubuh hidup dan tumbuh dengan normal (Gilles, 1979) yang dikutip oleh

Anggoro (1992). Dalam proses pertumbuhan udang, perimbangan tersebut tidak selamanya terjadi.

Selama stadia larva, udang *Penaeus* mengalami beberapa kali metamorfosis dan ganti kulit, sampai stadia pascalarva (PL). Berdasarkan ciri-ciri morfologinya, tahap pertumbuhan larva udang *Penaeus* dapat dibedakan menjadi 4 stadia, yaitu : *nauplius* (N), *zoea* (Z), *mysis* (M) dan pascalarva (PL). Pada setiap stadia tersebut dapat dibedakan lagi sebagai : 6 substadia *nauplius* (N1 – N6), tiga substadia *zoea* (Z1 – Z3), tiga substadia *mysis* (M1 – m3) sebelum mencapai PL1 (Motoh, 1985). Riani (2001) menyatakan telur udang windu yang telah dilepaskan ke lingkungan dalam waktu 10-14 jam setelah diletakkan akan menetas menjadi larva stadium I atau *nauplius*. Setelah dua hari, *nauplius* akan berkembang menjadi stadium II atau *zoea*. Pada stadium ini sudah membutuhkan makanan dari luar, karena cadangan makanan berupa kuning telur sudah habis. Empat hari kemudian *zoea* tumbuh menjadi larva stadium III atau *mysis*. Stadium ini merupakan akhir dari stadium larva yang akan berlangsung selama 4 hari, untuk kemudian menjadi pascalarva.

Proses metamorfosis larva tersebut terjadi pada perairan lepas pantai dimana telur dipijahkan, melayang-layang dan secara pasif terbawa ke muara atau pantai karena bersifat planktonis. Sampai di perairan muara atau pantai biasanya telah masuk stadium pascalarva. Pada stadium ini sudah mulai aktif berenang walaupun kemampuannya masih sangat terbatas.

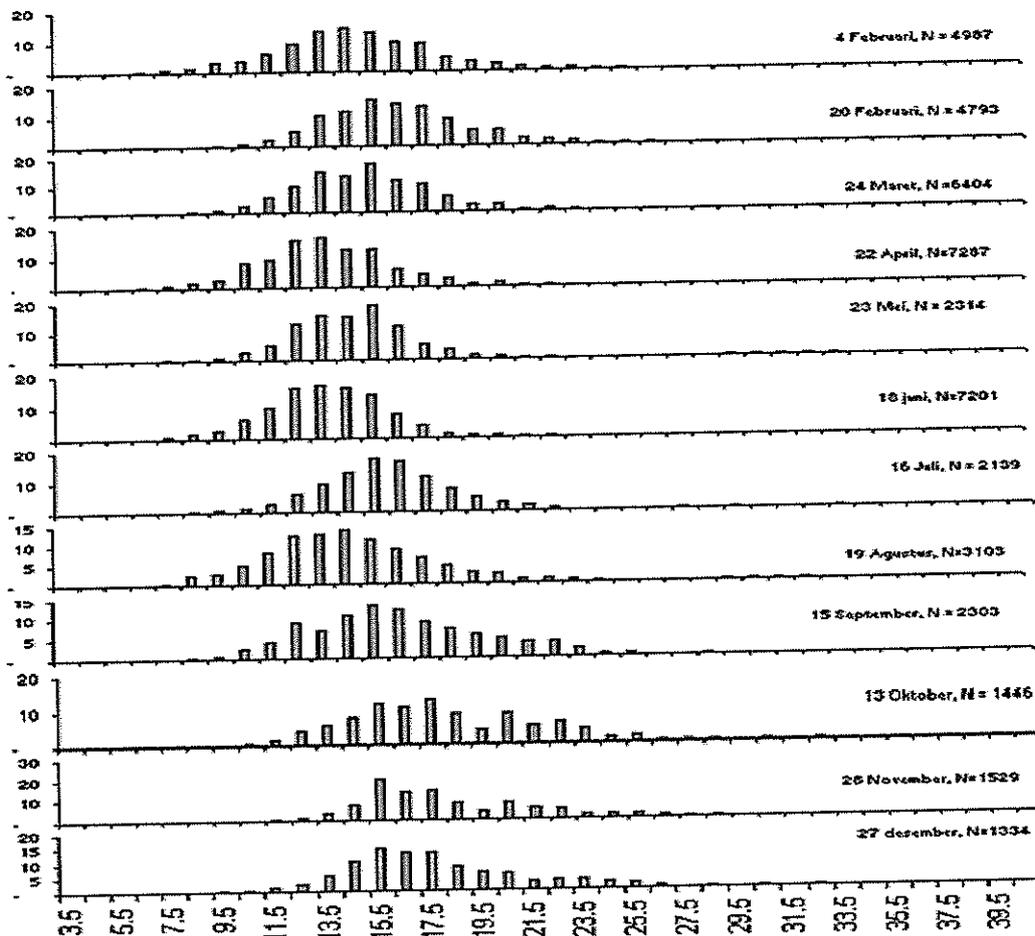
Pertumbuhan udang setelah substadia M3 (*mysis* akhir) lebih ditekankan pada perubahan biomassa, baik bobot maupun ukuran tubuh. Pada setiap ganti kulit, sebagian masa hilang sebagai *eksuvia*. Kehilangan masa pada setiap ganti kulit mengakibatkan model pertumbuhan (bobot) udang menjadi *discontinuu* (Allen, *et.al.*, 1988). Tetapi tidak demikian pada tingkat populasi (Garcia, 1988), dan dalam jumlah yang tinggi, pergantian kulit per tahun mengarah pada model pertumbuhan berkelanjutan sebagaimana model pertumbuhan dari von Bertalanffy (Parrack, 1979; Frechette and Parsons, 1983, yang disitir oleh Garcia, 1988).

3.2. Kegiatan Belajar 2: Analisis Pergeseran Modus Panjang

Struktur populasi udang didefinisikan sebagai suatu susunan kelas umur dalam suatu populasi, seperti larva, udang muda dan udang dewasa. Kajian tentang struktur populasi pada umumnya berdasarkan ukuran panjang dan bobot udang, yang menggambarkan struktur udang dalam populasi yang dapat memprediksi umur. Hubungan panjang dan bobot merupakan perhitungan bobot sebagai fungsi panjang yang merupakan ukuran faktor kondisi dari suatu stok. Struktur populasi udang juga dapat digunakan untuk memprediksi keadaan populasi dan pola penambahan baru berdasarkan kelompok umur (ukuran) yang mendominasi suatu zona tertentu, dan dengan analisis kohort dapat ditentukan pola penambahan baru berdasarkan pergeseran modus antara zona.

Untuk mendapatkan gambaran tentang pertumbuhan udang *P. elegans* telah dikumpulkan data panjang dan berat udang tersebut sejak Februari – Desember tahun 2004. Data panjang karapas diukur menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.5 mm, dari ujung karapas (pangkal mata) sampai dengan pangkal karapas paling *belakang*. Struktur ukuran merupakan salah satu informasi penting dalam pengkajian suatu populasi. Pengukuran panjang organisme dalam seri waktu yang cukup dapat dijadikan landasan untuk mengkaji pola pertumbuhan, mortalitas dan pola penambahan individu baru dari organisme tersebut. Pada studi ini panjang yang dijadikan kajian adalah panjang karapas.

Pergeseran modus dari setiap kelompok ukuran panjang karapas umumnya hanya terjadi satu sampai tiga bulan saja.



Gambar 3. Histogram panjang karapas udang *M. elegans* (jantan dan betina) selama penelitian di perairan Segara Anakan tahun 2004

Bulan berikutnya kelompok ukuran tersebut telah hilang atau tinggal sedikit. Pada 4 Februari modus panjang karapas 14.5 mm, pada 20 Februari dan 22 Maret modus telah bergeser menjadi 15.5 mm.

Pada 24 April telah digantikan kelompok umur baru dengan modus panjang karapas 13.5 mm yang kemudian bergeser menjadi 15.5 mm pada 23 Mei. Pada 18 Juni modus pada panjang karapas dari 13.5 mm bergeser menjadi 15.5 mm pada 16 Juli.

Pada 19 Agustus modus panjang karapas dari 14.5 mm bergeser menjadi 15.5 mm pada 15 September, kemudian bergeser menjadi 17.5 mm pada bulan berikutnya (28 Oktober). Berdasarkan uraian tersebut terdapat kecenderungan yang kuat bahwa pertumbuhan udang *M. elegans* rata-rata 2 mm per bulan.

3.3. Kegiatan Belajar 3: Hubungan Panjang dan Berat

Studi hubungan panjang berat mempunyai nilai praktis yang memungkinkan mengkonversi nilai panjang kedalam berat atau sebaliknya. Berat udang dapat dianggap sebagai suatu fungsi dari panjangnya, dan hubungan panjang berat ini mengikuti hukum kubik yang *dinyatakan* dengan rumus :

$$W = a L^b \dots\dots\dots 4$$

Hal ini disertai dengan anggapan bahwa bentuk serta berat jenis udang itu tetap selama hidupnya.

Atau dalam bentuk linier persamaan tersebut :

$$\text{Log } W = \text{log } a + b \text{ log } L \dots\dots\dots 5$$

Menurut Effendi (1987) pada ikan nilai *b* merupakan angka perpangkatan yang biasanya *berkisar* antara 1,2 – 5,1 dan umumnya berkisar pada nilai 3. Nilai *b* yang berada di luar kisaran 2,5 – 3,5, ikan itu mempunyai bentuk tubuh yang diluar batas kebiasaan bentuk tubuh ikan umum.

Jika ikan bentuknya tetap, pertumbuhannya dikatakan isometrik, dengan nilai *b* = 3, dengan asumsi bahwa gravitasi spesifik ikan tidak berubah (Wootton,1990). Menurut Effendi (1987) nilai yang lebih besar atau lebih kecil dari 3 pertumbuhan ikan dikatakan allometrik, nilai *b* < 3 maka penambahan ikan tersebut tidak seimbang dengan penambahan beratnya. Pertambahan panjangnya lebih cepat dari pada penambahan beratnya. Kemungkinan yang ketiga adalah jika harga *b* > 3 dapat ditafsirkan bahwa penambahan berat ikan lebih cepat daripada penambahan panjangnya.

Contoh Aplikasi analisis Hubungan Panjang dan Bobot pada *M. elegans*

Hasil perhitungan hubungan antara panjang karapas (mm) dengan bobot individu (gram) *M. elegans*, disajikan pada Tabel 1 diperoleh persamaan regresi sebagai berikut :

$$\text{Log } W = 0.004 + 2.19 \text{ Log } CL \text{ atau } W = 0.004 CL^{2.19},$$

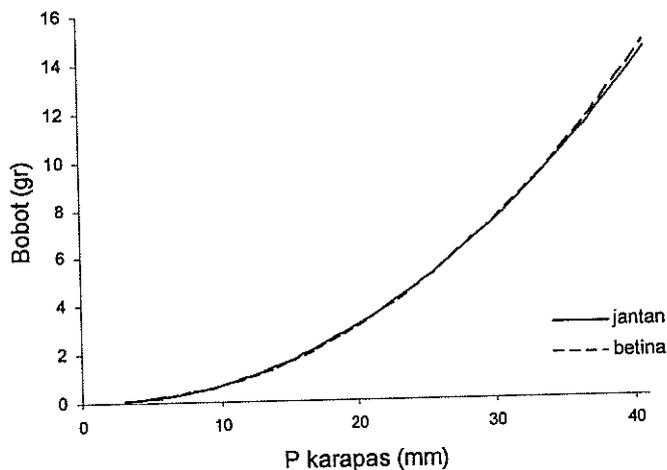
Persamaan tersebut dapat sebagai penduga nilai-nilai bobot udang *M.elegans* berdasarkan nilai-nilai panjang karapas udang *M.elegans*.

Berdasarkan persamaan tersebut dapat dibuat kurva hubungan panjang karapas dan bobot udang sebagaimana disajikan pada Gambar 4.

Nilai b pada udang *M.elegans* lebih kecil dari tiga atau berdasarkan kriteria dapat dinyatakan bahwa pertumbuhan udang *M. elegans* allometrik negatif ($b < 3$), artinya pertumbuhan beratnya tidak secepat pertumbuhan panjang.

Tabel 1. Variabel hubungan panjang karapas dan bobot *M. elegans* di Segara Anakan

Parameter	Jantan	Betina	Gabungan
N	22 255	25 134	47 389
a	0.005	0.004	0.004
b	2.1458	2.2145	2.1868
$W = aL^b$	$W = 0.005 L^{2.15}$	$W = 0.004 L^{2.21}$	$W = 0.005 L^{2.19}$
Kisaran (mm)	4 - 32	3 - 40	3 - 40
Pola pertumbuhan*)	Allometrik (-)	Allometrik (-)	Allometrik (-)
r	0.8521	0.8903	0.8734
Standar eror	0.1160	0.1231	0.1216
Selang 95%	2.1284 - 2.3458	2.2005-2.4152	2.1758-2.3826



Gambar 4. Hubungan panjang karapas (mm) dan berat (gr) ($W = aL^b$) *M. elegans* di perairan Segara Anakan.

Hal ini menunjukkan bahwa udang *M.elegans* yang hidup di Segara Anakan memiliki bentuk tubuh yang kurang montok. Pada awal pertumbuhannya, penambahan panjang lebih cepat dibanding penambahan bobot, dan sebaliknya

setelah ukuran besar pertambahan bobot lebih cepat dari pertambahan panjangnya.

3.4. Kegiatan Belajar 5: Faktor Kondisi

Keadaan yang menyatakan kemontokan ikan dengan angka dinamakan faktor kondisi atau ponderal indeks (Lagler, 1961 yang disitir Effendie, 1987). Salah satu derivat penting dalam pertumbuhan adalah faktor kondisi atau indeks ponderal dan sering disebut pula sebagai faktor K. Faktor kondisi ini menunjukkan keadaan baik dilihat dari segi kapasitas fisik untuk survival dan reproduksi.

Menurut Effendi (1987) bergantung pada sistem ukuran yang dipakai maka faktor kondisi ini ada dua macam :

1) Sistem metrik , dengan rumus : $K = \frac{100W(\text{gram})}{L^b(\text{mm})}$ atau

$$K = \frac{1000W(\text{gram})}{L^b(\text{mm})} \dots\dots\dots 6$$

2) Sistem Inggris dengan rumus $K = \frac{10000W(\text{pounds})}{L^b(\text{inches})} \dots\dots 7$

Sedangkan Lagler (1961) menyatakan bahwa jika $b = 3$, maka K adalah

$$K_{TL} = \frac{W.10^5(\text{gram})}{L^3(\text{mm})} \dots\dots\dots 8$$

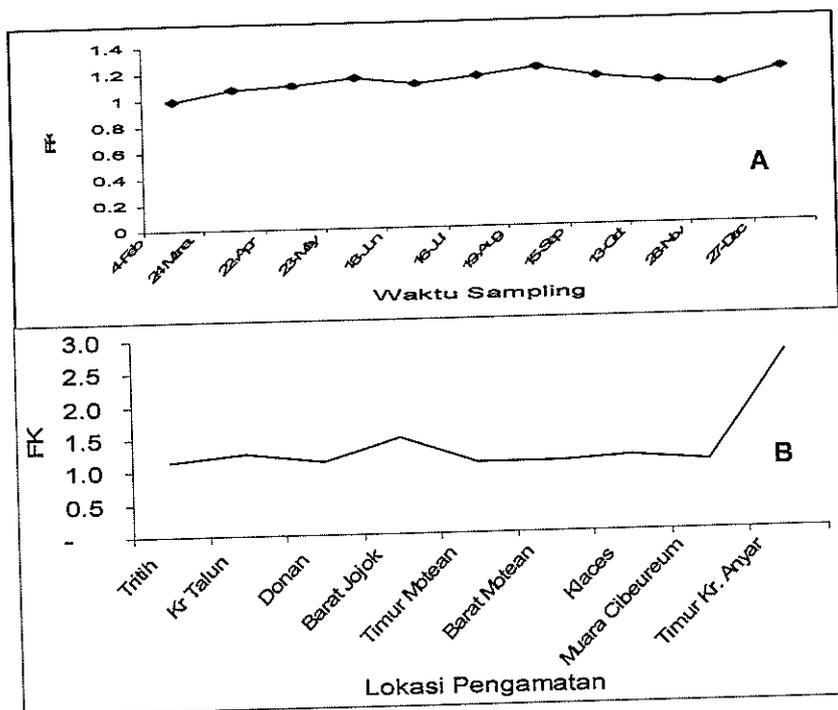
Apabila $b \neq 3$, maka K

$$K_{TL} = \frac{W.(\text{gram})}{aL^b(\text{mm})} \dots\dots\dots 9$$

Satuan K sendiri tidak berarti apa-apa, tetapi akan terlihat kegunaannya apabila dibandingkan dengan individu lainnya atau antara satu kepada kelompok yang lain. Nilai K berkisar 2 – 4 apabila badan ikan agak pipih, untuk ikan-ikan yang kurang pipih nilai K berkisar antara 1- 3.

Contoh Kasus Faktor Kondisi

Hasil perhitungan faktor kondisi bulanan selama penelitian diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada Gambar 5. Nilai FK tidaklah berarti jika berdiri sendiri. Pada penelitian ini nilai FK dilihat dalam perubahan waktu dan komparasi lokasi pengamatan. Nilai FK selama penelitian cenderung stabil berada di sekitar nilai satu. Kondisi tersebut mencerminkan bahwa waktu relatif tidak mempengaruhi kecepatan dan keseimbangan pertumbuhan udang. Pada Gambar 5 terlihat bahwa udang *M.elegans* yang berasal dari perairan Timur Karanganyar memiliki FK tertinggi.



Gambar 5. Faktor kondisi udang *M.elegans* berdasarkan lokasi/daerah pengamatan perairan Segara Anakan tahun 2004.

Hal ini menunjukkan bahwa udang yang berasal dari perairan tersebut memiliki kemontokan yang paling baik. Sebagaimana dijelaskan di depan, daerah perairan Timur Karanganyar paling banyak didapatkan udang betina matang gonad, dan merupakan daerah pemijahan utama. Udang di lokasi tersebut paling montok dibanding udang di tempat lainnya.

3.5. Kegiatan Belajar 4: Persamaan Pertumbuhan Von Bertalanffy

Sebagaimana dijelaskan di atas, udang secara populasi pertumbuhannya mengikuti hubungan panjang-umur model Von Bertalanffy, yang dapat dituliskan sebagai berikut (Brody, 1945,; Beverton and Holt, 1957 dan Ricker, 1975) :

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \dots\dots\dots 13$$

dimana :

L_t = panjang pada umur t

L_∞ = panjang infinity (asimtotik)

K = parameter yang menggambarkan kecepatan mencapai L_∞

t_0 = umur teoritis pada saat udang berukuran panjang nol.

Bagi data berat, persamaan tersebut menjadi :

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K[t-t_0]3}) \dots\dots\dots 14$$

King (1995) mengelompokkan metode analisis frekuensi panjang menjadi dua kelompok berdasarkan jenis datanya, yaitu sampel tunggal dan sampel ganda.

a. Sampel Tunggal – Ford-Walfort plot.

Metode sampel tunggal ini dikenal juga sebagai metode Petersen. Kurva pertumbuhan dapat dikaji dari posisi relatif modulus dalam sampel tunggal frekuensi panjang. Salah satu metode sederhana untuk mengkaji parameter pertumbuhan von Bertalanffy adalah Ford-Walfort plot.

$$L_t = L_\infty (1 - \exp[-Kt]) \dots\dots\dots 15$$

$$L_t = L_\infty - L_\infty \exp(-Kt),$$

$$L_\infty - L_t = L_\infty \exp(-Kt) \dots\dots\dots 16$$

Mengganti L_t dengan L_{t+1} pada persamaan 16 di atas, diperoleh persamaan :

$$\begin{aligned} L_{t+1} - L_t &= L_\infty (1 - \exp[-Kt+1]) - L_\infty (1 - \exp [-Kt]) \\ &= -L_\infty \exp[-Kt+1] + L_\infty \exp [-Kt] \end{aligned}$$

$$= L_{\infty} \exp[-Kt] (1-\exp[-K]) \dots\dots\dots 17$$

Dengan memasukkan persamaan 16 ke dalam persamaan 17 diperoleh persamaan :

$$L_{t+1} - L_t = (L_{\infty} - L_t) (1-\exp[-K]) \dots\dots\dots 18$$

$$= L_{\infty} (1-\exp[-K]) - (L_t + L_t \exp[-K])$$

$$L_{t+1} = L_{\infty} (1-\exp[-K]) + L_t \exp[-K] \dots\dots\dots 19$$

Persamaan tersebut adalah persamaan regresi linier, dengan L_{t+1} sebagai variabel dependen, dan L_t sebagai variabel independen (x), sehingga :

$$K = - \ln (b) \dots\dots\dots 20$$

$$L_{\infty} = a/(1-b) \dots\dots\dots 21$$

$$t_0 = t + (1/K) \ln [(L_{\infty} - L_t) / L_{\infty}] \dots\dots\dots 22$$

b. Sampel ganda

Metode sampel ganda disebut juga *modal progression analysis* (King, 1995), dimana data frekuensi panjang dikumpulkan dari waktu yang berbeda, kemudian disusun secara berurutan, dan modus dari kohort ditelusur pergeserannya mengikuti aksis panjang. Selanjutnya King (1995) menyatakan bahwa jika data dikumpulkan dengan interval waktu yang tidak sama, metode Ford-Walfort plot tidak dapat digunakan. Mengatasi hal tersebut maka dapat digunakan metode von Bertalanffy plot dan Gulland - Holt plot. Metode von Bertalanffy plot yang digunakan untuk menganalisis data frekuensi panjang sangat bagus untuk mengestimasi L_{∞} . Untuk keperluan tersebut persamaan von Bertalanffy dimanipulasi sebagai berikut :

$$L_t = L_{\infty} (1-\exp(-K[t-t_0]))$$

$$L_t / L_{\infty} = 1-\exp(-K[t-t_0])$$

$$1- L_t / L_{\infty} = \exp(-K[t-t_0])$$

$$- \ln (1- L_t / L_{\infty}) = -K t_0 + Kt \dots\dots\dots 23$$

Persamaan tersebut adalah linier, dengan variabel dependennya adalah $-\ln(1 - L_t/L_\infty)$ diplot dengan t sebagai variabel independen, sehingga $K = b$ dan $t_0 = -a/b$.

King (1995) selanjutnya menyatakan bahwa metode ini membutuhkan data umur relatif dari kelompok modus yang nampak. Beberapa metode penentuan nilai L_∞ telah banyak didiskusikan. Salah satunya seperti yang dilakukan Sparre dan Venema (1998) adalah dengan menetapkan panjang dari 10 individu terpanjang yang terdapat dalam sampel. Selanjutnya King (1995) mengemukakan bahwa untuk menentukan umur relatif kelompok modus adalah dengan mengestimasi jumlah minggu setelah lahir (yang didasarkan pada puncak musim pemijahan).

Kurva pertumbuhan menggambarkan hubungan antara panjang dengan umur, apabila menghubungkan setiap umur memiliki suatu panjang rata-rata tertentu, maka nilai L_∞ dapat lebih kecil dari individu terpanjang dalam sampel. Sebagai alternatif dengan mempertimbangkan hubungan antara umur dan panjang, dengan menghubungkan untuk setiap panjang memiliki umur tertentu, maka :

$$t_1 = t_0 - 1/K \ln(1 - 1/L_\infty) \dots\dots\dots 24$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai L_∞ tidak akan lebih kecil dari individu terpanjang dalam sampel. Bhattacharya (1967) mengembangkan suatu program komputer untuk menduga nilai tengah panjang dan simpangan bakunya. Gulland dan Holt (1959) mengenalkan suatu metode dengan mengasumsikan bahwa laju pertumbuhan dalam panjang dl/dt , merupakan suatu fungsi linier dari panjang, secara matematik dapat digambarkan sebagai :

$$dl/dt = K(L_\infty - \hat{l}), \dots\dots\dots 25$$

dimana : L_∞ adalah nilai panjang untuk $dl/dt = 0$.

Metode ini sangat membantu untuk menganalisis parameter pertumbuhan dari data frekuensi panjang dengan interval waktu yang tidak sama. Dengan memplotkan laju pertumbuhan $(l_2 - l_1)/(t_2 - t_1)$ terhadap nilai tengah panjang $[\hat{l} = (l_1 + l_2)/2]$.

Secara matematik metode Gulland dan Holt plot dapat ditulis sebagai :

$$(l_2 - l_1) / (t_2 - t_1) = K (L_\infty - \hat{l}) \dots\dots\dots 26$$

Intersep (a) pada axis horizontal menghasilkan estimasi L_∞ dan slope (b) sebagai estimator bagi - K.

Saat sekarang analisis frekuensi panjang sangat terbantu dengan adanya program komputer, seperti ELEFAN (*Electronic Lengths Frequency Analysis*) yang dikenalkan oleh Pauly dan David (1981), ELEFAN I dan ELEFAN II yang dikembangkan oleh Brey dan Pauly (1986) sebagaimana disitir Gulland (1991).

Analisis data frekuensi panjang dengan menggunakan paket program ELEFAN diperlukan dugaan awal panjang infiniti (L_∞). Pauly (1984) memberikan cara mendapat nilai dugaan awal tersebut dengan persamaan : $L_\infty = L_{max} / 0,95$. Hubungan tersebut akan menghasilkan nilai yang berbeda untuk ikan yang berumur panjang dan berumur pendek (Mathew dan Samuel, 1990). Ikan yang berumur pendek akan lebih kecil dari $L_\infty = \frac{L_{max}}{0,95}$ dan sebaliknya ikan yang

berumur panjang akan di atas nilai $L_\infty = \frac{L_{max}}{0,95}$. Merta (1992) berdasarkan penelitiannya terhadap ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di Selat Bali, dengan membandingkan metode Bhattacharya dan ELEFAN menyimpulkan bahwa parameter pertumbuhan yang paling sesuai adalah hasil perhitungan dari ELEFAN, karena ikan lemuru memiliki umur yang pendek.

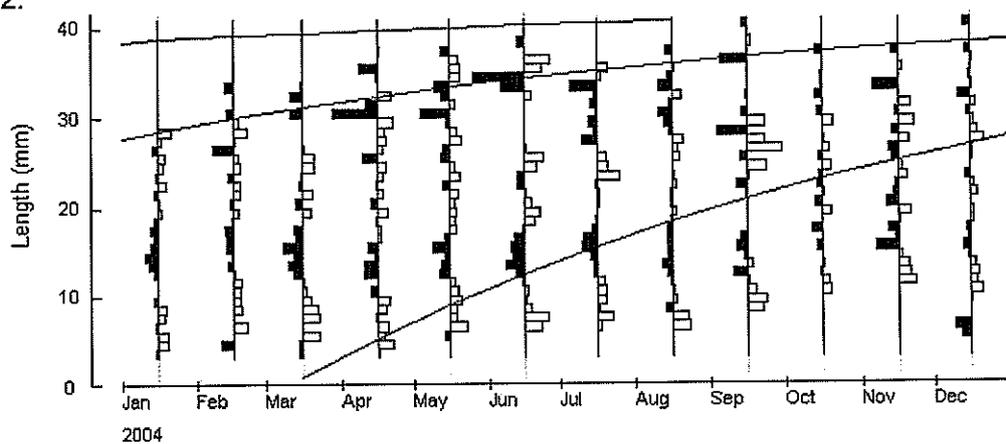
Pertumbuhan populasi udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan diasumsikan mengikuti pola / formula pertumbuhan Von Bertalanffy. Pengkajian parameter pertumbuhan populasi dianalisis berdasarkan data frekuensi panjang karapas, yang dikumpulkan mulai 4 Februari sampai dengan 27 Desember 2004 Analisis menggunakan alat bantu *Electronic Length Frequencys Analysis I* (ELEFAN I) yang dikemas dalam paket program FAO-ICLARM *Stock Assessment Tool* (FISAT) II.

3.6. Kegiatan Belajar 5: Panjang Infiniti (L_∞) dan Indek Kurva Pertumbuhan (K)

Banyak metode penentuan L_∞ misalnya yang dikemukakan Sparre dan Venema (1999), adalah panjang karapas 10 ekor yang terbesar. Berdasarkan

data frekuensi panjang selama penelitian diketahui bahwa panjang karapas 10 ekor terbesar adalah 37.5 mm. Penentuan dengan cara ini berdasarkan pemahaman bahwa setiap umur tertentu akan ada panjang rata-rata. Berdasarkan cara tersebut ternyata nilai L_{∞} lebih kecil dari panjang karapas maksimum (40.5 mm) udang yang terdapat dalam sampel. Nilai tersebut tidak dapat digunakan sebagai nilai dugaan awal dalam analisis menggunakan metode ELEFAN I. Jika menggunakan $L_{\infty} = \frac{L_{\max}}{0.95}$, diperoleh dugaan awal L_{∞} sebesar 42.62 mm udang betina dan gabungan) dan 39.38 mm (udang jantan). Nilai ini lebih rasional dan dapat digunakan sebagai nilai dugaan awal dalam perhitungan menggunakan ELEFAN untuk udang betina dan gabungan. Berdasarkan pendapat Mathew dan Samuel (1990) dan Merta (1992) sebagaimana diuraikan pada Bab II, serta berdasarkan kenyataan bahwa udang *M. elegans* termasuk berumur pendek (jangka hidup 1-2 tahun), maka metode ELEFAN lebih sesuai untuk pendugaan parameter pertumbuhan.

Berdasarkan analisis terhadap data frekuensi panjang menggunakan metode ELEFAN I diperoleh hasil sebagaimana disajikan Gambar 6 dan Tabel 2.



Gambar 6. Kurva pertumbuhan Von Bertalanffy *M. elegans* gabungan hasil analisis frekuensi panjang di perairan Segara Anakan ($L_{\infty} = 42,6$. $K = 1,3$ /tahun dan $t_0 = -0,017$ tahun)

Tabel 2. Parameter pertumbuhan udang *M. elegans* di Perairan Segara Anakan

Parameter	Gabungan	Jantan	Betina
L_{∞}	42.6	39.2	42.6
K	1.3	1.3	1.2
t_0	-0.017	-0.021	-0.033

Berdasarkan data tersebut persamaan pertumbuhan von Bertalanffy *M. elegans* adalah sebagai berikut :

***M. elegans* Gabungan**

$L_t = 42.6 (1 - e^{-1.3[t+0.017]})$ dalam panjang karapas dan

$W_t = 14.8 (1 - e^{-1.3[t+0.017]})^{2.19}$ dalam bobot.

***M. elegans* Jantan**

$L_t = 39.2 (1 - e^{-1.3[t+0.021]})$ dalam panjang karapas dan

$W_t = 13.1 (1 - e^{-1.3[t+0.021]})^{2.15}$ dalam bobot.

***M. elegans* Betina**

$L_t = 42.6 (1 - e^{-1.2[t+0.033]})$ dalam panjang karapas dan

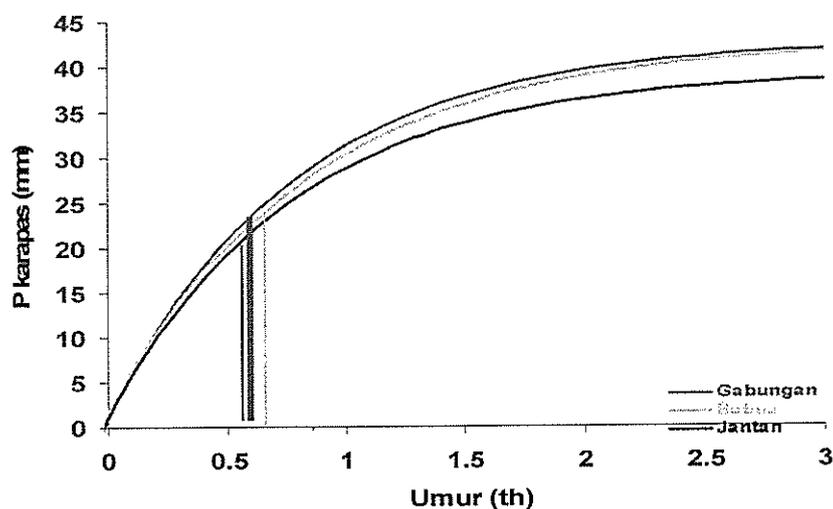
$W_t = 16.6 (1 - e^{-1.2[t+0.033]})^{2.21}$ dalam bobot.

Selanjutnya dapat disusun suatu kunci hubungan panjang karapas (mm) dengan umur (tahun), yaitu dengan memasukkan variasi nilai umur (t) (Tabel 3).

Tabel 3. Kunci hubungan panjang karapas (mm) dan bobot (gr) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan ($W = aL^b$)

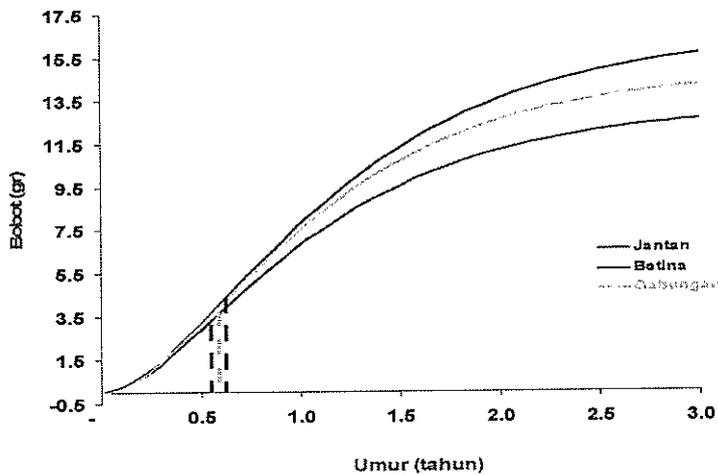
P Karapas (mm)	Bobot (gr)		
	Betina	Jantan	Gabungan
3	0.04	0.05	0.04
8	0.38	0.44	0.38
13	1.09	1.24	1.10
18	2.22	2.50	2.24
23	3.80	4.23	3.84
28	5.84	6.46	5.91
33	8.37	9.20	8.46
38	11.40	12.46	11.53
39	12.06	13.18	12.20
40	12.75	13.91	12.90

Berdasarkan kunci umur tersebut dapat dibuat suatu kurva pertumbuhan sebagaimana disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva pertumbuhan panjang *M. elegans* di perairan Segara Anakan

Dengan mengkonversi panjang ke dalam berat udang juga dapat diperoleh kurva pertumbuhan berat *M. elegans* (Gambar 8).



Gambar 8. Kurva pertumbuhan berat *M. elegans* di perairan Segara Anakan

3.7. Kegiatan Belajar 6: Umur Teoritis Saat Panjang Udang Nol (t_0)

Pauly (1978, 1979a dan b, 1984) yang disitir Merta (1992) berdasarkan pengalamannya menganalisis data frekuensi panjang mendapatkan suatu hubungan regresi berganda antara umur teoritis saat panjang udang nol (t_0) dengan panjang infinity (L_∞) dan K, yang kemudian dikenal sebagai rumus emperis Pauly :

$$\text{Log } -t_0 = -0,3952 - 0,2752 \log L_\infty - 1,038 \log K \dots\dots 27$$

Metode lain untuk menduga umur teoritis saat panjang udang nol (t_0) adalah dari plot von Bertalanffy (1934) sebagaimana disitir Sparre dan Venema (1998) dengan rumus :

$$t_0 = t_1 + 1/K * \ln (1-L_{t1}/ L_\infty) \dots\dots\dots 28$$

Umur teoritis pada saat panjang udang nol (t_0) diduga dengan menggunakan rumus emperis Pauly (1984) (Persamaan 27). Memasukkan nilai L_∞ dan K untuk masing-masing jenis, diperoleh nilai t_0 sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

3.8. Kegiatan Belajar 7: Penentuan Titik Perubahan Kecepatan Tumbuh (t_{tp})

Alverson dan Carney (1975) diacu oleh Merta (1992) mengenalkan suatu model terkait dengan umur saat kohort menghasilkan suatu biomassa maksimum, t_{tp} , dengan persamaan.

$$t_{tp} = (1/K) \ln \frac{M + 3K}{M} \dots\dots\dots 29$$

dimana t_{tp} adalah sama dengan t_{opt} . Hubungan empiris antara t_{opt} dan umur maksimum sebagaimana dijelaskan di atas, dengan mengganti nilai ke dalam model, suatu dugaan M dapat diperoleh. Titik t_{tp} adalah titik saat laju kecepatan tumbuh maksimum tercapai, dimana pada titik tersebut biomasa adalah maksimum (Merta 1992). Untuk memperoleh hasil tangkapan maksimum dan waktu yang cukup bagi organisme tersebut untuk memijah, maka seharusnya penangkapan dilakukan di belakang titik t_{tp} . Sentongo (1971) diacu dalam Merta (1992) menurunkan sebuah rumus untuk menentukan umur pada titik perubahan kecepatan tumbuh berdasarkan rumus von Bertalanffy (Merta 1992), sebagai berikut :

$$t_{mb} = \frac{1}{K} * \ln b + t_o \dots\dots\dots 30$$

Hasil perhitungan berdasarkan rumus $t_{tp} = (1/K) * \ln b + t_o$ (Persamaan 30) diperoleh nilai t_{mb} pada *M. elegans* sebagaimana disajikan pada Tabel 18.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Titik Perubahan Kecepatan Tumbuh *M. elegans*

	t_{tp}	Panjang pada saat t_{tp}	Bobot pada saat t_{tp}
Jantan	0.57	21	3.5
Betina	0.63	23.4	2.9
Gabungan	0.59	23.3	3.9

Berdasarkan hasil penelitian sebagaimana dipaparkan pada bab terdahulu bahwa *masa tinggal* satu kohort (kelompok ukuran) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan paling lama hanya dua sampai tiga bulan. Setelah itu akan digantikan oleh kohort berikutnya. Pendeknya masa tinggal tersebut mengindikasikan bahwa setiap terjadi penambahan baru udang *M. elegans* akan langsung tertangkap apung. Kondisi ini dikenal dengan istilah *knife-edge recruitment fishery*. Ukuran udang *M. elegans* gabungan pertama tertangkap apung (jantan dan betina) adalah 14.5 mm. Ukuran penambahan baru terkecil dengan modus panjang karapas 12.5 mm, terjadi pada bulan April dan Juni pada udang betina. Hal ini memperkuat dugaan bahwa udang betina pada umumnya lebih cepat tertangkap dibanding udang jantan. Kecilnya ukuran udang yang tertangkap oleh karena alat tangkap utama yang digunakan adalah apung dengan ukuran mata jaring pada kantong (*cod end*) sangat kecil (15 – 25 mm). Akibatnya udang yang tertangkap masih jauh dari biomas optimumnya. Biomas optimum udang *M. elegans* terjadi pada panjang karapas 23.2 mm, dengan bobot individu 3.9 gram. Fakta ini menunjukkan bahwa pemanfaatan udang *M. elegans* tidak optimum, dan cenderung terjadi pemborosan sumber daya. Berdasarkan fakta tersebut dapat diduga atau sebagai indikasi awal yang penting bahwa :

- 1) Laju eksploitasi *M. elegans* di perairan Segara Anakan sangat tinggi, sehingga sediaan alamiah satu kelompok umur 'habis' atau hanya tersisa sedikit dalam periode 1 – 3 bulan;
- 2) Kemampuan pulih *M. elegans* cukup tinggi atau cukup cepat, didukung oleh pola pemijahan sepanjang tahun, sehingga dalam periode 2-3 bulan telah tersedia kelompok rekrut baru.

Pertumbuhan udang *M. elegans* bersifat allometrik negatif, dimana $b < 3$, yang berarti penambahan panjang tidak secepat penambahan bobotnya. Berdasarkan kurva hubungan berat karapas dan panjang individu, terlihat bahwa penambahan panjang cepat pada udang kecil, sebaliknya penambahan bobot lambat. Pada udang besar, penambahan panjang melambat dan penambahan bobot semakin cepat. Berdasarkan sekitar 17 hasil penelitian yang dilakukan pada berbagai spesies udang di berbagai perairan tropis dan subtropis, terlihat jelas bahwa laju pertumbuhan udang *M. elegans* cenderung lebih cepat, kecuali spesies *Parapenaeus longipes* di Filipina (berdasarkan data Ingles 1960), *Penaeus setiferus* di Texas (berdasarkan data Anderson dan Linder 1971), dan *P. semisulcatus* di Manifa (Ye *et al.* 2003).

Nilai K udang *M. elegans* betina (1,2/tahun) lebih kecil dari K udang *M. elegans* jantan (1,3/tahun). K adalah indek kurva pertumbuhan Von Bertalanffy, yang menggambarkan waktu yang diperlukan untuk mencapai panjang L_{∞} . Apabila dibandingkan dengan penelitian Anderson dan Linder (1971) pada *Hymenopenaeus robustus* (K jantan = 0.39 dan K betina = 0.95), Ramamurthy (1965) pada *M. brevicornis* (K = 0.93), Rodriguez (1977) pada *P. kerathurus* (K jantan = 0.9 dan K betina = 0.8), Enin *et al.* (1996) pada *Nematopalaemon hustatus* (K = 0.62), Cha *et al.* (2002) pada *Penaeus chinensis* (K jantan = 0.45 dan K betina = 0.96) ternyata nilai K udang *M. elegans* lebih besar, kecuali *P. Chinensis*, spesies udang tersebut di atas umumnya mempunyai ukuran maksimum lebih kecil dari *M. elegans*. Nilai K yang relatif sama dengan hasil penelitian ini antara lain dilaporkan oleh Ramamurthy (1965) pada udang *M. kutchensis* di perairan India (K antara 1.05 – 1.2), Muhammed (1967) pada *M. affinis* di India (K = 1.20), dan Ingles (1980) pada udang *Parapenaeus longipes* di Filipina (K jantan = 1.4 dan K betina = 1.15). Spesies-spesies udang tersebut memiliki ukuran maksimum relatif sama dengan *M. elegans*. Nilai K yang lebih besar terjadi pada udang *Penaeus merguensis* dengan K = 1.62 (Naamin 1984), dan pada *P. semisulcatus* di berbagai perairan Afrika dengan variasi K dari 1.64 di perairan Kuwait sampai dengan 3.63 di perairan Manifa (Ye *et al.* 2003). Kedua spesies udang tersebut memiliki ukuran maksimum lebih besar dari *M. elegans*.

3.9. Daftar Pustaka/Acuan/Bacaan Anjuran

1. Walford, L.A. 1958. Living resources of the sea. The Ronald Frees Company. New York. 321p.
2. Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Manila. ICLARM Studies and Reviews 8: 325p.
3. Sanders, M.J. and Kedidi, S.M. 1983. Introduction to fish stock assessment. FAO. Suez RAB/81/002/MAN/3. 244p.
4. Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957 On the dynamics of the exploited fish populations. Academic Press. London. 516p.
5. Ricker, W.E. 1958. Handbook of computation for biological statistics of fish populations. Bulletin No. 119. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 300p.

6. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin 191. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 382p.
7. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 1. 337p.
8. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 2. 101p.
9. Longhurst, A. and D Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press. 407p.
- 10 King. 1996. Introduction to fisheries biology and stock assessment. Fishing News (Books). London.

POKOK BAHASAN III

MORTALITAS

1. TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM :

Setelah menyelesaikan kuliah ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan mengenai populasi ikan, sifat-sifat intrinsiknya dan faktor-faktor dinamikanya, seleksi alat tangkap, serta cara-cara estimasinya. Faktor-faktor luar (lingkungan) yang mempengaruhi dan pependugaan stock ikan dengan pendekatan analitik dan survey.

2. TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

Setelah mengikuti kuliah ini, mahasiswa mampu menjelaskan :

- a. Teori dan pengertian mortalitas total,
- b. Teori dan pengertian mortalitas alami,
- c. Teori dan pengertian mortalitas penangkapan,
- d. Cara-cara analisis dan estimasi mortalitas ikan berdasarkan data panjang dan berat ikan.

3. KEGIATAN BELAJAR

3.1. Kegiatan Belajar 1: Mortalitas Total

Informasi tentang laju mortalitas dalam suatu perikanan yang terekplotasi sangat penting untuk menganalisis dinamika suatu populasi (Gulland, 1955 disitir Widodo, 1991). Laju instantaneous mortalitas total, Z , dapat diestimasi dari pergeseran kelimpahan kelompok umur dan dari analisis kurva tangkapan menggunakan data frekuensi panjang. Beberapa metode pendugaan laju mortalitas total, akan dijelaskan dengan diikuti teladan hasil perhitungannya pada udang *M. elegans* di Segara Anakan.

a. Metode Kurva Tangkapan Berbasis Data Panjang

Pada umumnya analisis kurva tangkapan menggunakan data komposisi umur (Beverton dan Holt, 1956; Ricker, 1975). Estimasi laju mortalitas total, Z , metode kurva tangkapan mengasumsikan bahwa populasi memiliki struktur umur stabil. Penambahan baru diasumsikan stabil, dan laju mortalitas total sama untuk semua kelas umur, dan jumlah yang hidup (N_t) cenderung turun secara eksponensial dengan waktu atau umur (t), ditunjukkan dengan rumus :

$$\ln N_t = \ln N_0 - Zt \quad \dots\dots\dots 31$$

Pendugaan laju mortalitas total dapat diperoleh dengan memplotkan log natural data kelimpahan relatif kelas tahun (N_t) berurutan dengan umur (t). Mortalitas total diduga dari kurva yang menurun pada bagian kanan.

Metode ini kadang terkendala oleh karena data tentang umur ikan tropis sulit didapatkan, karena memerlukan waktu dan biaya yang besar. Gulland (1983) menyatakan bahwa data frekuensi panjang dapat digunakan sama dengan data frekuensi umur dalam metode kurva tangkapan. Dinyatakan selanjutnya bahwa pada prinsipnya umur dapat diduga dari panjang secara aljabar dengan menyusun kembali formula pertumbuhan Von Bertalanffy menjadi fungsi umur dari panjang (Gulland, 1969 disitir Widodo 1988). Prosedur perubahan data distribusi frekuensi panjang menjadi data kurva tangkapan struktur umur dijelaskan oleh Pauly (1983).

Pada persamaan kurva penangkapan berdasarkan umur di atas, jika N (kelimpahan) diganti dengan frekuensi panjang (F) antara l_1 dan l_2 , dan t menjadi umur antara interval kelas tengah, maka persamaannya menjadi :

$$\ln [F(l_1 - l_2)/dt] = \text{constant} - Zt(l_1 - l_2)/2, \quad \dots\dots\dots 32$$

atau lebih sederhana dapat ditulis sebagai

$$\ln [F/dt] = \text{constant} - Zt, \quad \dots\dots\dots 33$$

Kurva tangkapan berdasar panjang adalah plot antara $\ln (F/dt)$ dengan t , dimana F adalah jumlah individu pada masing-masing kelompok umur dan t adalah umur relatif. Nilai dt adalah waktu yang dibutuhkan untuk tumbuh dalam kelas panjang tertentu.

b. Metode Beverton dan Holt

Teknik kuosien Z/K dan modifikasinya dikembangkan oleh Beverton dan Holt (1956), Powell (1979) dan terakhir oleh Wetherall (1986) dan Weterall *et al* (1987). Validitas metode ini didasarkan pada asumsi bahwa sampel ikan diperoleh dari populasi yang stabil dengan penambahan baru dan laju mortalitas yang konstan serta mengikuti model pertumbuhan von Bertalanffy. Nilai Z/K dapat diduga jika nilai-nilai L_{∞} , l_c dan \hat{l} diketahui, dengan persamaan :

$$Z/K = \frac{L_{\infty} - \hat{l}}{\hat{l} - l_c} \dots\dots\dots 34$$

Atau jika l' diketahui dapat digunakan rumus :

$$Z = K [(L_{\infty} - \hat{l}) / (\hat{l} - l')] \dots\dots\dots 35$$

dimana :

K = indek kurva pertumbuhan von Bertalanffy

L_{∞} = panjang infiniti,

\hat{l} = rata-rata panjang karapas dalam kelompok umur tertentu,

l' = panjang karapas terkecil dalam sampel

l_c = panjang karapas udang pertama tertangkap alat.

c. Watherall plot

Rumus Z dari Beverton dan Holt dapat juga digunakan dalam suatu plot regresi untuk menduga Z/K dan L_{∞} (Watherall 1986 ; Watherall *et al* 1987 yang disitir King 1995). Versi modifikasi persamaan ini (Pauly 1986 yang disitir King, 1995) menunjukkan bahwa nilai $(\hat{l} - l')$ dapat diplot berlawanan dengan l' , sebagai garis lurus :

$$\hat{l} - l' = a + bl' \dots\dots\dots 36$$

Berdasarkan persamaan garis regresi tersebut, Z/K diduga dari slop (b)

$$Z/K = -(1 + b)/b \dots\dots\dots 37$$

Sedangkan $L_{\infty} = -a/b$, dan K diperoleh dengan *modal progression analysis*.

3.2. Kegiatan Belajar 2: Mortalitas Alami

Mortalitas alami dapat terjadi karena berbagai sebab, seperti penyakit, parasit, karena tua, pencemaran, persaingan dan pemangsa. Garcia (1988) mengemukakan bahwa rata-rata laju mortalitas alami (M) udang penaid adalah $2,4 \pm 0,3$ per tahun untuk udang dewasa. Sluczanowski, (1984) yang disitir oleh Garcia (1988) mendapatkan nilai M udang *P. latisulcatus* sebesar 1,6 per tahun. Besar kecilnya angka mortalitas alami sangat dipengaruhi oleh perubahan musim dan pemangsa. Pengkajian mortalitas alami udang pada tahap juvenil di perairan estuaria, dikemukakan oleh Garcia (1988) masih sangat jarang dilakukan. Doi (1981) yang disitir oleh Garcia (1988) menemukan M pada juvenil sebesar 1,18 per bulan untuk udang *P. japonicus*.

Mortalitas alami diperlukan dalam model analitik yang dirancang untuk menganalisis hasil tangkapan, untuk menduga ukuran populasi yang dieksploitasi (Ricker, 1975). Laju mortalitas alami dapat diduga menggunakan pendekatan empiris sebagaimana dijelaskan oleh Alverson dan Carney (1975) dan Pauly (1980). Laju mortalitas penangkapan (F) dapat diduga dengan mengurangi Z dengan M.

a. Rumus Emperis Pauly

Pauly (1979, 1980, 1984) menunjukkan adanya pengaruh suhu tahunan terhadap laju mortalitas ikan, berdasarkan pengamatan emperisnya. Pauly kemudian merumuskan hubungan emperis antara laju mortalitas alami dengan suhu rata-rata tahunan (T), yang dikenal rumus emperis Pauly, sebagai berikut.

$$\log M = -0,0066 - 0,279 \log L_{\infty} + 0,6543 \log K + 0,4634 \log T \dots\dots\dots 38$$

L_{∞} adalah panjang infiniti (cm), M dan K per tahun dan T temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$).

Menurut Merta (1990) penerapan rumus tersebut terhadap suatu kelompok ikan tropis mungkin akan memberikan nilai dugaan yang bias, terutama ikan-ikan pelagis yang membentuk gerombolan yang sangat padat. Pada Famili Clupeidea nilai dugaan M yang diperoleh umumnya lebih besar (*over-estimated*). Untuk hal itu maka nilai dugaan yang diperoleh perlu dikoreksi dengan mengalikannya dengan 0,8.

b. Metode Richter dan Efanov.

Metode ini disusun berdasarkan bukti adanya hubungan antara M dengan T_{m50} yaitu umur saat 50% dari populasi adalah matang gonad atau disebut juga *the age of massive maturation* (Sparre *et al.*, 1989 sebagaimana dikutip Merta (1990), dengan persamaan :

$$M = \frac{1,521}{(T_{m50})^{0,720}} - 0,155 \text{ per tahun} \dots\dots\dots 39$$

Richter dan Efanov (1976) yang dikutip Garcia dan Le Reste (1981) mengusulkan nilai T_{m50} disamakan dengan t_{opt} , yaitu umur optimum, umur pada saat biomass dari suatu kelompok umur adalah maksimum. Jika demikian maka persamaan Beverton dan Holt dalam Garcia dan Le Reste (1981) yang dikutip Merta (1990) untuk menghitung L_{opt} untuk ikan yang pertumbuhannya isometrik adalah :

$$L_{opt} = \frac{3 L_{\infty}}{3 + M/K} \dots\dots\dots 40$$

Bagi ikan atau udang yang pertumbuhannya allometrik, Kutty dan Qasim (1968) yang dikutip Garcia dan Le Reste (1981) memberikan persamaan sebagai berikut (Merta, 1990)

$$M = \frac{n.K}{e^{K(t_{opt} - t_0)} - 1} \dots\dots\dots 41$$

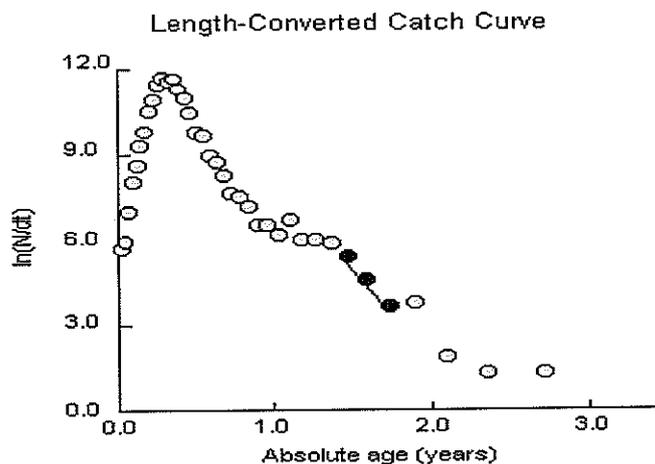
3.3. Kegiatan Belajar 3: Mortalitas Penangkapan

Mortalitas penangkapan dapat diperoleh setelah diketahui Z dan M dari persamaan $Z = F + M$. Mortalitas penangkapan (F) udang pada perikanan yang telah berkembang (tangkapan dan upaya telah stabil untuk periode waktu yang lama), diperoleh nilai F sebesar $1,6 \pm 0,3$ per tahun (Garcia (1988). Lucas *et al.*, (1979) yang disitir Garcia (1988) mendapatkan nilai F pada upaya penangkapan udang *P. merguensis* di Teluk Carpentaria Australia sebesar 0,9-1,4 per bulan

atau sama dengan 10,8-16,8 per tahun, dengan asumsi upaya penangkapan konstan sepanjang tahun.

Laju kematian total *M. elegans* dikaji dengan metode kurva hasil tangkapan yang dikonversi ke panjang (*length-converted catch curve*) menggunakan program ELEFAN II (Persamaan 32). Variabel yang digunakan adalah variabel dari udang *M. elegans* gabungan (jantan dan betina), yaitu $L_{\infty} = 42.6$ mm, $K = 1.3$ /tahun dan $t_0 = -0.017$ tahun). Hasil analisis menggunakan program Fisat diperoleh kurva sebagaimana disajikan pada Gambar 9.

Berdasarkan data tersebut diperoleh laju mortalitas total (Z) sebesar 8,19/tahun, dengan rentang kepercayaan 95% berkisar antara 6,05 – 10,34/tahun. Laju mortalitas total (Z) pada udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan yaitu sebesar 8.19/tahun. Nilai Z tersebut dapat dikategorikan tinggi. Nilai Z yang tinggi juga dilaporkan Naamin (1984) pada *P. merguensis* di perairan Arafura sebesar 10.96/tahun.



Gambar 9. Kurva tangkapan yang dikonversi ke panjang untuk menduga nilai Z, dengan $L_{\infty} = 42.53$ mm, $K = 1.1$ /tahun dan $t_0 = -0.05239$ tahun

Pauly *et al* (1980) mendapatkan nilai Z pada *Trachypenaeus fulvus* sebesar 4.59/tahun (udang betina) dan 5.9/tahun (udang jantan), pada *Parapenaeus longipes* sebesar 3.83/tahun. Enin (1996) mendapatkan Z pada *Nematopalaemon hastatus* di pantai Baratdaya Nigeria sebesar 5.61/tahun. Suman (1996) mendapatkan nilai Z pada udang *Parapenaopsis sculptilis* sebesar

3.05/tahun di perairan Bagan Siapi-api. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa laju mortalitas total udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan relatif tinggi dibanding spesies udang dari berbagai penelitian tersebut, kecuali dibanding *P. merguensis* di perairan Arafuran dan Carpentaria (Australia). Secara umum mortalitas disebabkan oleh sebab alami (M) dan akibat penangkapan (F).

Laju mortalitas alami udang *M. elegans* diduga dengan menggunakan rumus Richter dan Evanov (Pers. 41). Berdasarkan tabel kunci umur diketahui bahwa $T_{m50\%}$ diperoleh sebesar 0.94 tahun, sehingga nilai M diperoleh sebesar 1.43/tahun.

Laju kematian alami (M) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan sebesar 1.43 per tahun. Meskipun Pauly (1983) menyebutkan angka 1.5 termasuk besar, namun angka ini lebih kecil dari berbagai hasil penelitian pada udang penaid di daerah tropis maupun sub tropis. Garcia (1988) mengemukakan bahwa rata-rata laju mortalitas alami (M) udang penaid adalah 2.4 ± 0.3 per tahun untuk udang dewasa. Laju mortalitas alami (M) *Metapenaeus brevicornis* di India sebesar 2.46/tahun (jantan), dan 2.55/tahun (betina), spesies *M. kutchensis* sebesar 2.2/tahun (Ramamurty, 1965). Mohammed (1967) hasil penelitiannya di perairan lepas Versoba India mendapatkan nilai M pada *M. affinis* sebesar 2.29/tahun. Ingles (1980) berdasarkan penelitiannya di perairan Laut Visayan Filipina mendapatkan nilai M pada udang *Metapenaopsis durus* sebesar 2.21/tahun dan pada *Parapenaeus longipes* sebesar 2.79/tahun. Berdasarkan hal tersebut menunjukkan bahwa laju mortalitas alami udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan relatif kecil dibanding dengan berbagai spesies udang lain yang diteliti di berbagai perairan. Kecilnya laju mortalitas alami pada udang *M. elegans* mengindikasikan bahwa udang *M. elegans* memang merupakan spesies yang mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penangkapan pada daerah yang memiliki salinitas rendah (saat musim penghujan, salinitas dapat mencapai 0 ‰) udang *M. elegans* tetap diperoleh hasil tangkapan yang cukup banyak.

Nilai F (laju kematian karena penangkapan) dapat diperoleh dengan rumus $F = Z - M$, sehingga nilai F adalah 6,76/tahun.

Laju mortalitas penangkapan (F) udang *M. elegans* diperoleh rata-rata per tahun sebesar 6.68/tahun. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perikanan udang

M. elegans di Segara Anakan sudah sangat intensif. Pada perikanan yang telah berkembang (tangkapan dan upaya telah stabil untuk periode waktu yang lama), diperoleh nilai F sebesar 1.6 ± 0.3 per tahun (Garcia 1988). Ingles (1980) di perairan Laut Visayan Filipina mendapatkan nilai F pada udang *Metapenaopsis* durus sebesar 1.07/tahun dan *Parapenaeus longipes* sebesar 1.04/tahun. Perikanan udang di perairan tersebut disebutkan sebagai perikanan yang belum diusahakan secara intensif, hanya secara insidental dilakukan penangkapan bersama perikanan demersal. Laju mortalitas penangkapan (F) *Metapenaeus brevicornis* di India sebesar 0.57/tahun (jantan), dan betina sebesar 0.64/tahun, sedangkan spesies *M. kutchensis* sebesar 4.16/tahun (Ramamurty 1965). Mohammed (1967) di perairan lepas Versoba India mendapatkan nilai laju kematian penangkapan (F) *M. affinis* sebesar 3/tahun. F yang tinggi dilaporkan Lucas et al. (1979) yang disitir Garcia (1988) pada udang *P. merguensis* di Teluk Carpentaria Australia sebesar 0.9-1.4 per bulan atau sama dengan 10,8-16,8 per tahun, dengan asumsi upaya penangkapan konstan sepanjang tahun. Naamin (1984) mendapatkan nilai F pada *P. merguensis* di perairan Arafura sebesar 8.99/tahun. Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa laju kematian penangkapan (F) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan lebih tinggi dari berbagai spesies udang penaid di berbagai perairan tropis dan sub tropis, kecuali *P. merguensis* di Teluk Carpentaria dan perairan Arafura yang relatif lebih tinggi. Berdasarkan uraian tersebut terlihat bahwa tingginya nilai Z udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan disebabkan oleh tingginya nilai F (mortalitas penangkapan). Tingginya nilai F mencerminkan tingginya upaya penangkapan, karena $F = qf$, dimana f adalah upaya (trip) dan q adalah koefisien daya tangkap.

3.4. Daftar Pustaka/Acuan/Bacaan Anjuran

1. Walford, L.A. 1958. Living resources of the sea. The Ronald Frees Company. New York. 321p.
2. Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Manila. ICLARM Studies and Reviews 8: 325p.
3. Sanders, M.J. and Kedidi, S.M. 1983. Introduction to fish stock assessment. FAO. Suez RAB/81/002/MAN/3. 244p.

4. Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957 On the dynamics of the exploited fish populations. Academic Press. London. 516p.
5. Ricker, W.E. 1958. Handbook of computation for biological statistics of fish populations. Bulletin No. 119. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 300p.
6. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin 191. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 382p.
7. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 1. 337p.
8. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 2. 101p.
9. Longhurst, A. and D Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press. 407p.
- 10 King. 1996. Introduction to fisheries biology and stock assessment. Fishing News (Books). London.

POKOK BAHASAN 4

PENAMBAHAN BARU (REKRUITMEN) DAN FAKTOR SELEKSI ALAT TANGKAP

1. TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM :

Setelah menyelesaikan kuliah ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan mengenai populasi ikan, sifat-sifat intrinsiknya dan faktor-faktor dinamikanya, seleksi alat tangkap, serta cara-cara estimasinya. Faktor-faktor luar (lingkungan) yang mempengaruhi dan pependugaan stock ikan dengan pendekatan analitik dan survey.

2. TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

Setelah mengikuti kuliah ini mahasiswa diharapkan mampu :

- a. Menjelaskan pengertian dan konsep rekrutmen,
- b. Menjelaskan pengertian dan konsep seleksi alat tangkap
- c. Memahami dan menerapkan cara-cara analisis rekrutmen
- d. Memahami dan menerapkan cara-cara analisis seleksi alat tangkap

3. KEGIATAN BELAJAR

3.1. Kegiatan Belajar 1: Rekrutment

Rekrutmen diartikan sebagai penambahan baru ke dalam stok perikanan (Effendie, 1997). Stok adalah kelompok ukuran ikan (atau udang) yang tersedia pada waktu tertentu sehingga dapat tertangkap oleh alat tangkap. Selanjutnya dinyatakan bahwa masuknya sediaan/stok dari luar wilayah perikanan ke dalam suatu stok perikanan (rekrut) yang sedang dieksploitasi tersebut berasal dari hasil reproduksi yang telah mencapai ukuran stok. Oleh karenanya faktor penentu besarnya penambahan baru adalah jumlah induk yang siap memijah dan mortalitas pada rentang waktu antara pemijahan sampai dengan udang mencapai ukuran stok (mortalitas prerekrutmen). Ford dan St Amant (1971)

yang disitir Garcia (1988) mengemukakan bahwa keberhasilan penambahan baru lebih ditentukan oleh kondisi lingkungan saat kedatangan kohort pascalarva pada *nursery ground*, dibandingkan besarnya kelimpahan larva yang dihasilkan saat pemijahan. Selanjutnya dikemukakan bahwa terdapat pengaruh jangka panjang terhadap hasil tangkapan dari kegiatan reklamasi, penebangan mangrove, pencemaran dan sebagainya. Pada udang, Garcia (1988) mengemukakan terdapat empat tahapan penambahan baru, yaitu :

- a. Kelompok penambahan baru pertama, berupa masuknya pascalarva ke dalam estuaria dan pada daerah perairan yang dangkal. Pascalarva sebagai stok dieksploitasi sebagai benih untuk budidaya udang.
- b. Kelompok penambahan baru kedua, ketika populasi udang mencapai ukuran komersial pertama di perairan pantai. Sebagai suatu stok ukuran komersial pertama, mereka ditangkap dengan *push nets*, *beach seine* dan sebagainya.
- c. Kelompok penambahan baru ketiga, ketika populasi udang meninggalkan estuaria menuju laut untuk migrasi, mereka dieksploitasi menggunakan *weirs*, *stake net*, *channel net*, *tidal bag nets* dan sebagainya.
- d. Kelompok penambahan baru keempat, ketika populasi udang telah rekrut ke dalam perikanan industri (trawl) di laut.

Fase penambahan baru yang terakhir tersebut merupakan gabungan dari kelompok udang yang menjelang dewasa dari luar daerah penangkapan yang terlindung dari usaha penangkapan (seperti karena adanya hutan mangrove) di perairan pantai, dan bagian kelompok udang yang lolos dari penangkapan di pantai oleh karena faktor seleksi mata jaring.

Pengaruh mortalitas pre-rekrutmen dapat dibedakan menjadi mortalitas yang tidak terkait dengan kepadatan (*density independent*) dan mortalitas yang terkait dengan kepadatan (*density dependent*). Perubahan kualitas air dan penangkapan merupakan penyebab yang tidak terkait dengan kepadatan.

Keterkaitan antara stok dewasa dengan kelompok penambahan baru, yaitu antara jumlah pemijah dan yang akan menjadi penambahan baru, dijelaskan oleh Ricker (1975) dalam hubungannya dengan pertumbuhan populasi sebagai berikut :

- a) Bila tidak ada pemijahan, maka tidak ada rekrutmen.
- b) Setiap populasi mempunyai kapasitas untuk tumbuh, kecuali yang akan punah.

- c) Suatu populasi jumlahnya terbatas, karena adanya faktor alam yang dapat menambah laju mortalitas, sehingga menghambat pertumbuhan populasi tersebut.

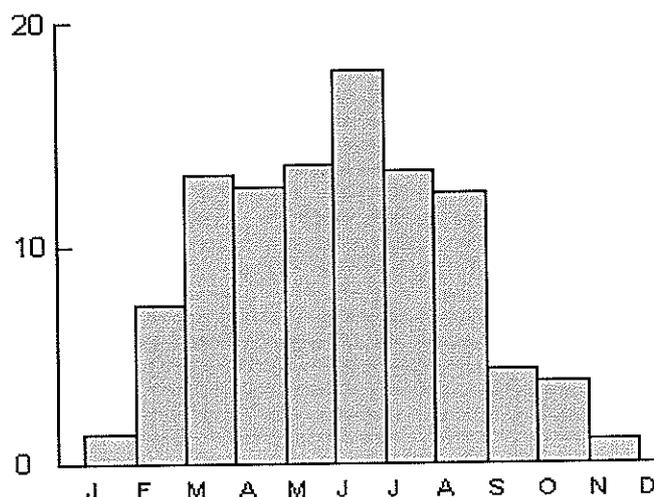
Menurut Dall *et al.*, (1990) penambahan baru dan pemijahan krustasea di daerah musim empat (dan juga tropis) umumnya bimodal, terjadi dua kali puncak dalam setahun, meskipun pada musim penghujan dan suhu rendah, suatu generasi sering lebih dominan dari generasi lainnya di perairan pantai. Garcia (1985, 1988) berdasarkan penelitiannya terhadap *Penaeus notialis* di Afrika menyetujui pola bimodal tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa generasi hasil pemijahan musim panas sebagian kecil akan matang pada enam bulan kemudian dan menyumbang stok pada musim dingin. Waktu antara periode pemijahan dari induk utama dan pemijahan utama dari generasi berikutnya (hasil pemijahan induk utama) dalam satu tahun disebut sebagai *generation time* (Garcia, 1988). Rothlesberg *et al* (1985) menunjukkan bahwa *P. merguensis* di Teluk Carpentaria penambahan baru utama berasal dari puncak pemijahan musim semi. Sebagian besar dari penambahan baru tersebut matang dan memijah, menghasilkan populasi telur dan larva yang banyak pada musim gugur. Sebagian besar dari telur dan larva yang bertahan hidup akan memberikan kontribusi pada stok pada perikanan lepas pantai pada musim semi berikutnya. Dengan demikian terdapat dua periode pemijahan, namun karena berbagai tekanan lingkungan, hanya satu generasi yang memberikan kontribusi nyata terhadap populasi dewasa. Dall *et al* (1990) menjelaskan bahwa pemijahan musim semi lebih besar dan lebih konsisten daripada musim gugur, sebagaimana ditunjukkan hasil penelitian pada *P. notialis* Garcia (1977), dan *P. indicus* (Le Reste, 1978). Selanjutnya Dall *et al* (1990) menjelaskan bahwa hal ini berkaitan dengan ketersediaan fitoplankton yang lebih melimpah pada saat musim semi, sebagai makanan utama larva dan juvenil udang tersebut. Juvenil juga diuntungkan dengan tingginya suhu pada saat musim semi di perairan dangkal *nursery ground*-nya. Oleh karenanya maka pada musim semi penambahan baru dominan. Garcia (1985) sebagaimana disitir Dall *et al* (1990) juga menyatakan bahwa ketika terjadi pemijahan yang besar pada musim gugur maka akan terjadi rekrutmen yang besar pada musim semi berikutnya. Contoh tipe ini terjadi pada *P. semisultaus* dan *M. affinis* di Kuwait dan *P. notialis* di Senegal Utara. Selanjutnya Dall *et al* (1990) menyitir Mathew *et al* (1987)

menyebutkan bahwa penambahan baru utama yang terjadi pada musim semi berasal dari pemijahan kecil (*minor*) musim gugur.

Pola rekrutmen udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan berdasarkan data frekuensi panjang dianalisis dengan program ELEFAN II. Prosentase bulanan penambahan baru disajikan dalam Tabel 19 dan Gambar 45. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa rekrut terjadi hampir sepanjang tahun, dengan penambahan baru yang tertinggi terjadi pada bulan Juni (17.86%), disusul Mei (13.51%) dan Juli (13.34 %).

Tabel 5. Proporsi bulanan penambahan baru udang *M. elegans* betina di perairan Segara Anakan

Bulan (2004)	Proporsi (%)
Januari	1.42
Februari	7.33
Maret	12.93
April	12.42
Mei	13.51
Juni	17.86
Juli	13.34
Agustus	12.24
September	4.25
Oktober	3.65
November	1.06
Desember	0



Gambar 10. Pola penambahan baru tahunan udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan.

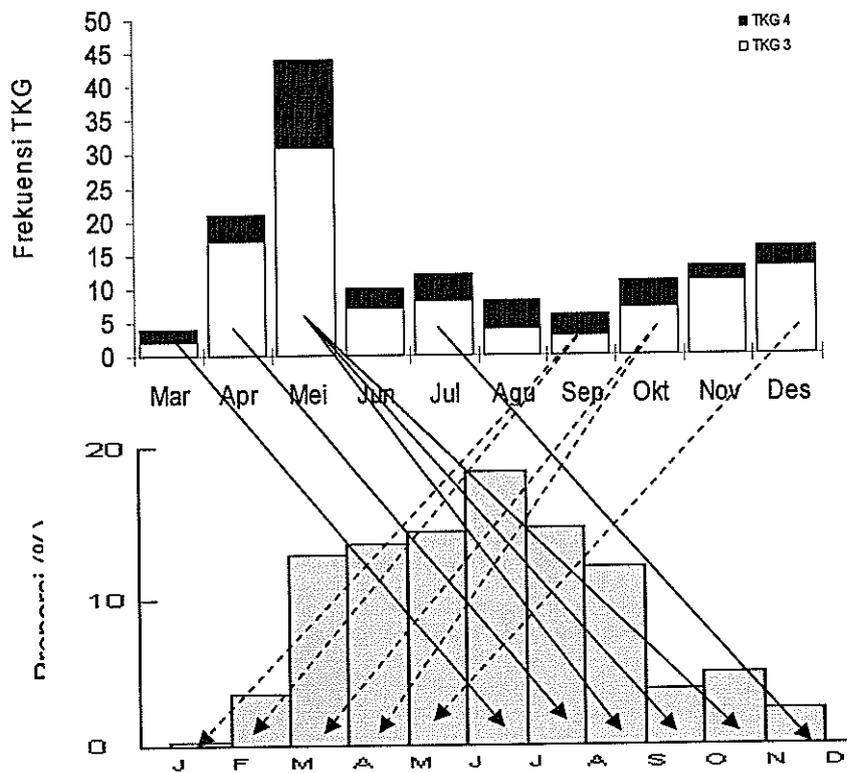
3.2. Kegiatan Belajar 2: Pola Hubungan Pemijahan dan Penambahan Baru

Penambahan baru udang *M. elegans* terjadi sepanjang tahun, dengan musim pemijahan terjadi pada bulan Mei sampai dengan Agustus dan puncaknya pada bulan Juni. Panjang karapas pada rekrut bulan Mei adalah 14.5 mm, Juni adalah 14.5 mm, bulan Juli 16.5 mm dan Agustus 14.5 mm. Berdasarkan kunci umur, ke empatnya berturut-turut mempunyai umur 3.9 bulan, 3.9 bulan, 4.7 bulan dan 3.9 bulan. Hal ini berarti rekrut pada bulan Juli diduga berasal dari pemijahan bulan Maret, sedangkan rekrut bulan Agustus diduga berasal dari hasil pemijahan bulan April ditambah sisa rekrut bulan Juli, dan pemijahan bulan Mei akan menghasilkan rekrut bulan Agustus, September dan Oktober. Berdasarkan fakta tersebut menunjukkan bahwa pemijahan bulan Maret yang relatif kecil menghasilkan rekrut besar pada bulan Juni. Hal ini diduga karena mortalitas pre-rekrut antara Maret sampai Mei relatif rendah. Pada masa tersebut adalah musim pancaroba, sehingga kondisi perairan relatif stabil. Pada puncak pemijahan utama bulan Mei juga memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap penambahan baru pada bulan Agustus, September dan Oktober. Hal ini karena larva hasil pemijahan Mei Rekrut pada bulan Juni dan Juli yang lolos dari penangkapan akan menjadi induk matang gonad pada bulan Desember, namun jumlahnya relatif sedikit. Sedikitnya jumlah induk matang gonad pada bulan Desember karena pada saat itu kondisi perairan kurang mendukung. Keketukan dan salinitas perairan pada saat itu relatif kurang stabil karena pengaruh massa air tawar dan material lumpur dari daratan. Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa pada musim pancaroba I (Maret-Mei) perairan paling menguntungkan bagi udang *M. elegans*, karena perairan pada saat itu stabil dan masih tersedia massa air tawar yang cukup. Kondisi tersebut nampaknya paling sesuai untuk pascalarva sampai dengan udang muda untuk tumbuh.

Pemijahan pada puncak bulan Desember yang relatif kecil akan menghasilkan penambahan baru yang kecil pula. Hasil pemijahan bulan Desember akan menyumbang penambahan baru pada bulan April/Mei dan memberikan kontribusi sekitar 27.78 % dari total penambahan baru. Meskipun jumlah rekrut relatif kecil, namun akan menghasilkan induk matang gonad yang relatif banyak dan akan memijah pada bulan April/Mei tahun berikutnya.

Pola hubungan pemijahan dan penambahan baru pada udang *M. elegans* tersebut terdapat kesesuaian dengan berbagai spesies penaid lain, sebagaimana dikemukakan Garcia (1985, 1988); Rothlesberg et al. (1985) dan Dall et al. (1990).

Garcia (1985, 1988) berdasarkan penelitiannya pada *Penaeus notialis* di Senegal Selatan Afrika menunjukkan bahwa generasi hasil pemijahan musim semi yang sedikit akan matang pada 6 bulan kemudian dan menyumbang stok musim gugur. Rothlesberg et al. (1985) menunjukkan bahwa *P. merguensis* di Teluk Carpentaria penambahan baru utama (mayor) berasal dari puncak pemijahan musim semi. Sebagian besar dari penambahan baru tersebut matang dan memijah, menghasilkan populasi telur dan larva yang banyak pada musim gugur. Croccos dan Van der Velde (1985) disitir oleh Dall et al. (1990) menjelaskan keterkaitan pemijahan bimodal dengan penambahan baru pada udang *Penaeus semisulcatus* di Teluk Albatros Selat Carpentaria Australia. Dijelaskan bahwa induk dewasa pada musim semi (Agustus – November) memijah menghasilkan populasi udang pada perairan lepas pantai pada musim panas (November – Januari). Populasi tersebut sebagian kecil akan matang gonad pada umur 6 bulan dan memijah pada akhir musim panas ke musim gugur (Januari-Maret). Sebagian besar yang lain akan memijah pada musim semi (Agustus - November) saat berumur 12 bulan. Induk betina hasil pemijahan Desember-Januari akan menghasilkan populasi bulan Mei-Juni dan sebagian akan memijah pada bulan Agustus-November (musim semi) pada umur 6 bulan. Dall et al. (1990) menjelaskan bahwa besarnya penambahan baru pada musim semi (pada perairan subtropis) berkaitan dengan ketersediaan fitoplankton yang lebih melimpah sebagai makanan utama larva dan juvenil udang. Raymond dan Lin (1994) juga menyatakan bahwa keberhasilan sintasan dan perkembangan larva menjadi penambahan baru sangat dipengaruhi kondisi lingkungan seperti ketersediaan makanan untuk juvenil planktonis. Selanjutnya dijelaskan bahwa juvenil juga diuntungkan dengan relatif tingginya suhu pada saat musim semi di perairan dangkal nursery ground-nya. Oleh karenanya maka pada musim gugur berikutnya penambahan baru menjadi dominan karena tingginya sintasan dari larva dan juvenil. Pada penelitian ini penambahan baru yang besar terjadi pada musim pancaroba dan awal musim kemarau, yaitu bulan Mei, Juni, Juli dan Agustus. Pada massa tersebut perairan relatif stabil dan makanan alami bagi larva planktonis cukup tersedia, sehingga sintasan pre-rekrut tinggi. Hal tersebut juga didukung oleh data hasil tangkapan, dimana CPUE pada bulan Mei - Juli paling tinggi. Pola hubungan antara pemijahan dan rekrutmen disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pola hubungan antara pemijahan dan penambahan baru.

3.3. Kegiatan Belajar 3: Ukuran Udang Saat Pertamakali Tertangkap Alat

Ukuran udang saat pertama kali tertangkap alat penting diketahui karena ada kaitannya dengan pengelolaan. Ada dua metode untuk mengetahui ukuran rata-rata pertama kali tertangkap alat. Pertama, dengan memplotkan prosentase frekuensi kumulatif ikan/udang matang telur dengan ukuran panjang karapas, kemudian dihitung menggunakan model logistik standar, sebagai berikut. :

$$y(\%) = (1 + ae^{b x_i})^{-1} \dots\dots\dots 10$$

Dimana : a adalah konstanta, b adalah slope, dan xi adalah panjang karapas. Panjang karapas pertama kali matang (l_m) sering disebut juga sebagai panjang karapas 50% matang.

Cara kedua adalah menggunakan metode Spearman-Kärber sebagaimana sering digunakan dalam menentukan letal dosis (LD_{50}), sebagaimana diusulkan Udupa (1986). Metode statistik untuk menduga (LD_{50}) menggunakan persamaan Spearman-Kärber telah dikembangkan oleh Finney

(1971) sebagaimana disitir Widodo (1991). Dengan menggunakan persamaan tersebut, logaritma l_m dapat diestimasi sebagai :

$$\text{Log } l_m = x_k + d/2 - d \sum p_i \dots\dots\dots 11$$

$d = x_{i+1} - x_i$ untuk $i = 1, 2, 3 \dots, k-i$; x_i = logaritme kelas tengah kelompok panjang karapas, $i = 1, 2, \dots, k$; x_k = logaritme nilai tengah panjang karapas dimana udang 100% matang gonad (atau dimana $p_i = 1$), n_i = jumlah udang pada kelompok panjang karapas ke- i ; r_i = jumlah udang matang pada kelompok panjang ke- i ; $p_i = r_i/n_i$; $q_i = 1 - p_i$. Mengantilogkan persamaan di atas, l_m dapat diduga. Selang kepercayaan 95 % dihitung dengan rumus :

$$\text{Antilog } (m \pm 1,96 \sqrt{x^2 \sum_i \frac{(p_i \cdot q_i)}{(n_i - 1)}}) \dots\dots\dots 12$$

Dimana, $q_i = 1 - p_i$

n_i = jumlah contoh ke i

a. Contoh aplikasi pada Udang *M. elegans*

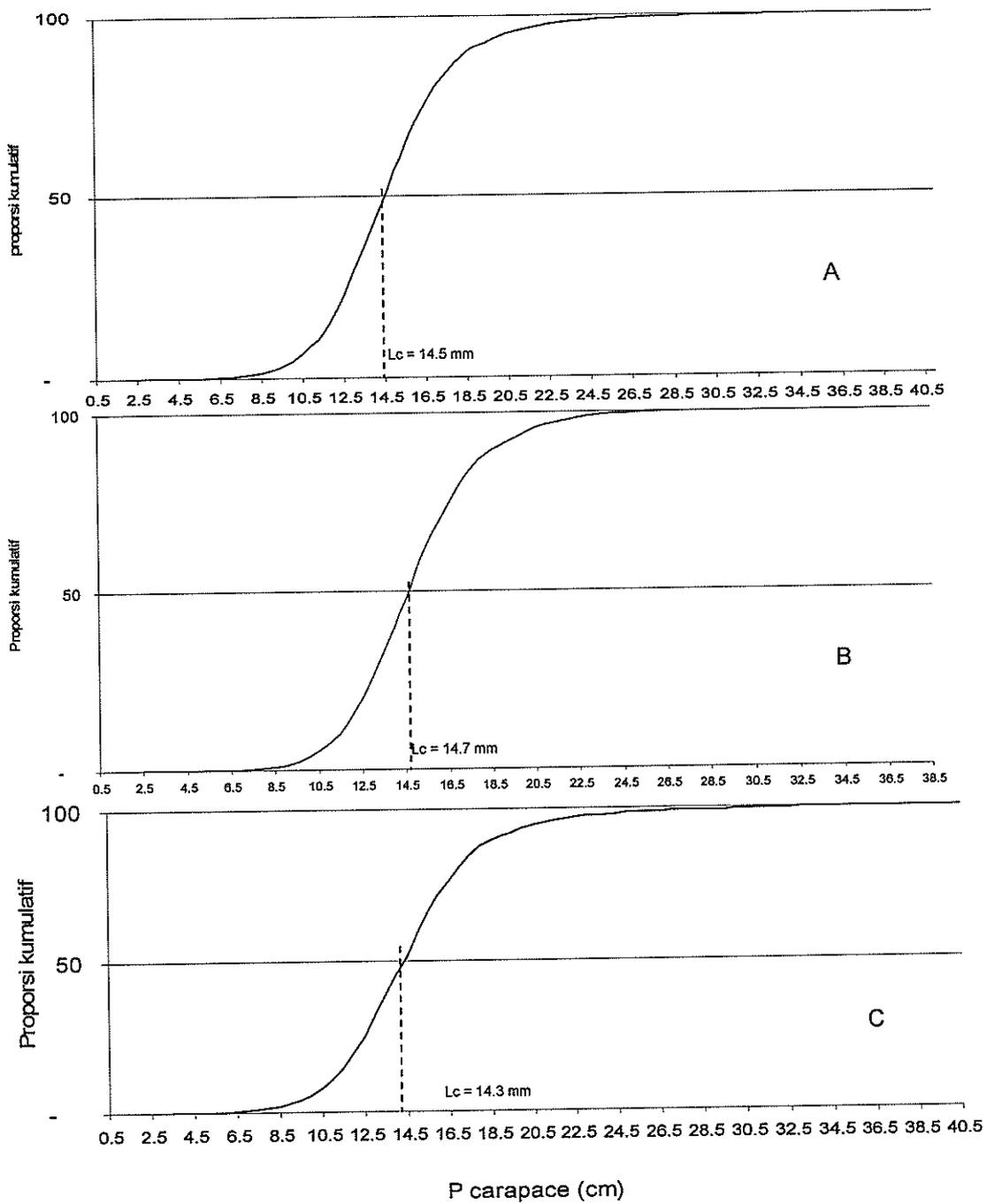
Perhitungan menggunakan data gabungan menunjukkan bahwa ukuran panjang karapas (mm) rata-rata pertama kali tertangkap apung adalah 14,5 mm (Gambar 12). Pada panjang karapas tersebut udang *M. elegans* rata-rata mempunyai bobot 1,4 gram.

a. Udang *M. elegans* Jantan

Ukuran panjang karapas udang jantan rata-rata pertama kali tertangkap apung (L_c) adalah 14,7 mm (Gambar 12-B). Pada panjang karapas tersebut udang *M. elegans* jantan rata-rata mempunyai bobot 1,6 gram.

b. Udang *M. elegans* Betina

Panjang karapas rata-rata pertama kali tertangkap apung adalah 14.3 mm (Gambar 12-C). Udang *M. elegans* betina pada panjang tersebut mempunyai bobot 1.44 gram. Berdasarkan hal tersebut terlihat bahwa udang betina tertangkap pada ukuran yang lebih kecil dibanding udang jantan, dengan pernyataan lain udang betina lebih cepat tertangkap.



Gambar 12. Ukuran rata-rata panjang karapas (mm) *M. elegans* pertama tertangkap apung di perairan Segara Anakan (a : gabungan, b : jantan, c : betina).

POKOK BAHASAN 5

ANALISIS STOK MODEL ANALITIK

1. TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM :

Setelah menyelesaikan kuliah ini mahasiswa diharapkan akan mampu menjelaskan mengenai populasi ikan, sifat-sifat intrinsiknya dan faktor-faktor dinamikanya, seleksi alat tangkap, serta cara-cara estimasinya. Faktor-faktor luar (lingkungan) yang mempengaruhi dan pendugaan stock ikan dengan pendekatan analitik dan survey.

2. TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

- a. Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip-prinsip pendugaan stock dengan metoda analitik
- b. Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip-prinsip pendugaan stock dengan metode survey
- c. Mahasiswa mampu menjelaskan prinsip-prinsip pendugaan stock dengan metode surplus production model
- d. Mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan esensi materi kuliah Dinamika Populasi

3. KEGIATAN BELAJAR

3.1. Kegiatan Belajar 1: Pengertian Stok

Stok adalah suatu kelompok organisme dari suatu spesies yang mempunyai karakteristik (parameter stok) yang sama dan menempati suatu daerah geografis tertentu. Parameter stok adalah berbagai indikator dari mortalitas dan keragaan fisiologis, misalnya pertumbuhan badan (Spare *et al.*, 1989). Pada prinsipnya suatu stok adalah kelompok ikan atau udang yang batas geografis persebarannya dapat ditentukan, demikian pula kegiatan perikanan (armada penangkapan) yang mengeksploitasi kelompok ikan atau udang tersebut. Stok harus berasal dari suatu ras yang sama dalam suatu spesies yang sama. Cushing (1968) yang disitir Spare *et al.* (1989) memberikan

definisi stok sebagai ikan yang mempunyai tempat memijah tertentu dan ikan-ikan dewasa kembali dari tahun ke tahun. Selanjutnya dikemukakan bahwa Larkin (1972) mendefinisikan stok sebagai suatu populasi organisme yang mempunyai kumpulan gen yang sama yang menjamin sebagai suatu sistem yang secara mandiri dapat berkelanjutan. Sifat khusus dari suatu stok adalah bahwa parameter populasi tetap sama di seluruh daerah penyebarannya. Ihseen *et al.* (1981) mendefinisikan stok sebagai suatu kelompok *interspesifik* dari individu-individu yang berhubungan secara acak dalam kesatuan menyeluruh menurut waktu dan ruang. Ricker (1975) menjelaskan stok sebagai bagian dari populasi yang berada di bawah pertimbangan pandangan dalam pemanfaatannya, baik secara aktual maupun potensial. Sedangkan Gulland (1983) untuk keperluan pengelolaan menjelaskan bahwa Sekelompok atau suatu sub kelompok individu dari suatu spesies dapat diperlakukan sebagai satu stok jika perbedaan-perbedaan dalam kelompok tersebut dan "percampuran" dengan kelompok lain dapat diabaikan tanpa membuat kesimpulan yang keliru.

Secara umum Rothchild (1989) mengemukakan model yang digunakan untuk pengkajian stok udang dan ikan dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar, yaitu (1) model baku perikanan (*standart fisheries model*) dan (2) model non baku perikanan. Model baku perikanan dapat dikelompokkan lagi menjadi 3, yaitu (a) model produksi, (b) model analitik, dan (c) model stok dan penambahan baru (Y/R).

Gulland (1974) mengelompokkan menjadi dua dilihat dari cara pandang terhadap populasi ikan. *Pertama*, model-model yang memperlakukan populasi sebagai satu satuan tanpa memperhitungkan strukturnya (komposisi umur dan sebagainya). *Kedua*, menganggap populasi sebagai kumpulan dari individu-individu anggotanya, sehingga dikaitkan dengan laju pertumbuhan dan mortalitas dari individu anggotanya. Model yang masuk kelompok pertama misalnya model surplus produksi dari Schaefer (1954, 1957) yang merupakan pengembangan dari model Graham (1939), *model dynamic pool* dari Wicker (1948, 1958), Beverton dan Holt (1957).

Model analitik sering pula dikenal sebagai Beverton and Holt dan model Ricker, yaitu suatu model yang mempertimbangkan lebih mendalam beberapa bagian parameter populasi (Asbar, 1994). Model ini lebih banyak memerlukan data mengenai parameter pertumbuhan, rekrutmen dan mortalitas. Model yang

banyak digunakan pada akhir-akhir ini adalah model *yield-per-rekrut* (Y/R), yang selanjutnya disebut sebagai hasil per penambahan baru. King (1995) menyatakan bahwa model Y/R adalah memeriksa "trade off" antara menangkap ikan yang masih muda dalam jumlah banyak dan menangkap ikan yang lebih sedikit jumlahnya tetapi lebih besar ukurannya. Asumsi model adalah bahwa stok dalam keadaan berimbang, yakni *yield* total dalam satu tahun dari semua kelompok umur (semua kohort semu, *pseudo cohort*) adalah sama dengan *yield* yang dihasilkan oleh suatu kohort tunggal selama daur hidupnya (King, 1995; Sparre dan Venema, 1999). Secara lebih sederhana, Gulland (1983) menyatakan bahwa Y/R adalah *yiled* rata-rata yang dapat diharapkan dari ikan secara individu yang mencapai ukuran yang dapat ditangkap, dengan pola penangkapan tertentu (jumlah upaya total dan selektifitasnya).

3.2. Kegiatan Belajar 2: Analisis Kohort dan *Virtual Population Analysis* (VPA)

Analisis Kohort dan analisis populasi virtual adalah suatu analisis dari hasil-hasil tangkapan dari perikanan komersial yang diperoleh melalui statistik perikanan (Sparre dan Venema, 1999). Pada awalnya model ini berbasis umur, namun kemudian dikembangkan juga untuk analisis berbasis data frekuensi panjang. Data hasil tangkapan digabung dengan informasi yang rinci tentang penyebaran dari setiap kohort pada hasil tangkapan, yang biasanya diperoleh melalui penarikan contoh dan pengukuran frekuensi panjang. Selanjutnya dijelaskan bahwa ide di balik metode ini adalah menganalisis apa yang dapat diukur, hasil tangkapan, dengan maksud untuk menghitung populasi yang seharusnya ada di perairan untuk menghasilkan suatu hasil tangkapan tersebut. Apabila mortalitas alami (M) dapat diduga, maka dapat dilakukan perhitungan mundur dan mendapatkan berapa banyak ikan yang masuk ke dalam kohort yang hidup pada tahun demi tahun dan berapa banyak rekrut yang ada (Sparre dan Venema, 1999). Oleh karenanya VPA melihat suatu populasi dalam suatu perspektif sejarah. Selanjutnya dijelaskan bahwa dengan diketahuinya sejarah populasi, maka akan menjadi lebih mudah untuk memprediksi hasil-hasil tangkapan di masa depan.

Analisis kohort secara konsepsi identik dengan VPA, hanya perhitungannya lebih mudah (Sparre dan Venema, 1998). Apabila hasil

tangkapan pada setiap kelas ukuran panjang (C_{L_1, L_2}) dapat diketahui dari suatu pengambilan contoh, maka dapat dihitung jumlah populasi pada awal masuknya kelompok ukuran dalam suatu rekrut (N_{L_1}). Sparre dan Venema (1999) menjelaskan perhitungan mundur dapat dimulai dengan membuat dugaan awal dari nilai F/Z (laju eksploitasi) pada kelompok umur terakhir, berdasarkan persamaan hasil tangkapan :

$$C(t_1-t_2) = N(t_1) * F/Z * [1 - \exp(-Z * \Delta t)] \dots\dots\dots 42$$

Dimana :

$C(t_1-t_2)$ = jumlah tangkapan pada kelompok umur t_1-t_2

$N(t_1)$ = jumlah udang yang mencapai umur t_1

F = Laju mortalitas penangkapan

Z = Laju mortalitas total

Δt = waktu dari t_1 ke t_2 .

Jumlah populasi pada tahun pertama yang masuk ke dalam kohort awal (pensitas) hanya mengalami mortalitas alami saja, sehingga jumlah populasi yang hidup pada pertengahan tahun adalah $N(y, t+0,5) = N(y, t) * \exp(-M/2)$. Kemudian dalam sekejap hasil tangkapan yang diambil dan jumlah pensitas menjadi : $N(y, t) * \exp(-M/2) - C(y, t, t+1)$.

Jumlah pensitas tersebut hanya mengalami mortalitas alami dalam setengah tahun ke dua dan akhirnya jumlah pensitas pada akhir tahun adalah :

$$N(y, t) = [N(y+1, t+1) * \exp(M/2) - C(y, t, t+1)] * \exp(M/2) \dots\dots 43$$

Pada analisis VPA berbasis panjang, kelompok ukuran panjang dapat dikonversi ke dalam interval umur berdasarkan persamaan von Bertalanffy, sehingga umur relatif dan Δt dapat diketahui. Untuk mengkonversi analisis kohort berbasis umur ke menjadi berbasis ukuran, maka $\exp(M * \Delta t / 2)$ harus diubah, dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \exp(M/2 * \Delta t) &= \exp\{M/2 * 1/K * \ln[(L_\infty - L_1)/(L_\infty - L_2)]^{M/2K}\} \\ &= [(L_\infty - L_1)/(L_\infty - L_2)]^{M/2K} \dots\dots\dots 44 \end{aligned}$$

Sparre dan Venema (1998) selanjutnya menyatakan bahwa persamaan 44 dapat ditulis kembali dengan menggunakan simbol-simbol berbasis panjang, menjadi :

$$N(L_1) = [N(L_2) * H(L_1, L_2) + C(L_1, L_2)] * H(L_1, L_2) \dots\dots\dots 45$$

Dimana :

$N(L_1)$ = jumlah udang yang mencapai panjang L_1 (disebut juga pensitas).

$N(L_2)$ = jumlah ikan yang mencapai panjang L_2

$H(L_1, L_2)$ = bagian dari $N(L_1)$ yang berhasil mengatasi kematian alami selama periode waktu $t(L_1)$ sampai $t(L_1) + \Delta t/2$

$C(L_1, L_2)$ = jumlah ikan yang tertangkap antara panjang L_1 dan L_1

Perhitungan jumlah udang rata-rata di laut dilakukan dengan dengan persamaan berikut (Sparre dan Venema (1998) :

$$\check{N}(L_1, L_2) * \Delta t = [(N(L_1) - N(L_2)) / 2] \dots\dots\dots 46$$

Dimana

$\check{N}(L_1, L_2) * \Delta t$ = jumlah rata-rata tahunan dalam setiap kelas panjang

Dengan cara yang sama biomass rata-rata tahunan dalam setiap kelompok panjang dapat dihitung dengan cara mengalikannya dengan bobot rata-rata dalam kelompok panjang tersebut.

$$\bar{B}(L_1, L_2) * \Delta t = [(\check{N}(L_1, L_2)) * \Delta t * \bar{w}(L_1, L_2)] \dots\dots\dots 47$$

Dimana :

$\bar{B}(L_1, L_2) * \Delta t$ = biomass rata-rata tahunan dalam setiap kelompok panjang

$\bar{w}(L_1, L_2)$ = bobot individu rata-rata udang dihitung berdasarkan hubungan panjang-berat, = $a * [(L_1 + L_2)/2]^b$

Bobot hasil tangkapan setiap kelompok ukuran dapat diduga berdasarkan rumus ;

$$Y(L_1, L_2) = \sum C(L_i, L_{i+1}) * \bar{w}(L_{i+1}) \dots\dots\dots 48$$

3.3. Kegiatan Belajar 3: Analisis Kohort

Berdasarkan data frekuensi panjang karapas dan bobot setiap kelompok ukuran, yang diperoleh dari berbagai stasiun pengamatan dan data produksi harian yang dicatat secara langsung selama setahun penelitian, melalui prosedur konversi mengalikan dengan *raising factor*, diperoleh data awal berupa jumlah udang per kelompok panjang karapas untuk untuk masing-masing daerah

pengamatan. Data tersebut sebagai masukan bagi analisis kohort dan VPA. Pada dasarnya pendaratan hasil tangkapan total dari suatu kohort selama hidupnya adalah dugaan pertama jumlah rekrut dari kohort tersebut (Sparred dan Venema 1999). Namun dugaan tersebut merupakan dugaan yang rendah karena adanya sejumlah ikan yang mati karena sebab-sebab alami. Oleh sebab itu apabila dapat diketahui laju kematian alami (M) maka dapat dilakukan perhitungan mundur dan mendapatkan jumlah udang yang masuk ke dalam kohort dan hidup bulan demi bulan, dan berapa jumlah rekrut yang ada dapat diduga. Asumsi pada model ini adalah bahwa mortalitas setiap kelompok panjang tidaklah konstan. Hasil analisis kohort dan populasi virtual disajikan pada Tabel 6.

Mortalitas penangkapan terbesar terjadi pada udang *M. elegans* kelompok panjang karapas 13.5 – 18.5 mm ($F = 3.24$), sedangkan terkecil pada kelompok panjang 3.5 – 8.5 mm ($F = 0.01$). Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa jumlah udang yang berhasil mencapai ukuran panjang karapas 3.5 mm

Tabel 6. Hasil analisis kohort dan VPA (virtual population analysis) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan

Kelas panjang karapas (mm)	Hasil tangkapan (ind)	Δt	Umur relatif (t_{L1})	Jumlah pensitas N_{L1} (ind)	Mati tangkap (F)	Faktor mortalitas alami (H_{L1-L2})	Laju eksploitasi (F/Z)	Mortalitas total (Z)
3.5-8.5	643.656	0.12	0.03	196 554 781	0.01	1.08	0.01	1.44
8.5-13.5	21.680.869	0.14	0.15	146 583 227	0.98	1.09	0.39	2.41
13.5-18.5	56.471.842	0.17	0.30	91 241 052	3.24	1.11	0.83	4.67
18.5-23.5	14.228.907	0.21	0.47	23 243 003	2.51	1.14	0.80	3.94
23.5-28.5	2.546.686	0.28	0.68	5 476 662	1.29	1.18	0.69	2.72
28.5-33.5	754.090	0.40	0.96	1 766 965	0.76	1.27	0.59	2.19
33.5-38.5	274.900	0.74	1.36	498 835	0.59	1.55	0.59	2.02
38.5 - ∞	15.108	0.63	2.10	30 216	0.65	-	0.50	2.08

(selanjutnya disebut sebagai pesintas) sebanyak 196 554 781 ekor. Hal tersebut dapat juga dikemukakan bahwa selama tahun 2004 jumlah udang *M. elegans* yang berukuran 3.5 mm adalah 196 554 781 ekor. Jumlah tersebut dieksploitasi sepanjang tahun 2004 dan menghasilkan produksi udang *M. elegans* sebesar 168 ton. Nilai produksi udang *M. elegans* pada tahun 2004 tersebut berdasarkan perhitungan adalah sebesar Rp.1 726 744 150.00.

3.4. Kegiatan Belajar 4: Model Hasil per Penambahan Baru (Y/R)

Secara matematis model hasil per penambahan baru (Y/R) terdiri atas persamaan yang menyatakan hasil dari suatu kelas ukuran atau umur udang atau populasi tunggal, sebagai fungsi parameter pertumbuhan dan kematian :

$$dY/dt = F_t N_t W_t \dots \dots \dots 49$$

dimana :
Y = hasil

F_t = laju kematian penangkapan pada waktu t;

N_t = banyaknya udang pada waktu t

W_t = bobot udang pada waktu t

Memasukkan persamaan pertumbuhan von Bertalanffy ke dalam persamaan hasil dari Beverton dan Holt (1957), persamaan menjadi :

$$Y = \sum_{t=0}^n U_n e^{-nK(t-t_0)} \cdot W_{\infty} \sum_{t=0}^n \frac{F + M + nK}{(1 - e^{-(F+M+nK)(t-t_0)})} \cdot (e^{-t} - e^{-t_0}) \dots 50$$

Apabila t_a (umur udang pada waktu keluar dari perikanan) cukup besar, maka suku terakhir dari persamaan tersebut dapat diabaikan, sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi :

$$Y = \sum_{t=0}^n U_n e^{-nK(t-t_0)} \cdot W_{\infty} \sum_{t=0}^n \frac{F + M + nK}{\dots} \dots 51$$

Jika keadaan perikanan dalam keadaan sangat tereksplorasi, dimana setiap terjadi penambahan baru yang masuk perikanan langsung tertangkap oleh

alat yang beroperasi (*knife-edge recruitment fisheries*), maka $t_c = t_r$, sehingga persamaan dapat disederhanakan menjadi lebih sederhana,

$$\frac{Y}{R} = F \cdot W_{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{U_n \cdot e^{-nK(t_c-t_0)}}{F + M + nK} \quad \dots\dots\dots 52$$

Persamaan tersebut juga dapat ditulis dalam bentuk yang lain, sehingga memudahkan dalam perhitungan, sebagai:

$$\frac{Y}{R} = F \cdot W_{\infty} \left[\frac{1}{Z} + \frac{3S}{Z+K} + \frac{3S^2}{Z+2K} + \frac{S^3}{Z+3K} \right] \quad \dots\dots\dots 53$$

dimana

$$S = e^{-K(t_c-t_0)}$$

K = indeks kurva pertumbuhan dari von Bertalanffy

t_0 = umur teoritis pada waktu panjang udang = 0

t_c = umur pada waktu udang pertama tertangkap alat

t_r = umur pada waktu udang masuk perikanan (rekrut)

F = laju kematian penangkapan

M = laju kematian alami

Z = laju kematian total = $F + M$

Parameter yang dapat dikendalikan adalah F dan t_c , sedangkan parameter lain bersifat alamiah. Oleh karenanya model hasil per penambahan baru dianggap sebagai fungsi dari F dan t_c .

Beverton (1963) melakukan pengembangan dengan melakukan reparameterisasi terhadap model yang awal (sebelumnya), sehingga hasil per penambahan baru menjadi tanpa satuan, dan persamaannya adalah :

$$y = \left(\frac{Y}{RW_{\infty}} \right) = E \sum_{n=0}^{\infty} \frac{U_n \cdot (1-c)^n}{1 + \left(\frac{nK}{M} \right) (1-E)} \quad \dots\dots\dots 54$$

dimana :

y = hasil per penambahan baru tanpa satuan.

E = laju eksploitasi

M = laju mortalitas alami

c = rasio panjang rata-rata pertama tertangkap dan panjang infiniti ($L_c - L_\infty$)

K , L_∞ dan t_0 adalah parameter pertumbuhan von Bertalanffy

Y = hasil tangkapan

R = kelimpahan pada kelompok umur L_c

U_n = adalah koefisien sumasi, diambil nilai 1, -3, 3, -1 untuk $n = 0, 1, 2, 3$.

Untuk mengkaji pengaruh perubahan L_c terhadap hasil per penambahan baru reparameterisasi dibuat oleh Beverton dan Holt (1966) sebagai berikut :

$$Y' = \left[\frac{Y}{R} \right]' = \frac{Y}{N(t_0) W_\infty} = (1-c)^{M/K} Y \quad \dots\dots\dots 55$$

dimana :

$N(t_0)$ = jumlah kohort yang ada pada umur t_0

Untuk mempermudah perhitungan, persamaan tersebut dapat ditulis dengan cara lain menjadi :

$$(Y/R)' = E \cdot U^{M/K} * \left(1 - \frac{3U}{1+m} + \frac{3U^2}{1+2m} + \frac{U^3}{1+3m} \right) \quad \dots\dots 56$$

dimana : $m = K/Z$

$$U = 1 - L_c/L_\infty$$

$$E = F/Z$$

Hasil relatif (Y') merupakan fungsi dari laju eksploitasi (E), U ($1 - L_c/L_\infty$) dan M/K . Dua parameter pertama, yaitu E dan c dapat dikendalikan, sedangkan M/K hanya parameter biologi yang dibutuhkan dalam analisis. Model ini dapat digunakan untuk menentukan kombinasi optimum dari jumlah upaya penangkapan (diukur dengan laju mortalitas penangkapan, F), dan umur atau ukuran saat pertama kali tertangkap (L_c), yang akan menghasilkan hasil tangkapan maksimum berkelanjutan (*maximum sustainable yield*).

Pada perikanan yang sudah dilakukan pengelolaan dengan benar, maka ikan atau udang muda yang baru rekrut pada waktu t_r , setelah beberapa saat, baru akan tertangkap oleh alat tangkap yang beroperasi ketika ikan/udang

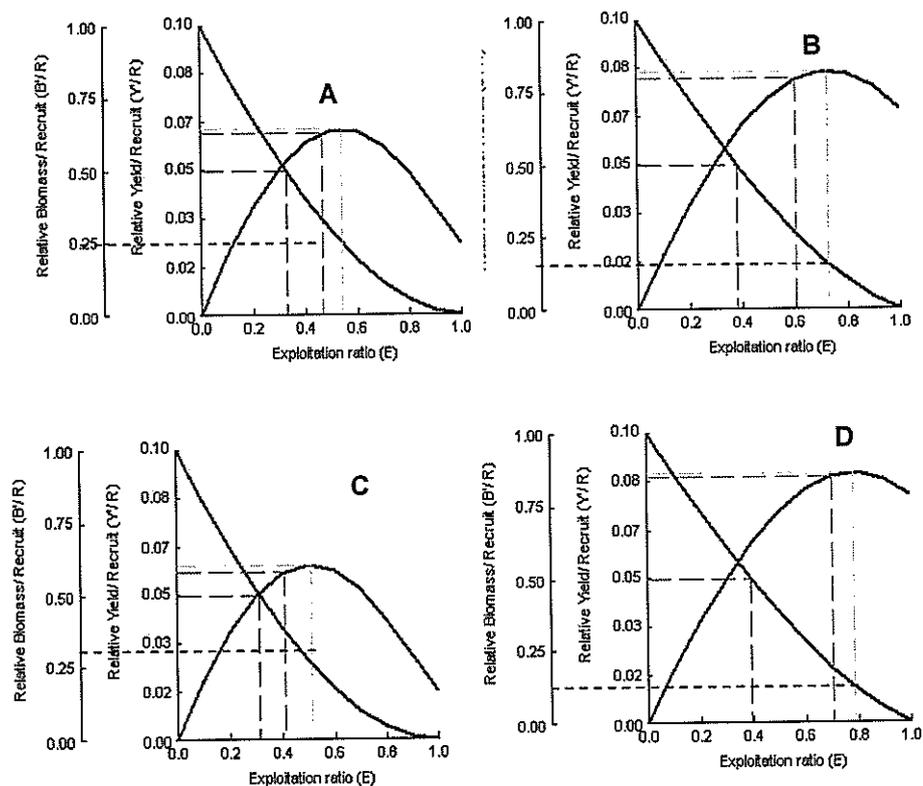
berumur t_c (Merta 1992). Pada perikanan di perairan Segara Anakan kondisi pengelolaannya tidak berjalan dengan baik. Indikasi tersebut dapat dilihat dari jenis dan jumlah alat tangkap yang beroperasi, dimana alat tangkap apung yang merupakan alat tangkap utama udang *M. elegans* berkembang tanpa kendali, memiliki ukuran mata jaring pada kantongnya sangat kecil (15 – 26 mm), sehingga setiap terjadi penambahan baru, udang langsung tertangkap apung atau $t_r = t_c$. Sparre dan Venema (1999) menyebutkan perikanan yang demikian sebagai *knife-edge fishery*. Jumlah udang *M. elegans* muda yang memasuki perikanan di perairan Segara Anakan tidak diketahui, sehingga besarnya penambahan baru diduga dengan hasil relatif, yaitu hasil per penambahan baru (*Yield per Recruit, Y/R*) dan *biomassa per rekrut, B/R*. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah model Beverton dan Holt (1966), yang merupakan reparameterisasi dari metode sebelumnya (Beverton dan Holt 1957). Pada metode ini *Y/R* dan biomassa rata-rata per rekrut relatif yang diperoleh adalah nilai tanpa satuan (indek relatif). Widodo (1988) menyatakan bahwa metode $\frac{Y'}{R}$ dapat digunakan untuk menentukan kombinasi optimum antara upaya penangkapan dan ukuran udang pertama tertangkap yang akan memperoleh hasil tangkapan maksimum berkelanjutan (MSY). Variabel yang diperlukan dalam analisis ini disajikan pada Tabel 7.

Parameter tersebut di atas yang dapat dikendalikan oleh pengelolaan adalah F (laju kematian penangkapan) dan L_c (ukuran udang pertama tertangkap). Upaya pengelolaan dilakukan dengan mengatur besar kecilnya jumlah alat yang beroperasi dan ukuran mata jaring.

Tabel 7. Variabel yang diperlukan dalam perhitungan *Y/R*

Parameter	Rata-rata
L_∞ (mm)	42,620
K (per tahun)	1,300
Z (per tahun)	8,190
M (per tahun)	1,430
F (per tahun)	6,760
E (per tahun)	0,830
L_c (mm)	14,500
t_b (tahun)	-0,017

Pengaturan jumlah upaya tangkap akan berimplikasi pada besar kecilnya mortalitas alami (F), sedangkan pengaturan mata jaring dan/atau pengaturan musim penangkapan akan berimplikasi pada besar kecilnya L_c . Berdasarkan analisis hasil per penambahan baru relatif $\left(\frac{Y'}{R}\right)$ menggunakan rumus Beverton dan Holt (1966) (Persamaan 55) untuk kondisi perikanan udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan yang *knife edge recruitment fisheries* ($t_r = t_c$) diperoleh hasil sebagaimana disajikan pada Gambar 10.



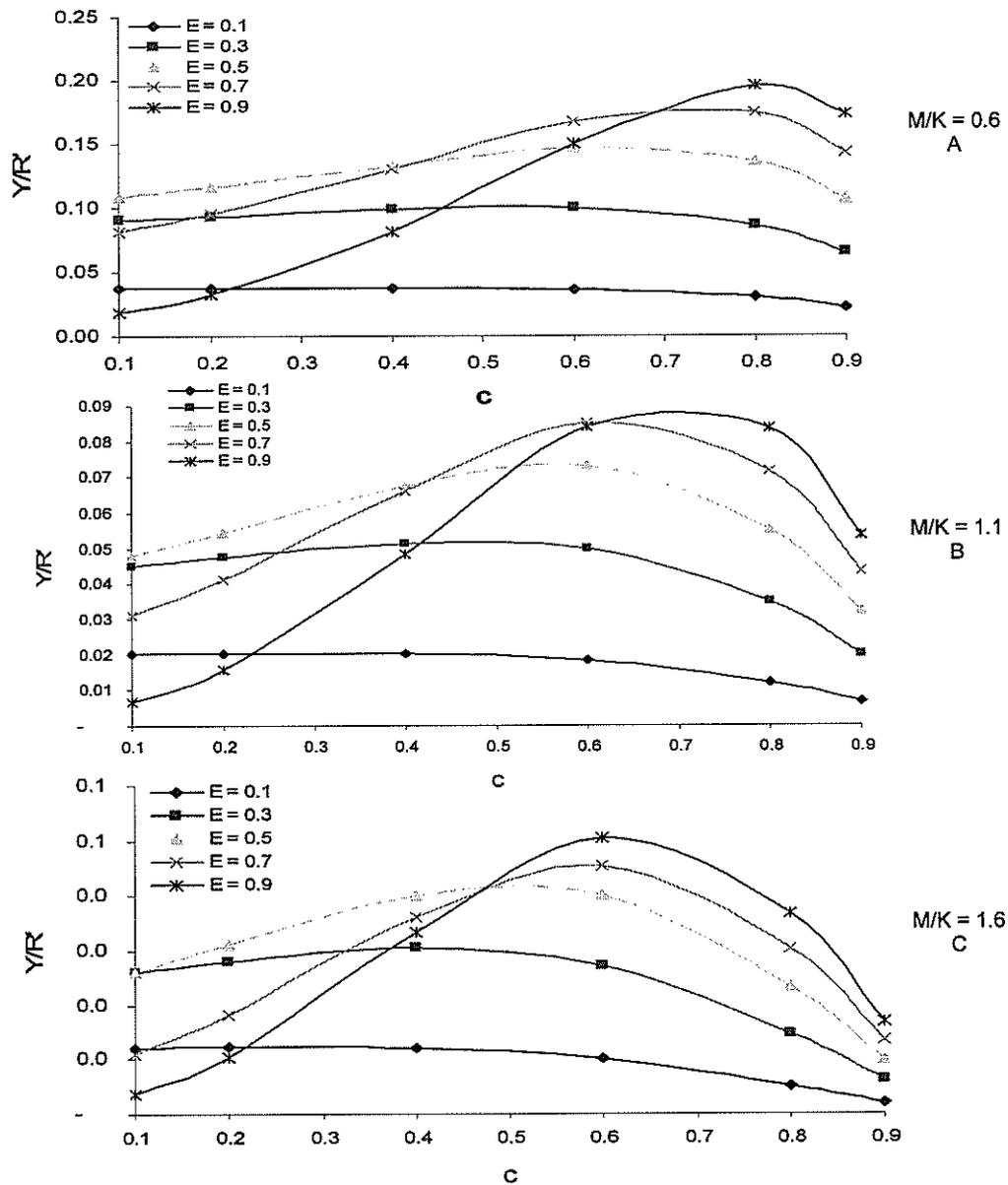
Gambar 13. Hubungan antara laju eksploitasi dengan Y'/R dan biomassa per penambahan baru relatif.

Pada L_c sebesar 14,5 mm (kondisi saat sekarang - Gambar 13-A), laju eksploitasi maksimum (E_{max}) yaitu laju eksploitasi yang menghasilkan Y'/R maksimum adalah 0.54 per tahun, besarnya Y'/R maksimum atau MSY relatif sebesar 0.067. Laju eksploitasi pada $E_{0.1}$ sebesar 0.47 per tahun dan laju

eksploitasi pada $E_{0.5}$ sebesar 0.33 per tahun. Biomassa per rekrut pada saat E_{max} adalah sebesar 0.24 atau 24 % dari biomassa virgin (biomassa awal, biomassa jika tidak ada penangkapan).

Apabila L_c menjadi sebesar 23.3 mm (Gambar 13-B), yaitu pada ukuran saat terjadinya perubahan kecepatan tumbuh, maka MSY relatif bertambah sebesar 18 % menjadi sebesar 0.079 dan E_{max} bertambah menjadi 0.73 / tahun, sedangkan biomassa rata-rata per rekrut relatif turun menjadi 14% dari B_v . Apabila ukuran udang *M. elegans* yang pertama tertangkap (L_c) adalah 25.5 mm (Gambar 13-D), maka MSY relatif akan bertambah sebesar 6% menjadi sebesar 0.083 dengan E_{msy} sebesar 0.79 / tahun dan biomassa rata-rata per rekrut relatif turun sedikit menjadi 12% dari B_v . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ukuran dari 23.3 mm menjadi 25.5 mm penambahannya terhadap produksi dan penurunannya terhadap biomassa yang dimanfaatkan relatif kecil. Sebaliknya jika L_c diturunkan menjadi sebesar 12.5 mm, maka MSY relatif turun sebesar 9% dari $L_c = 14.5$ mm menjadi 0.061, dengan E_{msy} sebesar 0.51/tahun dan biomassa rata-rata per rekrut relatif sebesar 25% dari B_v .

Hasil simulasi Y'/R dengan perubahan laju eksploitasi (E) pada tiga tingkat M/K dan berbagai nilai c disajikan pada Gambar 14. Variabel yang menentukan besarnya MSY relatif adalah besar kecilnya nilai c, E dan M/K. Dua parameter pertama, yaitu c dan E dapat dikelola oleh pengelola, sedangkan M dan K adalah parameter di luar jangkauan pengelola.



Gambar 14. Hubungan antara nilai c dengan Y/R , pada berbagai tingkat eksploitasi (E) dan tiga tingkat M/K .

Nilai c merupakan fungsi dari ukuran mata jaring yang digunakan, karena $L_c = \frac{MS}{SF}$. MS adalah ukuran mata jaring dan SF adalah faktor seleksi alat tangkap. Nilai E merupakan fungsi dari jumlah upaya penangkapan, karena $E = F/Z$, dan $F = qf$, dan f adalah jumlah upaya penangkapan. Perubahan besarnya nilai c akan mengakibatkan perubahan Y/R dan biomassa rata-rata per rekrut relatif, demikian juga perubahan nilai E . Pada kondisi sekarang, ($M/K = 1.1$, Gambar 14-B), terlihat bahwa MSY relatif didapat dengan

$c = 0.7$ ($L_c = 29.8$) pada $E = 0.9$ /tahun, yaitu sebesar 0.088. Pada $E = 0.5$ per tahun, MSY relatif sebesar 0.074, yang dicapai jika c sebesar 0.55 ($L_c = 23.4$ mm).

Apabila laju eksploitasi (E) diperbesar ($E = 0.7$), akan diikuti dengan peningkatan MSY relatif menjadi sebesar 0.086 pada $c = 0.6$ ($L_c = 25.5$ mm). Hal tersebut menunjukkan bahwa apabila ukuran udang yang pertama tertangkap diperbesar, maka kapasitas eksploitasi meningkat.

Apabila laju mortalitas alami (M) berkurang, misalnya ratio $M/K = 0.6$, MSY relatif terjadi pada $c = 0.8$ ($L_c = 34$ mm), yaitu sebesar 0.19 dan E_{\max} sebesar 0.9/tahun (Gambar 49-a). Pada $E = 0.7$ per tahun, MSY relatif sebesar 0.16, yang dicapai jika c sebesar 0.7 ($L_c = 29.8$ mm). Apabila laju eksploitasi (E) diperkecil ($E = 0.5$), akan diikuti dengan penurunan MSY relatif, menjadi sebesar 0.15, pada $c = 0.6$ ($L_c = 25.5$ mm).

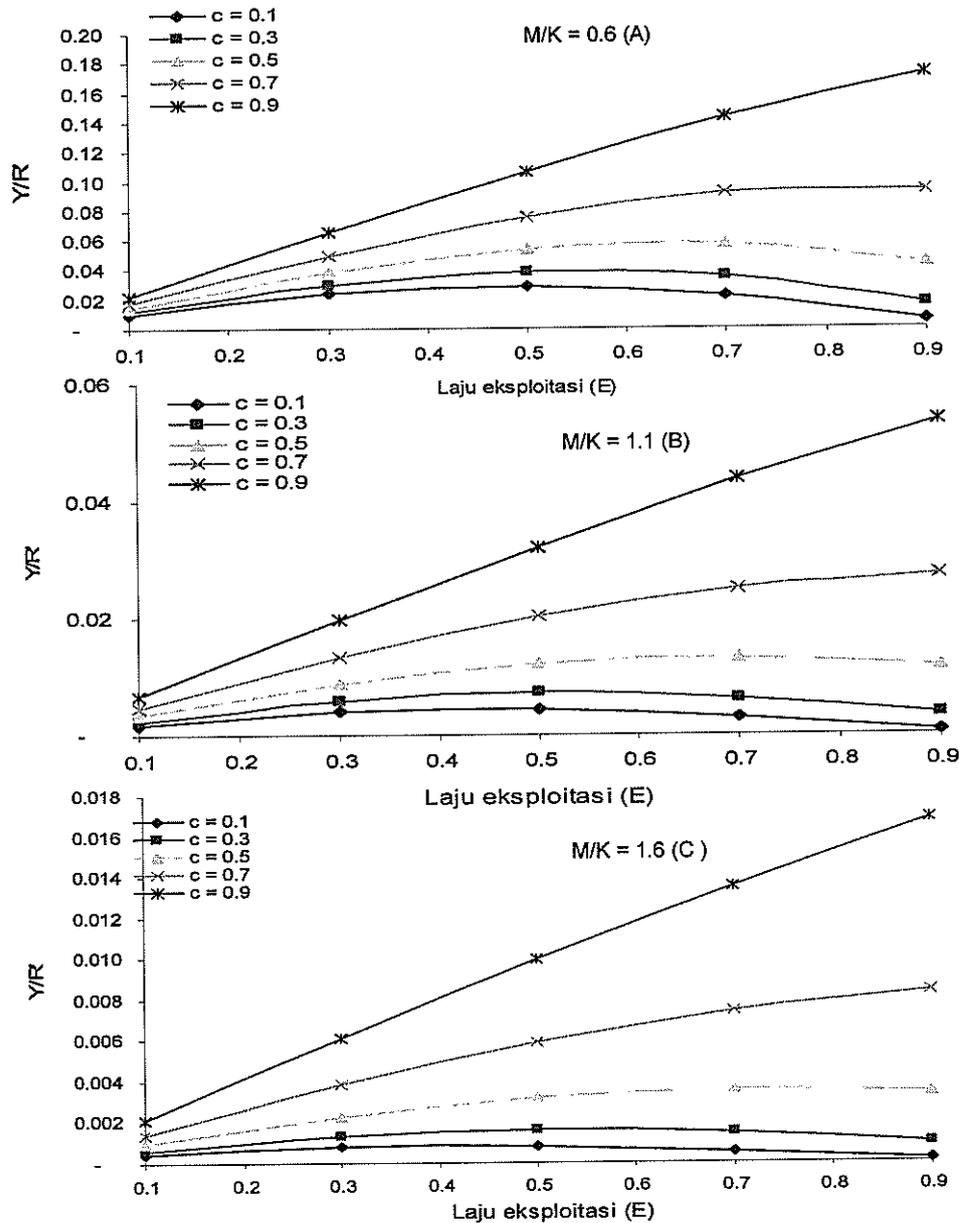
Apabila laju mortalitas alami (M) meningkat, misalnya ratio $M/K = 1.6$, MSY relatif terjadi pada $c = 0.6$ ($L_c = 25.5$ mm), yaitu sebesar 0.05 dan E_{\max} sebesar 0.6/tahun (Gambar 49-c). Pada $E = 0.7$ per tahun, MSY relatif sebesar 0.045, yang dicapai jika c sebesar 0.6 ($L_c = 25.5$ mm). Apabila laju eksploitasi (E) diperkecil ($E = 0.5$), akan diikuti dengan penurunan MSY relatif, menjadi sebesar 0.042, dicapai pada $c = 0.6$ ($L_c = 25.5$ mm).

Simulasi Y'/R sebagai fungsi dari nilai E dengan beberapa tingkat c pada tiga tingkat M/K disajikan pada Gambar 15.

Pada kondisi sekarang ($M/K = 1.1$), MSY relatif tercapai jika $c = 0.5$ ($L_c = 21.3$ mm) pada laju eksploitasi sebesar 0.7/tahun, yaitu sebesar 0.0135 (Gambar 15-b). Pada $c = 0.7$ dan 0.9, kurva berbentuk asimtotik, tidak memiliki titik optimum, sehingga setiap penambahan laju eksploitasi akan selalu diikuti peningkatan Y'/R . Hal ini menunjukkan bahwa pada kedua kurva tersebut tidak dapat dijadikan acuan pengelolaan, karena dapat miss-leading. Apabila laju mortalitas alami turun atau K yang bertambah (misalnya ratio M/K menjadi 0.6), MSY relatif akan bertambah cukup besar dibanding pada $M/K = 1.1$, dan MSY relatif sebesar 0.093, pada $c = 0.7$ ($L_c = 29.8$ mm) dan laju eksploitasi 0.8/tahun.

Apabila c dinaikkan menjadi 0.9, kurva berbentuk asimtotik, sehingga tidak terdapat titik optimum. Apabila c diturunkan menjadi 0.5, maka Y'/R turun menjadi 0.058 pada laju eksploitasi sebesar 0.65/tahun. Apabila tekanan

lingkungan meningkat, sehingga M naik atau K turun, misalnya ratio $M/K = 1.6$, maka MSY relatif turun menjadi hanya 0.0035, dan dicapai pada $c = 0.5$ dan $E = 0.65$ /tahun.

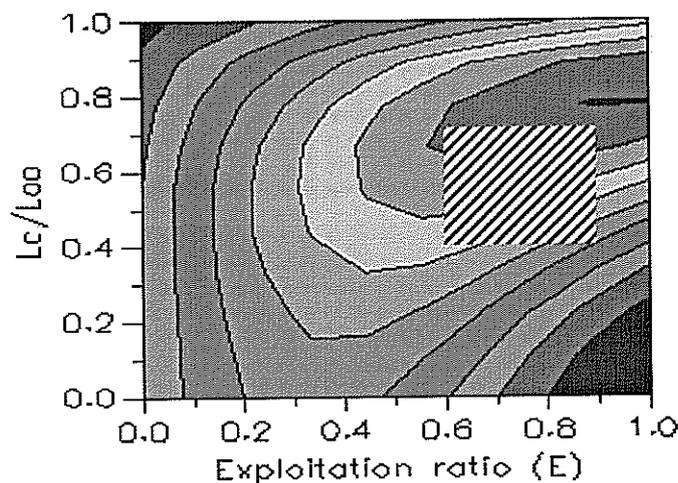


Gambar 15. Hubungan antara laju eksploitasi (E) dengan Y/R pada beberapa nilai c dan tiga tingkat M/K.

Berdasarkan simulasi Y/R dengan perubahan nilai E di atas, MSY relatif optimum adalah pada c sebesar 0.5 atau pada $L_c = 21.3$ mm, dengan laju

eksploitasi 0.7/tahun. Jika dibandingkan dengan ukuran udang yang tertangkap saat sekarang (14.5 mm) dengan bobot individu 1.4 gram, maka akan terjadi peningkatan produksi sebesar 179% (bobot pada $L_c = 21.3$ mm adalah 3.9 gr).

Hasil analisis interaksi antara c dengan laju eksploitasi (E) yang memberikan gambaran Y/R disajikan pada Gambar 16. Y/R terhadap perubahan c dan E dalam suatu kisaran dari kedua parameter tersebut, pada E terbaik untuk nilai c tertentu, atau tingkat E terbaik untuk nilai c tertentu.



Gambar 16. Hubungan Y/R dengan c dan ratio eksploitasi (E) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan.

3.5. Kegiatan Belajar 5: Model Biomassa per Rekrut dari Beverton dan Holt

Model biomassa per rekrut dari Beverton dan Holt (1966) menggambarkan biomassa rata-rata tahunan dari udang yang hidup sebagai suatu fungsi dari mortalitas penangkapan atau upaya (Saprrre dan Venema (1992). Biomassa rata-rata berhubungan dengan hasil tangkapan per unit upaya (CPUE). Selanjutnya dijelaskan bahwa hubungan antara CPUE dan jumlah yang tertangkap adalah : $CPUE(t) = q * N(t)$, apabila kedua sisi dikalikan dengan bobot individu, menjadi :

$$CPUE(t) * w(t) = q * N(t) * w(t) \dots\dots\dots 57$$

Apabila $N(t) * w(t)$ diganti dengan $B(t)$, maka diperoleh persamaan :

$$CPE_w(t) * w(t) = q * B(t) \dots\dots\dots 58$$

CPE_w adalah bobot dari hasil tangkapan per unit upaya. Hasil tangkapan dalam jumlah per tahun dapat dinyatakan sebagai $C = F * \bar{N}$, dengan dasar yang sama dapat ditulis bahwa :

$$Y = F * \bar{B} \dots\dots\dots 59$$

Dimana \bar{B} adalah biomassa rata-rata di perairan selama satu tahun. Ini berlaku bahwa :

$$\bar{B} / R = Y/R * 1/F \dots\dots\dots 60$$

Persamaan tersebut juga dapat ditulis sebagai :

$$Y/R = F * \bar{B}/R \dots\dots\dots 61$$

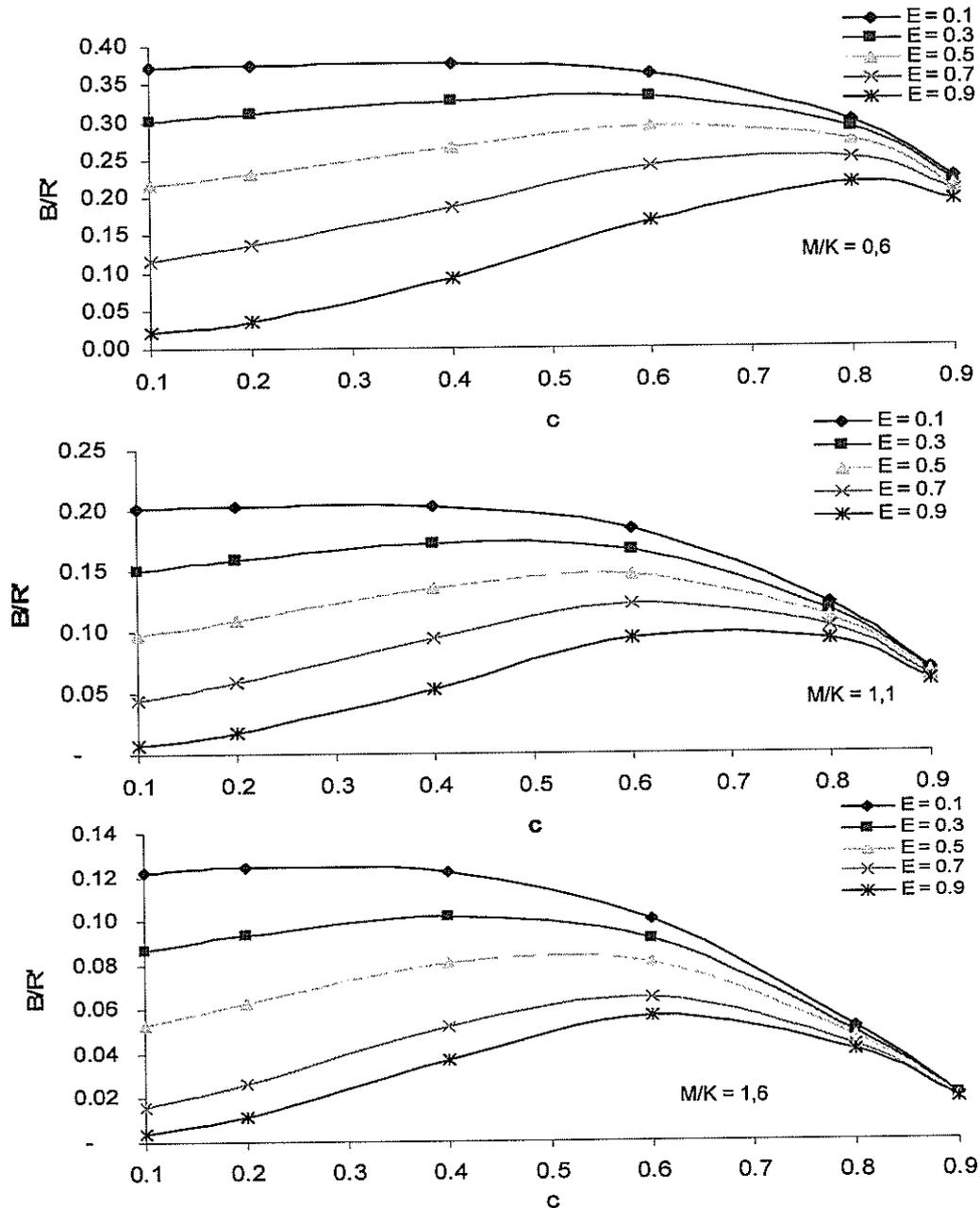
Rumus yang digunakan untuk menghitung \bar{B}/R sama dengan persamaan 61, dengan membagi dengan F .

Pada kondisi eksploitasi udang *M. elegans* saat sekarang, c berkisar antara 0.34 - 0.38, pada laju eksploitasi optimum berkisar antara 0.47/tahun - 0.54/tahun, belum menghasilkan MSY relatif yang optimum. MSY relatif optimum berada pada kisaran c antara 0.5 ($L_c = 21.3$ mm) dan 0.7 ($L_c = 29.8$ mm), dengan laju eksploitasi maksimum (E_{max}) berkisar antara 0.7/tahun sampai dengan 0.9/tahun (daerah arsir). Simulasi \bar{B}/R rata-rata sebagai fungsi dari nilai c dengan berbagai nilai E dan pada tiga tingkat M/K disajikan pada Gambar 17.

Biomassa rata-rata per rekrut relatif (\bar{B}/R) adalah biomassa rata-rata tahunan dari bagian kohort yang dieksploitasi, yaitu biomassa udang yang berukuran L_c dan/atau yang lebih besar. Pada Gambar 14 terlihat bahwa semakin besar ukuran udang yang pertama tertangkap, maka biomassa yang termanfaatkan semakin besar, penambahan besarnya laju eksploitasi akan mengakibatkan penurunan \bar{B}/R rata-rata yang dapat termanfaatkan, dan penurunan biomassa tersebut lebih lambat pada L_c yang lebih besar.

Pada kondisi sekarang ($M/K = 1.1$), \bar{B}/R rata-rata maksimum sebesar 0.067 apabila $c = 0.9$ ($L_c = 38.3$ mm) dan relatif stabil dengan penambahan laju

eksploitasi sampai dengan 0,9/tahun (B'/R rata-rata = 0,06 atau 90% dari biomassa virgin per rekrut relatif).



Gambar 17. Hubungan B'/R dan E dengan variasi nilai c , pada tiga tingkat M/K .

Pada $c = 0.7$ ($L_c = 29.8$ mm) biomassa virgin per rekrut relatif sebesar 0.048 dan biomassa rata-rata per rekrut relatif sebesar menjadi 0.03. B'/R rata-rata awal akan semakin kecil dengan semakin kecilnya ukuran udang yang

pertama tertangkap. Pada $c = 0.3$ ($L_c = 12.8$ mm), pada awal pengusahaan B'/R rata-rata awal hanya sebesar 0.025 dan hampir nol saat tingkat eksploitasi mencapai 0.9/tahun. Kecenderungan demikian juga terjadi jika $M/K = 0.6$ dan $M/K = 1.6$. Perbedaannya adalah bahwa semakin kecil ratio M/K maka besarnya biomassa yang dapat dieksploitasi semakin besar.

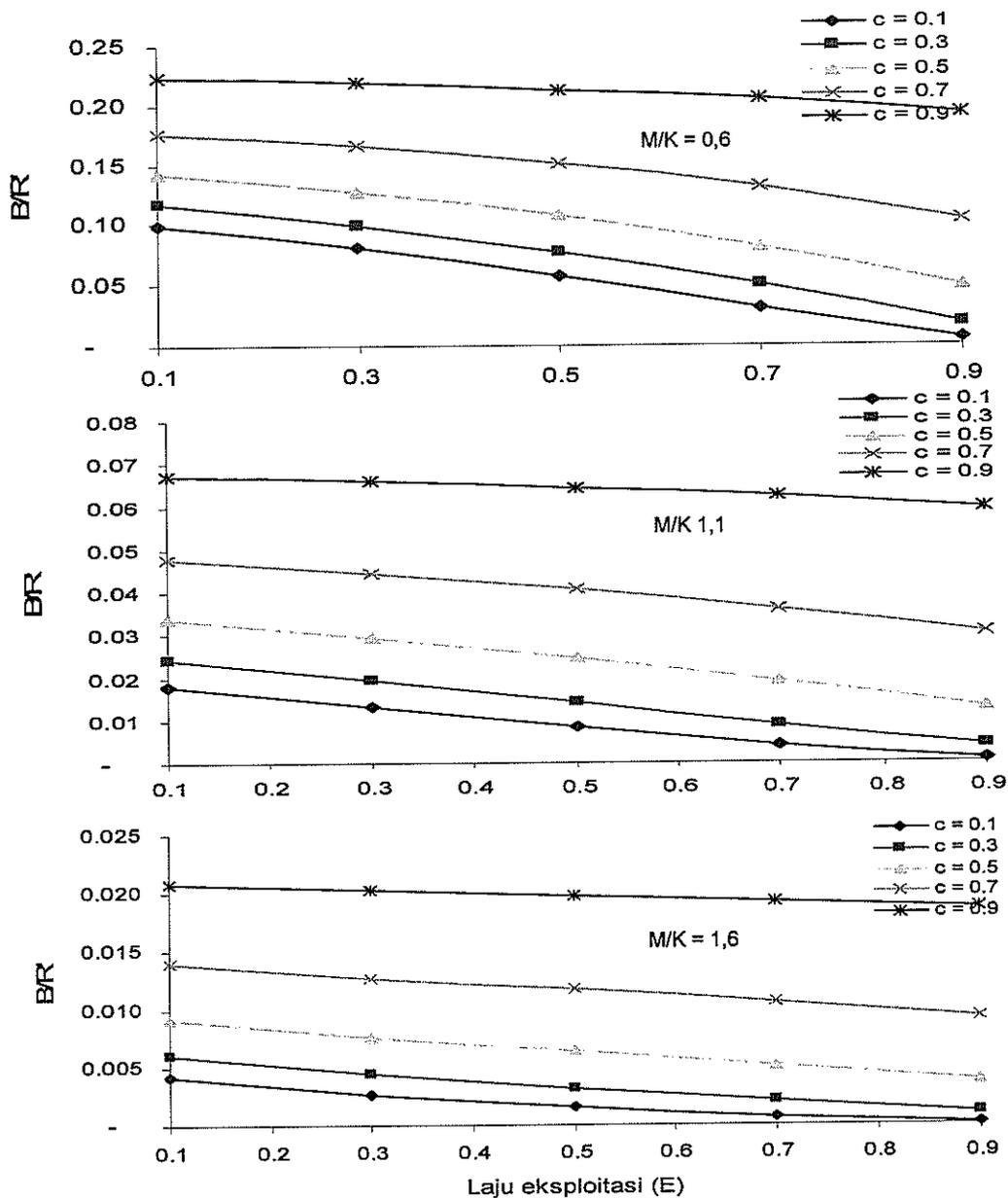
Pada Gambar 17-A terlihat bahwa biomassa relatif per rekrut awal dapat mencapai 0.225 dan jika $c = 0.9$ ($L_c = 38.3$ mm) atau sekitar 330 % lebih besar dari biomassa per rekrut relatif awal pada $M/K = 1.1$. Sebaliknya jika $M/K = 1.6$, biomassa relatif per rekrut awal hanya sebesar 0.021 pada ukuran $c = 0.9$ atau 32% lebih kecil dari biomassa relatif per rekrut awal pada $M/K = 1.1$. Hal ini menunjukkan bahwa parameter M dan K sangat berpengaruh terhadap ketersediaan stok alami, namun diluar jangkauan pengelola.

Simulasi biomassa per rekrut relatif dengan perubahan nilai c dengan berbagai nilai E disajikan pada Gambar 15. Berbeda dengan simulasi menggunakan E sebagai peubah bebas dimana kurva yang terbentuk tidak memiliki titik optimum (asimtotik), pada simulasi dengan c sebagai peubah bebas semua kurva mempunyai titik optimum, sehingga dapat diketahui pada ukuran berapa udang pertama ditangkap untuk setiap tingkat eksploitasi, yang menghasilkan biomassa rata-rata per rekrut relatif optimum.

Pada kondisi $M/K = 1.1$ (kondisi tahun 2004), biomassa rata-rata per rekrut awal pengusahaan tertinggi dicapai jika $E = 0.1$ /tahun dan terendah jika $E = 0.9$ /tahun. Titik optimum terbaik nampaknya berada pada E antara 0.5 – 0.7/tahun. Pada kedua laju eksploitasi tersebut biomassa per rekrut relatif optimum tercapai ketika c sebesar 0.6 ($L_c = 25.6$ mm).

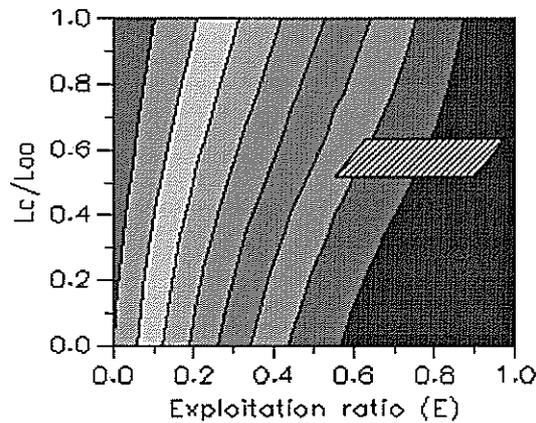
Pada kondisi $M/K = 0.6$ (Gambar 15-A), pada laju eksploitasi 0.7 dan $c = 0.6$, besarnya biomassa per rekrut relatif optimum sekitar 200% lebih besar dari $M/K = 1.1$. Sebaliknya pada kondisi $M/K = 1.6$, biomassa per rekrut relatif optimum sekitar 200% lebih kecil dari $M/K = 1.1$.

Berdasarkan simulasi biomassa per rekrut relatif di atas terlihat bahwa biomassa relatif per rekrut optimum tercapai jika laju eksploitasi sebesar 0.5/tahun sampai 0.7/tahun dan ukuran pertama kali tertangkap adalah 25.5 mm.



Gambar 18. Hubungan biomassa per penambahan baru relatif (B/R)' dengan c pada berbagai tingkat laju eksploitasi (E), pada tiga nilai M/K .

Interaksi antara c dengan laju eksploitasi (E) yang memberikan gambaran biomassa per rekrut relatif disajikan pada Gambar 19. Garis *isopleth* biomassa per rekrut relatif yang terbentuk sebagai interaksi antara c dan E. Saat sekarang laju eksploitasi udang *M. elegans* di Segara Anakan sebesar 0.81/tahun, dengan $L_c = 14.5$ mm ($c = 0,34$), maka biomassa per rekrut relatif tahun 2004 hanya sebesar 0.06.



Gambar 19. Hubungan antara B'/R dengan c dengan laju eksploitasi (E) udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan.

Kondisi tersebut jauh di bawah biomassa per rekrut relatif maksimum yang dapat dicapai, apabila ukuran yang ditangkap (L_c) sebesar 25.6 mm ($c=0.6$) dan laju eksploitasi antara 0.5/tahun sampai 0.7/tahun (arsir). Berdasarkan simulasi Y/R' dan \bar{B}/R' di atas dapat disimpulkan bahwa MSY relatif di peroleh jika L_c sebesar 25.5 mm dan E sebesar 0.8/tahun.

Prediksi MSY relatif menggunakan metode Beverton dan Holt terhadap udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan ini akan menghasilkan nilai dugaan *yield* yang terlalu kecil dari yang sebenarnya, karena nilai b dari hubungan panjang-berat yang digunakan adalah 3, sedangkan pada udang *M. elegans* nilai b sebesar 2.19. Ricker (1975) menyatakan penggunaan $b = 3$ adalah meng-*under estimate yield* jika nilai b yang sebenarnya adalah kurang dari 3, dan meng-*over estimate* apabila nilai b yang sebenarnya lebih besar dari 3. Oleh karenanya analisis stok udang *M. elegans* juga dilakukan dengan metode Thompson dan Bell, yang akan menghasilkan nilai dugaan MSY absolut, yang didasarkan pada hasil analisis kohort dan analisis populasi virtual (VPA).

3.6. Kegiatan Belajar 6: Analisis Stok Model Thompson dan Bell

Sparre dan Venema (1998) mengemukakan bahwa model prediktif pertama sebenarnya telah dikenal lama sebelum model Beverton dan Holt (1957) oleh Thompson dan Bell (1934). Model Thompson dan Bell merupakan

kebalikan dari model VPA dan analisis kohort. Selanjutnya dijelaskan bahwa model ini digunakan untuk memprediksi pengaruh perubahan upaya penangkapan terhadap hasil-hasil dimasa yang akan datang, sedangkan VPA dan analisis kohort digunakan untuk menentukan jumlah ikan yang seharusnya telah ada di perairan, yang memberikan hasil tangkapan yang dapat dipertahankan, dan upaya penangkapan yang seharusnya telah digunakan pada setiap kelompok umur atau panjang untuk memperoleh jumlah yang tertangkap. Oleh karenanya, VPA dan analisis kohort disebut model historis atau retrospektif, sedangkan model Thompson dan Bell adalah model prediktif. Menurut Sparre dan Venema (1998) model ini terdiri atas dua langkah utama, yaitu:

- a. Menyediakan masukan-masukan yang perlu ada dan yang dapat dipilih, dan
- b. Penghitungan luaran dalam bentuk ramalan mengenai hasil-hasil tangkapan, biomassa di masa depan dan bahkan nilai dari hasil tangkapan di masa depan.

Pada model Thompson dan Bell berbasis panjang memanfaatkan hasil analisis kohort, terutama mortalitas penangkapan menurut kelompok panjang (disebut "deretan F menurut panjang"), jumlah ikan yang memasuki kelompok panjang terkecil ($N(L_1)$) dan faktor kematian alami (H) menurut kelompok panjang. Masukan lainnya adalah parameter dari hubungan panjang-berat dan harga rata-rata per kg menurut kelompok panjang. Hasil tangkapan dihitung berdasarkan persamaan :

$$C(L_1, L_2) = [N(L_1) - N(L_2)] * [F(L_1, L_2)] / [Z(L_1, L_2)] \dots 62$$

Berdasarkan persamaan tersebut jumlah udang (N) yang berhasil mencapai panjang terkecil dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$N_{L1} = \{ N_{L2} * H_{L1, L2} + [(N_{L1} - N_{L2}) / Z_{L1, L2}] * F_{L1, L2} \} * H_{L1, L2} \dots 63$$

Dimana :

$$H_{L1, L2} = [(L_{\infty} - L_1) / (L_{\infty} - L_2)]^{M/2K}$$

Jumlah udang yang mencapai panjang L_2 diketahui berdasarkan persamaan :

Kelas panjang karapas (mm)	Mortalitas penangkapan (F)	Faktor mortalitas alami (H _{L1,L2})	Bobot ind. rata-rata (W _{L1,L+1}) (gram)	Harga udang per kg (Rp)
3.5-8.5	0.01	1.08	0.20	5 000
8.5-13.5	0.98	1.09	0.76	5 000
13.5-18.5	3.24	1.11	1.73	8 000
18.5-23.5	2.51	1.14	3.15	12 000
23.5-28.5	1.29	1.18	5.02	14 000
28.5-33.5	0.76	1.27	7.38	16 000
33.5-38.5	0.59	1.55	10.24	18 000
38.5 - ∞	0.65	-	13.26	20 000

Tabel 8. Mortalitas penangkapan, faktor mortalitas alami dan harga udang *M. elegans* di Segara Anakan Cilacap

Berdasarkan analisis kohort dan VPA telah diketahui besarnya populasi udang yang mempunyai ukuran panjang karapas 3.5 mm, nilai-nilai F per kelompok panjang, mortalitas total (Z) dan faktor kematian alami (H). Analisis berdasarkan metode Thompson dan Bell memerlukan masukan data awal yang langung, terutama produksi per daerah pengamatan dalam satu tahun dan harga udang *M. elegans* per kelas ukuran panjang karapas, sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

$$B_{L1,L2} * \Delta t_{L1,L2} = N_{L1,L2} * \Delta t_{L1,L2} * \bar{W}_{L1,L2} \dots \dots \dots 66$$

Sedangkan biomassa rata-rata * Δt yang bersangkutan adalah :

$$N_{L1,L2} * \Delta t_{L1,L2} = (N_{L1} - N_{L2}) / Z_{L1,L2} \dots \dots \dots 65$$

Hasil tangkapan (Y_{L1,L2}) (dalam bobot) dapat dihitung dengan mengalikan jumlah tangkapan, (C_{L1,L2}), dengan bobot rata-rata kelompok panjang, (W_{L1,L2}). Nilai hasil tangkapan dapat dihitung dengan mengalikan Y_{L1,L2} dengan harga per satuan berat udang (kg) per kelompok panjang berdasarkan data observasi. Biomassa rata-rata per kelompok panjang dapat diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung jumlah rata-rata yang hidup pada setiap kelompok panjang, dengan persamaan :

$$N(L2) = [N(L1) * \frac{1/(H_{L1,L2}) - (F_{L1,L2}) / (Z_{L1,L2})}{(H_{L1,L2}) - (F_{L1,L2}) / (Z_{L1,L2})}] \dots \dots \dots 64$$

Harga udang *M. elegans* bervariasi berdasarkan ukurannya, meskipun tidak dilakukan pengelompokan ukuran secara khusus sebagaimana dilakukan pada komoditas udang ekspor, seperti *P. monodon* dan *P. merguensis*. Berdasarkan observasi lapangan diketahui bahwa udang *M. elegans* kecil (panjang karapas < 13.5 mm) umumnya dicampur dengan udang krosok, dengan harga rata-rata sekitar Rp. 5 000.00 per kg. Udang *M. elegans* berukuran antara 13.5 – 23.5 mm umumnya dijual khusus sebagai udang jari dengan harga berkisar antara Rp. 8 000.00 – Rp. 12 000.00 per kg. Udang *M. elegans* ukuran panjang karapas > 23.5 mm biasanya dicampur dengan udang peci (udang jerbung kecil), yang harganya berkisar antara Rp. 14 000.00 – 20 000.00 per kg. Produksi masing-masing daerah pengamatan telah diketahui, sebagaimana telah diuraikan pada bab sebelumnya. Berdasarkan data hasil pengukuran panjang dan bobot, dikombinasi dengan data produksi total per daerah penangkapan, melalui proses konversi, dapat dihitung jumlah dan bobot udang *M. elegans* per kelompok ukuran. Hasil perhitungan berdasarkan metode Thompson dan Bell (Persamaan 61-67) disajikan pada Tabel 9.

Pada faktor $F = 1$, total produksi sebesar 234.3 ton dengan nilai produksi sebesar Rp. 2 740 275 054.00. Kontribusi terbesar terhadap produksi total berasal dari udang *M. elegans* berukuran panjang karapas antara 13.5 – 18.5 mm, akan tetapi kontribusi nilai produksi terbesar diberikan oleh udang *M. elegans* berukuran panjang karapas antara 18.5 – 23.5 mm sebesar Rp. 777 856 620.00. Apabila faktor F diperkecil (faktor $F = 0.5$), total produksi turun menjadi 184 ton, dengan nilai produksi sebesar Rp. 2 341 309 451.00.

Tabel 9. Hasil analisis model Thompson dan Bell udang *M. elegans* di Perairan Segara Anakan (faktor $F=1$)

Kelas panjang karapas (mm)	(F)	Hasil Tangkapan per kohort (CL_i, L_{i+1})	Jumlah populasi pada panjang bawah N_{L_i}	Bobot rata-rata kohort L_i (W rata-rata)	Bobot tangkapan pada setiap kohort $Y(L_i, L_{i+1})$ (Kg)	Biomassa rata2 $\sum x \Delta t$ (Bx Δt) (Kg)	Harga udang per kg (Rp)	Nilai hasil tangkapan (Rp)
3.5-8.5	0.01	191 960	196 554 781	0.20	38.85	3 885.28	5 000	194 264
8.5-13.5	0.98	17 493 201	168 912 543	0.76	13 353.01	13 625.52	5 000	66 765 062
13.5-18.5	3.24	42 971 805	125 893 549	1.73	74 518.89	22 999.66	8 000	596 151 089
18.5-23.5	2.51	20 606 207	63 955 793	3.15	64 821.39	25 825.25	12 000	777 856 620
23.5-28.5	1.29	6 779 726	31 609, 94	5.02	34 045.82	26 392.11	14 000	476 641 472
28.5-33.5	0.76	3 135 249	17 314 557	7.38	23 142.70	30 450.93	16 000	370 283 269
33.5-38.5	0.59	1 717 786	8 280 090	10.24	17 592.66	29 818.08	18 000	316 667 956
38.5 - ∞	0.65	511 932	2 398 856	13.26	6 785.77	10 439.64	20 000	135 715 322
Jumlah					234,299			2 740 275 054

Kontribusi terbesar terhadap produksi oleh udang *M. elegans* kelas panjang 13.5-18.5 mm, dan terhadap nilai produksi kontribusi terbesar kelas panjang 18.5-23.5mm.

Apabila faktor F diperbesar dua kali lipat (faktor F = 2), maka produksi akan naik menjadi 233 ton dan nilai produksinya menjadi Rp. 2 325 700 416 .00, atau lebih kecil dibanding jika faktor F=1 atau 0.5. Pada berbagai tingkat F (laju mortalitas penangkapan), udang *M. elegans* yang paling banyak tertangkap berukuran antara 13.5 – 18.5 mm, disusul udang berukuran antara 8.5 – 13.5 mm (Tabel 23). Hal ini tidak terlepas dari ukuran mata jaring apung yang digunakan. Hasil perhitungan selanjutnya dianalisis untuk mencari keterkaitan antara panjang karapas udang *M. elegans* dengan jumlah pesintas, biomassa, volume produksi dan nilai produksi melalui simulasi dengan perubahan nilai F.

Pada faktor F = 0.1, penurunan pesintas dengan bertambahnya ukuran udang relatif lambat, dan hampir berupa garis lurus. Penurunan tersebut terutama diakibatkan oleh faktor mortalitas alami. Peningkatan faktor F (melalui penambahan penangkapan) akan mempercepat terjadinya penurunan jumlah pesintas. Pada faktor F = 0.5, penurunan pesintas mulai nyata pada kelas panjang 13.5-18.8 mm (pada panjang karapas sekitar 17.5 mm), dan pada faktor F = 1 (kondisi sekarang), penurunan nyata juga mulai terjadi pada kelas panjang 13.5-18.5 mm, yaitu pada panjang karapas sekitar 15 mm. Pada faktor F sebesar 2 dan 3, penurunan pesintas akan terjadi lebih awal, yaitu pada kelas panjang 8.5 - 13.5 mm (pada panjang karapas 11.5 mm). Hal ini mengindikasikan semakin besar upaya penangkapan maka udang tidak cukup kesempatan untuk tumbuh menjadi besar.

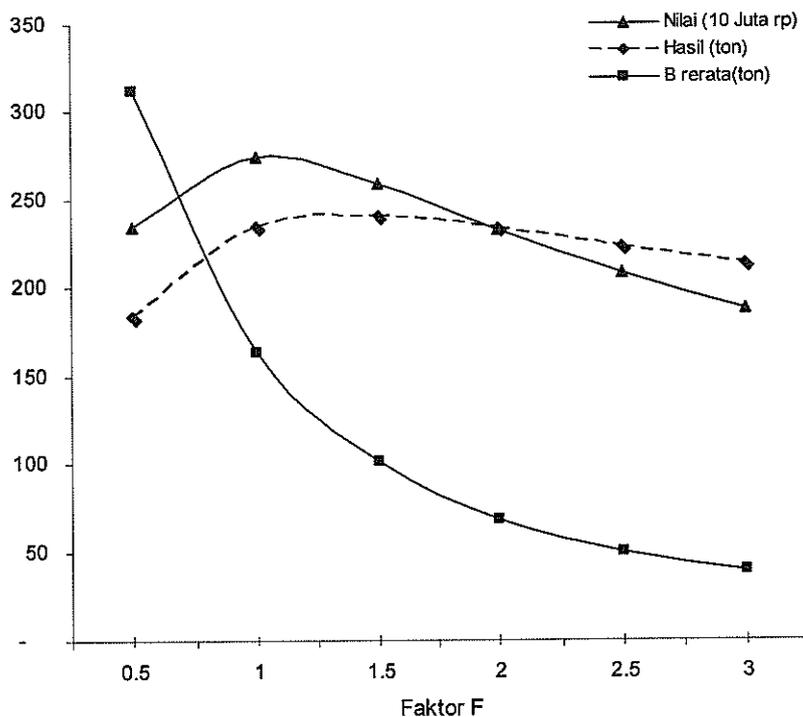
Pengaruh penangkapan terhadap pembentukan biomassa di alam sangat. Apabila faktor F = 0.1, biomassa di alam akan mencapai puncaknya pada kelas panjang karapas 28.8-33.5 mm (nilai tengah 31 mm), dan pada panjang karapas lebih besar dari 33.5 mm, biomassa di alam akan turun meskipun tidak dikeplotasi, akibat kematian alami. Pada faktor F = 0.5, biomassa akan cenderung terus meningkat, menunjukkan bahwa dengan adanya pengurangan akibat penangkapan yang terbatas, biomassa masih terus bertambah seiring dengan pertumbuhan udang. Pada faktor F = 1 (kondisi sekarang) biomassa di alam mulai stabil pada kelas panjang 13.5 – 18.5 mm (nilai tengah 16 mm). Pada faktor F = 2 dan 3, biomassa optimum sangat rendah dan terjadi pada panjang

karapas antara 8.5 – 13.5 mm (nilai tengah 11 mm), dan akan mulai turun pada panjang karapas antara 13.5 – 18.5 mm (nilai tengah 16 mm).

Hubungan panjang karapas dengan hasil tangkapan pada berbagai perubahan faktor F. Volume produksi terbesar berasal dari udang *M. elegans* yang berukuran panjang karapas antara 13.5 – 18.5 mm (nilai tengah 16 mm) pada faktor F = 1 (kondisi sekarang), maupun pada faktor F = 2 dan 3. Apabila faktor F = 0.1 dan 0.5, maka kelas ukuran yang paling besar memberikan kontribusi terhadap volume produksi udang *M. elegans* bergeser ke panjang karapas antara 18.5 – 23.5 mm (nilai tengah 21.5 mm). Hal ini mengindikasikan bahwa apabila laju eksploitasi dikurangi, maka udang yang tertangkap menjadi lebih besar, sehingga volume produksi secara keseluruhan akan meningkat.

Hubungan antara ukuran panjang karapas dengan nilai produksi udang *M. elegans* pada berbagai tingkat faktor F. Pada faktor F = 1 (kondisi sekarang), faktor F = 0.5 dan faktor F = 0.1, udang *M. elegans* berukuran panjang karapas antara 18.5 - 23.5 mm memberikan kontribusi terbesar pada nilai produksi udang *M. elegans*, meskipun sumbangannya terhadap volume produksi lebih kecil dibanding kelas panjang 13.5-18.5 mm. Apabila faktor F ditingkatkan menjadi 2 atau 3, maka ukuran yang paling besar kontribusinya terhadap nilai produksi adalah udang *M. elegans* berukuran panjang karapas antara 13.5 – 18.5 mm.

Berdasarkan hasil perhitungan dan uraian tersebut selanjutnya disusun suatu kurva interaksi antara faktor F dengan biomassa rata-rata tahunan, volume produksi dan nilai produksi (Gambar 20). Produksi maksimum berkelanjutan secara biologi (MSY – *maximum sustainable yield*) tercapai pada F dikalikan faktor 1.25, dengan produksi sebesar 240 ton. Penambahan jumlah upaya (f) di atas f_{MSY} akan menurunkan volume produksi. Jika dibandingkan produksi tahun 2004 (168 ton), maka produksi lestari tersebut jauh lebih besar, menunjukkan bahwa produksi udang *M. elegans* masih dapat ditingkatkan, dengan cara meningkatkan ukuran udang yang pertama kali tertangkap. Produksi maksimum berkelanjutan secara ekonomi (MSE) tercapai pada faktor F sebesar 1, dengan nilai produksi sebesar Rp. 2 740 275 054.00, jauh di atas nilai produksi pada tahun 2004 (Rp. 1.7 milyar). Produksi pada saat MSE adalah sebesar 234 ton. Mortalitas penangkapan (F) saat sekarang adalah 6.76/tahun, sehingga F_{MSE} sebesar 6.76/tahun dan F_{MSY} sebesar 8.3 per tahun. Berdasarkan persamaan $F = q \times f$, maka f_{MSY}



Gambar 20. Kurva hasil analisis Thompson dan Bell berbasis panjang pada udang *M. elegans* di perairan Segara Anakan.

(jumlah upaya optimum) sebesar 61 842 trip dan f_{MSE} adalah 50 368 trip (sama dengan jumlah trip tahun 2004). Berdasarkan hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa pada dasarnya laju eksploitasi tidak perlu dilakukan apabila ukuran udang *M. elegans* yang pertama kali tertangkap dapat dinaikkan. Namun apabila peningkatan ukuran udang melalui penambahan ukuran mata jaring pada kantong apung tidak dapat dilakukan, maka harus dilakukan pengurangan besarnya kematian karena penangkapan (F), dengan cara mengurangi upaya penangkapan (f).

3.7. Kegiatan Belajar 7: Produksi Maksimum Berkelanjutan (MSY) Relatif.

Laju eksploitasi maksimum (E_{max}) udang *M. elegans* berada pada $E_{max} = 0.54$ per tahun dengan ukuran panjang karapas pertama kali tertangkap apung 14.5 mm. Pada tingkat eksploitasi tersebut akan didapatkan Y/R' maksimum berkelanjutan (MSY relatif) sebesar 0.068 dan \bar{B}/R' sebesar 24% dari biomassa awal (saat belum ada penangkapan, biomassa *virgin*). Sparre dan Venema (1999) menyebutkan titik maksimum dari kurva Y/R' sebagai MSY (*maximum sustainable yield*), yang tergantung pada t_c (umur saat pertama udang

tertangkap), dan t_c tergantung pada ukuran mata jaring yang digunakan. Kebanyakan para ahli yang lebih memilih hati-hati dalam menentukan kuota penangkapan, menyarankan laju eksploitasi pada tingkat $F_{0.1}$. Nilai analog dengan konsep $F_{0.1}$ menurut Widodo (1988) adalah $F = M (E/(1-E))$ sama dengan $E_{0.1}$. Pada konsep perikanan yang bertanggung jawab (*code of conduct responsible fisheries*) pemanfaatan juga disarankan pada $E_{0.1}$ tersebut. $E_{0.1}$ adalah laju eksploitasi yang hanya mengeksploitasi biomassa 10% dari biomassa awal. Secara teoritis titik $E_{0.1}$ tersebut dapat diperoleh saat kurva Y/R' sebagai fungsi dari E mempunyai sudut kemiringan (*slope*) 0.1. Konsep $E_{0.1}$ pertama diterapkan pada perikanan di Atlantik Utara pada awal 70-an, dan sejak saat itu secara luas banyak digunakan dalam pengelolaan sumber daya perikanan di berbagai wilayah (Widodo, 1988). Berdasarkan perhitungan $E_{0.1}$ adalah sebesar 0.47/tahun, apabila $L_c = 14.5$ mm. Saat sekarang laju eksploitasi telah mencapai 0.83/tahun, yang berarti telah melampaui laju eksploitasi maksimum (E_{msy}) dan laju eksploitasi $E_{0.1}$. Jika dibandingkan dengan laju eksploitasi maksimum (E_{msy}), berarti pengusahaan udang *M. elegans* saat sekarang telah mencapai 154% atau kelebihan upaya tangkap sebesar 54%. Namun jika dibandingkan dengan $E_{0.1}$, maka eksploitasi udang *M. elegans* saat sekarang telah mencapai 177% atau kelebihan upaya tangkap sebesar 77%. Lebih tangkap yang terjadi adalah lebih tangkap pertumbuhan (*growth overfishing*), karena ukuran udang *M. elegans* yang tertangkap masih berukuran panjang karapas 14.5 mm.

Berdasarkan prediksi model Beverton dan Holt, simulasi Y/R' dengan perubahan ukuran panjang karapas ($c = L_c/L_\infty$), nilai Y/R' optimum (MSY relatif) dicapai jika ukuran udang pertama kali tertangkap sedikitnya sebesar 23.4 mm dan laju eksploitasi (E) sebesar 0.7/tahun. Apabila menghendaki peningkatan Y/R' maka ukuran udang yang pertama tertangkap harus dinaikkan. Pada kondisi sekarang, dimana $E = 0.83$ /tahun maka seharusnya ukuran udang yang pertama tertangkap adalah 27.7 mm ($c = 0.65$). Pada ukuran tersebut jumlah udang betina yang matang gonad akan tersedia lebih banyak. Jika udang *M. elegans* yang pertama tertangkap adalah 27.7 mm, sedangkan nilai faktor seleksi spong adalah 0.56, maka ukuran mata jaring pada kantong spong minimal sebesar 50 mm atau 5 cm atau sekitar 2 inci.

Merta dan Nurhakim (2001) menyatakan bahwa Model Y/R' meskipun sangat baik dan masih cocok untuk diterapkan dalam pengelolaan stok-stok ikan

tertentu, hendaknya digunakan secara hati-hati. Ditambahkan bahwa model ini diterapkan untuk jangka panjang atau dalam situasi-situasi kesetimbangan saja. Jika digunakan dalam jangka pendek, penambahan laju eksploitasi atau pengurangan L_c akan meningkatkan jumlah tangkapan. Hal semacam inilah yang selalu dipahami dan terjadi di lapang. Oleh karenanya nelayan selalu berusaha mengurangi ukuran mata jaring untuk mendapatkan ikan yang lebih kecil, dan bersamaan dengan penambahan jumlah alat tangkap, sehingga produksinya meningkat, meskipun analisis Y/R' meramalkan produksinya akan lebih rendah.

3.8. Kegiatan Belajar 8: Produksi Maksimum Berkelanjutan Secara Biologi (MSY) dan Ekonomi (MSE).

Berdasarkan analisis model Thompson dan Bell, produksi maksimum berkelanjutan secara ekonomi (MSE) lebih dulu tercapai dibandingkan produksi maksimum berkelanjutan secara biologi (MSY). Upaya optimum (f_{MSY}) untuk menghasilkan produksi maksimum yang berkelanjutan adalah 1.25 kali jumlah trip saat sekarang sebesar 62 560 trip. Upaya optimum yang paling menguntungkan secara ekonomi (f_{MSE}) adalah sama dengan jumlah trip sekarang atau 50 368 trip. Produksi maksimum berkelanjutan (MSY) diduga sebesar 240 ton dan nilai produksi maksimum berkelanjutan (MSE) sebesar Rp. 2 740 275 054.00 (2.74 milyar rupiah) dengan produksi 234.3 ton / tahun. Saat sekarang upaya penangkapannya adalah 50 368 trip, menunjukkan bahwa penangkapan udang *M. elegans* dapat dipertahankan jika dilakukan dengan memperbesar ukuran mata jaring pada kantong apung, sehingga ukuran udang yang tertangkap bertambah besar. Pengurangan upaya penangkapan (f) akan mengakibatkan penurunan laju kematian akibat penangkapan (F), yang berarti akan meningkatkan jumlah udang yang lolos dan tumbuh menjadi lebih besar. Hal ini terlihat dari struktur ukuran udang yang tertangkap. Walaupun kontribusi terbesar hasil tangkapan udang *M. elegans* berukuran antara 13.5 – 18.5 mm disusul udang *M. elegans* berukuran antara 23.5 – 28.5 mm pada berbagai tingkat F , namun besarnya kontribusi setiap kelompok umur bervariasi sesuai dengan besar kecilnya F . Pada F yang kecil, kontribusi udang *M. elegans* yang berukuran besar meningkat dan sebaliknya jika F besar maka kontribusi udang *M. elegans* kelompok ukuran kecil meningkat. Variasi besar-kecilnya produksi maksimum berkelanjutan (MSY) dan nilai produksi maksimum berkelanjutan

(MSE) terbentuk sebagai interaksi dari komposisi ukuran udang yang tertangkap, nilai F pada setiap kelompok ukuran dan harga udang masing-masing kelompok ukuran.

Berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa upaya pengelolaan sebaiknya difokuskan pada pengaturan ukuran udang yang boleh ditangkap, dengan pengaturan ukuran mata jaring yang boleh digunakan dalam operasi penangkapan. Disamping itu untuk menekan mortalitas alami perlu dilakukan pengelolaan terhadap habitat dan lingkungan.

3.9. Daftar Pustaka/Acuan/Bacaan Anjuran

1. Walford, L.A. 1958. Living resources of the sea. The Ronald Frees Company. New York. 321p.
2. Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Manila. ICLARM Studies and Reviews 8: 325p.
3. Sanders, M.J. and Kedidi, S.M. 1983. Introduction to fish stock assessment. FAO. Suez RAB/81/002/MAN/3. 244p.
4. Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1957 On the dynamics of the exploited fish populations. Academic Press. London. 516p.
5. Ricker, W.E. 1958. Handbook of computation for biological statistics of fish populations. Bulletin No. 119. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 300p.
6. Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin 191. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. Ottawa. 382p.
7. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 1. 337p.
8. Sparre, P., E. Ursin and S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO. Rome Part 2. 101p.
9. Longhurst, A. and D Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press. 407p.
- 10 King. 1996. Introduction to fisheries biology and stock assessment. Fishing News (Books). London.