

# MANUAL PENGAJIAN MORTALITAS DAN SIMULASI STOK

## MORTALITY ASSESSMENT AND STOCK SIMULATION TOOL (MAST)

Draft Translation: February 6, 2013 (M. Badrudin).

Version 1.1 - May31, 2012 (Authors: Marc Nadon, Nathan Vaughan, Jerry Ault; Programmers: N. Vaughan, M. Nadon; Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami)

### PENDAHULUAN

MAST menggabungkan semua alat analisis yang diperlukan untuk pengelolaan populasi ikan yang dieksploitasi berdasarkan pada estimasi mortalitas berbasis panjang dan menyajikannya dalam satu bentuk *'user-friendly visual interface'*. MAST diberi kode dalam JAVA 7; yang terdiridari 3 bagian umum: 1) Estimasi mortalitas berbasis panjang, 2) Model-model teoritis untuk menemukan langkah pengaturan penangkapan ikan yang optimal, dan 3) *'Simulator'* populasi ikan yang dieksploitasi. Ini juga akan segera dilengkapi dengan kemampuan untuk *'running stochastic processes'* melalui simulasi Monte Carlo dalam rangka mengevaluasi ketidak-pastian (*uncertainty*) dan resiko yang menyertai scenario pengelolaan.

Mortalitas, kematangan, dan laju pertumbuhan bersifat *'density-independent'* terhadap populasi yang baru masuk daerah penangkapan (*recruited population*). Rekrutmen dapat bersifat *'density-independent'* atau *density-dependent (through a stock-recruitment relationship)*.

'User interface' dan 'estimators' mortalitas diberi kode oleh N. Vaughan sedangkan model dinamika populasi dan perangkat simulasi sebagian besar di kode-kan oleh M. Nadon, kesemuanya dibawah bimbingan dan supervise dari Dr. Jerry Ault.

### 1–INFORMASI UMUM

#### WAKTU

Semua langkah komputasi waktu dalam MAST adalah dalam minggu (weeks) misalnya umur ikan dan waktu yg disimulasikan). Semua parameter tahunan (spt. K, M, dll.) secara otomatis dikonversikan ke dalam parameter mingguan dengan cara membagi dengan 48 (atau langkah konversi lainnya). Parameter terkait dengan scenario pengelolaan 'transitional' (mis. *transitional fishing mortality* atau *minimum size-at-first-capture*) juga dikonversikan ke dalam step waktu mingguan. Step waktu mingguan memungkinkan untuk memperoleh *'great flexibility'* dalam spesifikasi dari pola-pola temporal dari *'maturity, recruitment, dan mortality* (mis. *seasonal closure, periodic recruitment*). Tetapi, MAST saat ini baru hanya dapat menerima

input dalam 'yearly increments' (pada versi mendatang akan diubah), kecuali untuk kegiatan rekrutmen musiman yang dispesifikasikan dalam bulanan.

## MORTALITAS

Kohort ikan masuk ke dalam semua matrik perhitungannya (i.e. transisi dari larva pelagis ke dasar perairan – atau ikan yang berasosiasi karang). Jumlah rekrut dapat dispesifikasi baik melalui hubungan *stock-recruitment* atau dapat ditetapkan pada nilai tertentu (lihat pd seksi *recruitment* berikut). Begitu jumlah awal rekrut (*initial number of recruits*) ditetapkan, MAST akan menghitung jumlah awal dalam tiap kelompok umur mingguan tersebut dengan menggunakan rumus 'exponential mortality':

$$N_{t+1} = N_t \cdot e^{-(M+F_t)}$$

Nilai awal ini (N) dapat dikonversikan ke 'jumlah rata-rata' ,jika perlu, dengan menggunakan persamaan:

$$\bar{N}_t = \frac{N_t}{M + F} \times (1 - e^{-(M+F_t)})$$

Laju kematian alamiah ditentukan oleh pengguna atau diturunkan dari estimasi 'longevity' dengan menggunakan pendekatan 'rule-of-thumb' yang mengasumsikan bahwa sisa jumlah populasi maksimum hanya tinggal 1% atau 5%. Ini diterjemahkan ke dalam persamaan berikut:

$$M = \frac{-\ln(S)}{t_\lambda}$$

dimana S = sintasan ke umur  $t_\lambda$  (0.01 or 0.05). Angka 5% sintasan merupakan estimasi yang konservatif dari mortalitas alami dan ditetapkan sebagai 'default' dalam MAST.

Mortalitas penangkapan F diperoleh dengan mengalikan laju mortalitas penangkapan potensial (i.e. koefisien kematian *instantaneous* dari kelompok umur yang ada/penuh, yang di 'masukkan' oleh pengguna) dengan selektifitas alat tangkap S yang mewakili fraksi dari satu kelompok umur yang 'vulnerable' terhadap penangkapan.

$$F_t = q \cdot f \cdot S_t$$

Dimana q = catchability coefficient (i.e. proporsi dari stok yang tertangkap oleh satu unit upaya penangkapan), f = upaya penangkapan, dan S = selektifitas pada umur t. Mortalitas penangkapan di bawah 'minimum age-at-first-capture' dan di atas 'maximum observed-age' (i.e.  $t_\lambda$ ) otomatis ditetapkan sebagai Nol (*knife-edge selection if selectivity is set to 1 for all exploited age groups*).

---

**PERTUMBUHAN**

Saat ini MAST mempunyai/menggunakan pilihan persamaan pertumbuhan Von Bertalanffy growth untuk menentukan panjang pada umur tertentu.

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

Berat pada umur ( $W_t$ ) diperoleh melalui konversi panjang ikan keberat ikan dengan persamaan:

$$W_t = A \cdot L_t^B$$

Penting: Sangat penting untuk menggunakan koefisien Adan B yang benar untuk satuan panjang dan berat tertentu. Sebagian besar nilai Adan B mengkonversi panjang dalam **cm** dan berat dalam **gram**. MAST akan mengkonversi berat tsb ke Kilogram dgn membagi 1000 (semua berat, biomass adalah dlm kg). Oleh kerananya disarankan agar meng-input semua informasi panjang dlm cm (mis.  $L_{inf}$ ,  $L_c$ ,  $L_{max}$ , etc). Ini memungkinkan utk meng-input informasi panjang dlm unit lain (mis. mm) jika menggunakan koefisien A dan B yg benar (i.e. outputnya dalm gram).

Juga sangat penting untuk menggunakan ukuran panjang ikan yang sama dlm meng-input data (mis. Fork, standard, atau total).

---

**KEMATANGAN**

Pengguna dapat memasukan '*age- or size-at-maturity*' (secara otomatis MAST akan mengkonversi satu ke yang lainnya). Kematangan ditetapkan sbg '*knife-edged*' (i.e. 100% dari suatu kohort mencapai kematangan pada umur atau ukuran tertentu). Suatu kurva logistic tersedia pada versi mendatang jika ada peningkatan keperluannya.

---

**REKRUITMEN**

Untuk sederhananya, tingkat rekrutmen sering ditetapkan pada nilai yg tetap dan diasumsikan sbg '*density-independent*', terutama jika biomass '*spawning stock*' diketahui berada pada tingkat yang '*safe*' (SPR > 30%). Alternatifnya, rekrutmen bias '*dependent*' kepada '*spawning stock biomass* (SSB). Rekrutmen saat ini ( $R_t$ ) biasanya dianggap sebagai suatu fungsi dari '*spawning stock biomass* (SSB)' pada waktu tertentu dimana lalu setara dengan '*hatching time + pelagic larval stage duration*(d)'.  
(d)

$$R_t = SSB_{t-d} \cdot f(SSB_{t-d})$$

Versi Beverton-Holt dari persamaan umum (pers. Ricker's akan segera tersedia) is:

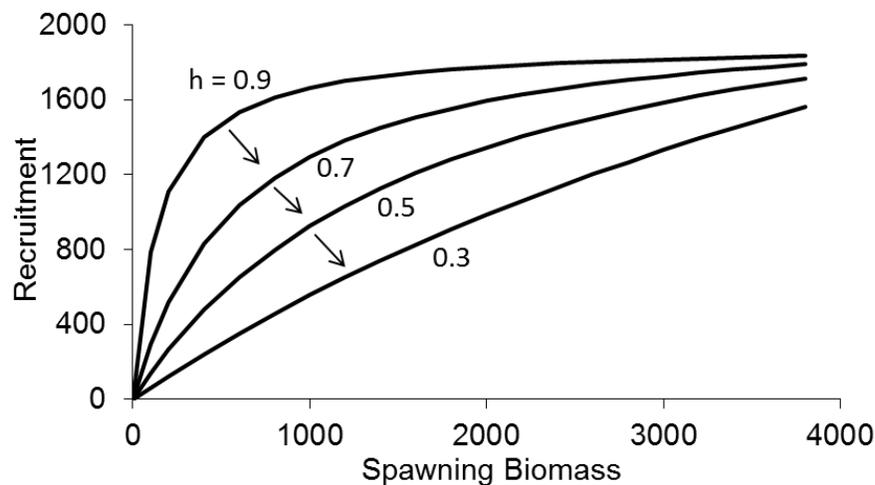
$$R = \frac{SSB}{\alpha + \beta \cdot SSB}$$

Dengan menggunakan '*re-parameterisasi*' Francis (1992)'s, dua parameter dari persamaan dapat ditentukan sebagai

$$\alpha = \frac{B_0(1-h)}{4hR_0} \quad \text{dan} \quad \beta = \frac{5h-1}{4hR_0}$$

Dimana  $B_0$  adalah suatu estimasi '*pristine spawning stock biomass*',  $R_0$ =Jumlah recruit pada  $B_0$ ,  $h$ '=*steepness*' dari kurva '*stock-recruitment*' awal (i.e. fraksi  $R_0$  setara dengan '*spawning stock biomass*' pada 20%  $B_0$ ). Untuk menggunakan hubungan '*stock-recruitment*' ini, pengguna perlu mendefinisikan  $B_0$  dan  $h$ . Ini juga memerlukan '*input*' dari durasi larva dlm *hari* (i.e. waktu antara '*spawning event*' dan '*settlement* (menetap)'). Jadwal memijah ditetapkan (utk saat ini) sebagai terus berlangsung sepanjang tahun, tapi '*extra functionality*' nanti akan ditambahkan, dengan kapabilitas untuk menentukan sifat musiman dari rekrutmen secara lebih tepat.

Berikut adalah contoh kurva '*stock-recruitment* Beverton-Holt' dgn berbagai '*steepness*'  $h$ .



## 2 - ESTIMASI MORTALITAS BERBASIS PANJANG

### MODEL BEVERTON-HOLT

Beverton and Holt (1954) adalah yang pertama utk menurunkan persamaan terkait dengan panjang rata-rata dalam hasil tangkapan ( $\bar{L}$ ) ke mortalitas total ( $Z$ ).

$$\bar{L} = \frac{\int_{t_c}^{t_\infty} F_t \cdot L_t \cdot N_t \cdot dt}{\int_{t_c}^{t_\infty} F_t \cdot N_t \cdot dt} \rightarrow Z = \frac{K \cdot (L_\infty - \bar{L})}{(\bar{L} - L_c)}$$

Tetapi, Ehrhardt and Ault (1992) menemukan model ini 'bias' karena integrasi ke umur 'infinite' i.e. secara teoritis dipengaruhi oleh ikan yang sangat tua dalam hasil tangkapan, tidak pernah ada yang tercatat. Model ini tidak ada dalam MAST karena masalah ini.

### MODEL AULT-EHRHARDT

Ault and Ehrhardt (1991) mengusulkan satu versi 'truncated' dari model Beverton-Holt yang mengeset satu 'upper limit' panjang maksimum ( $L_{\max}$  or  $L_\lambda$ ) yang realistis. Dengan demikian, model ini memerlukan satu parameter tambahan ( $t_\lambda$  atau  $L_\lambda$ ).

$$\bar{L} = \frac{\int_{t_c}^{t_\lambda} F_t \cdot L_t \cdot N_t \cdot dt}{\int_{t_c}^{t_\lambda} F_t \cdot N_t \cdot dt} \rightarrow \left( \frac{L_\infty - L_\lambda}{L_\infty - L_c} \right)^{Z/k} = \frac{Z(L_c - \bar{L}) + K(L_\infty - \bar{L})}{Z(L_\lambda - \bar{L}) + K(L_\infty - \bar{L})}$$

Model ini tidak mempunyai bias yang sama sebagaimana model Beverton-Holt, tapi, sebagaimana model B-H, model ini mengasumsi kondisi 'equilibrium' (i.e. rekrutmen dan mortalitas stabil pada periode waktu yang cukup panjang untuk 'stock age structure' jadi stabil).

### MODEL VAUGHAN-AULT

Satu model yang diperbaiki dewasa ini sedang dikembangkan yang dapat dipakai untuk kondisi mortalitas yang non-equilibrium. Model ini akan menggabungkan model 'size-truncated' dari Ehrhardt and Ault (1992) dengan kondisi non-equilibrium yang dikembangkan oleh Gedemke-Hoenig (yang didasarkan atas model Beverton-Holt dan karenanya masih mengandung potensi bias yang sama). Dewasa ini program tersebut belum tersedia dalam MAST 1.0.

### 3 - MODEL TEORITIS UNTUK ESTIMASI REGULASI PENGELOLAAN YG OPTIMAL

Begitu laju mortalitas penangkapan dapat di estimasi, memungkinkan untuk memparameterkan berbagai model untuk mengestimasi status stok dewasa ini dan target pengelolaan yang 'preferable'. Jika rekrutmen ditetapkan (fix level), kita dapat 'run' analisis *yield-per-recruit* (YPR) dan *spawning potential ratio* (SPR). Jika fungsi 'stock-recruitment' ditetapkan, kita dapat 'run' model dalam bentuk 'yield' absolut, yang memperhitungkan pengaruh pengurangan '*spawning stock biomass*' terhadap 'rekrutment (and yield)'. Model-model tersebut mengasumsi bahwa suatu populasi telah mencapai kondisi 'equilibrium'.

#### YIELD-PER-RECRUIT

MAST menghitung YPR dlm "piece-wise" fashion dengan menerapkan persamaan mortalitas tersebut kepada jumlah rekrut yang ditetapkan (e.g. 1000) dan seterusnya sampai umur maksimum ( $t_\lambda$ ), dengan menggunakan waktu secara mingguan. YPR dihitung pada tiap umur mingguan dengan mengalikan (multiplying) biomass rata-rata dengan mortalitas penangkapan  $F$ , dengan menjumlahkan semua 'yield' mingguan, dan membaginya dengan jumlah rekrut semula (original number of recruits).

$$YPR = \frac{1}{Recruits} \sum_{t=0}^{t_\lambda} F_t \cdot \bar{N}_t \cdot \bar{W}_t$$

YPR dihitung untuk sejumlah besar kombinasi dari 'length-at-first-capture ( $L_c$ )' dan laju mortalitas penangkapan ( $F$ ). Secara spesifik, YPRs dihitung dari  $L_c = 1$  cm sampai  $L_{max}$  dalam  $L_{max}/100$  selang (increments), dan dari  $F = 0$  sampai 2.5 dalam increment 0.025. Nilai-nilai YPR untuk semua kombinasi di 'export' dari MAST dan dapat di plot dalam Excel atau perangkat lunak lainnya (lihat contoh pada bagian akhir).

#### SPR (RASIO POTENSI PEMIJAH)

MAST menghitung 'spawning potential ratio (SPR)' dengan cara yang sama dengan YPR. Biomass dihitung untuk setiap umur mingguan dan 'spawning stock biomass (SSB)' adalah jumlah dari semua biomass diatas umur matang telur (age at maturity). SSB dihitung sbb.:

$$SSB = \sum_{t=t_m}^{t_\lambda} \bar{N}_t \cdot \bar{W}_t$$

dimana  $W_t$  = rata-rata 'weight-at-age'. SSB dihitung pada tingkat 'pristine' ( $B_0$ ) dan dibawah berbagai skenario pengelolaan ( $L_c, F$ ), hal yang sama untuk YPR. Lalu SPR dihitung untuk tingkat  $L_c$  dan  $F$  yang berbeda, dengan membagi SSB yang dieksploitasi dengan SSB yang 'pristine' .

$$SPR = \frac{SSB_F}{SSB_{F=0}}$$

Grafik isopleth SPR dapat dihasilkan dari output MAST, demikian juga isopleth YPR (lihat contoh berikut).

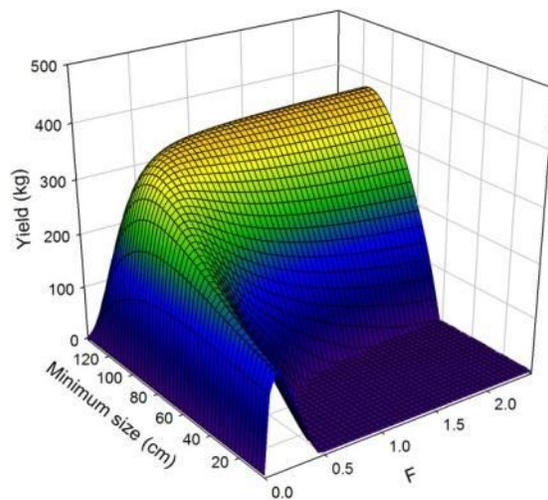
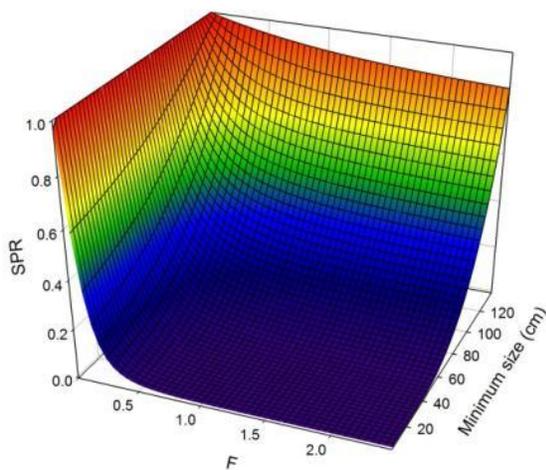
YIELD ABSOLUT DENGAN REKRUITMEN YG 'VARIABLE'

Jika fungsi rekrutmen ditetapkan, yield dapat dihitung dalam bentuk absolut. Pertama MAST menghitung jumlah recruit yang masuk populasi dibawah kondisi equilibrium (i.e. untuk nilai  $L_c$  dan  $F$  tertentu), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_e = \frac{SSB_e - \alpha}{\beta \times SSB_e}$$

Dimana  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah parameter persamaan stok-rekrutmen Beverton-Holt. Dari tingkat rekrutmen equilibrium, struktur populasi pada equilibrium yang diturunkan dari yield absolut dpat dihitung. Sebagaimana halnya dgn YPR dan SPR, yield absolut dihitung untuk berbagai kombinasi  $L_c$  dan  $F$  dan dapat di plot dalam Excel.

Berikut adalah contoh grafik SPR (kiri) dan yield absolut (kanan) yang dibuat dalam SigmaPlot.



4 – SIMULASI POPULASI YG DIEKSPLOITASI

MAST mempunyai kemampuan dalam simulasi populasi yang memungkinkan pengguna menelusuri  $L_{bar}$ , yield, atau SPR ke masa depan dalam step waktu mingguan sesuai dengan berbagai skenario pengelolaan (i.e.  $L_c$  dan/atau  $F$  berubah sesuai waktu). Untuk itu, pengguna harus menyiapkan vector perubahan tahunan dari 'expected future' dari  $F$  dan  $L_c$ .

Simulasi ini dapat di 'run' dengan 'fixed recruitment', yang ditetapkan pada tingkat tertentu. Juga dapat di 'run' dengan fungsi 'stock-recruitment' setelah menetapkan 'pristine spawning stock biomass' ( $B_0$ ), steepness ( $h$ ), dan durasi 'pelagic larvae'.

Catatan: MAST mampu untuk 'running' simulasi populasi ke masa depan tanpa batas (secara teoritis), jumlah langkah waktu harian yg tak terbatas, sesuai dengan kapasitas memori komputer (i.e. paling tidk 256 mb). MAST memerlukan memory yang tersedia pada JAVA dan membagi tugas simulasi task dalam blok-blok yang dapat di 'manage'. Makin besar memory komputer, makin besar 'time blocks' dan makin cepat simulasi tersebut di selesaikan.

Berikut adalah contoh output simulasi MAST dari 'Mutton snapper life history ( $L_c = 300$  mm)'.

