

## Kualitas Kesehatan Ekosistem Benua Maritim Indonesia untuk Keberlanjutan Sumber Daya Ikan

Akbar Tahir\*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin,  
Makassar-Indonesia 90245.

\*e-mail: akbar\_tahir@mar-sci.unhas.ac.id

### ABSTRAK

Suatu ekosistem terdiri atas tumbuhan, hewan dan mikroorganisme (komunitas biologis) yang berinteraksi satu sama lain, juga dengan lingkungan fisik dan kimia, serta dengan ekosistem sekitar dan atmosfer. Struktur dan berfungsinya ekosistem didukung oleh hasil interaksi dan umpan balik antara organisme dengan lingkungannya (biogeofisik). Pada setiap ekosistem, makhluk hidup membentuk suatu komunitas yang berinteraksi satu sama lain, dengan udara, air dan tanah/sedimen di sekitarnya. Ekosistem-ekosistem ini menyediakan sejumlah besar bahan dan jasa (jasa-jasa ekosistem) yang menopang kehidupan makhluk hidup. Jasa ekosistem adalah “manfaat yang diterima makhluk hidup (termasuk manusia) dari ekosistem, termasuk penyediaan jasa-jasa seperti bahan makanan dan air (*provisioning services*), pengendalian banjir dan kekeringan, degradasi lahan dan penyakit (*regulating services*), demikian juga dengan jasa-jasa lainnya seperti pembentukan tanah/sedimen dan siklus nutrisi, serta jasa-jasa kebudayaan seperti rekreasi, spiritual, keagamaan dan manfaat non-material lainnya”. Tindakan-tindakan untuk mengkonservasi keanekaragaman hayati ini jelas akan menghasilkan perlindungan dan keberlanjutan dari barang dan jasa yang disediakan ekosistem. Sehingga upaya-upaya memelihara atau menjaga kesehatan ekosistem sangat bermanfaat dalam memperkuat konservasi keanekaragaman hayati. Penelaahan kesehatan ekosistem (*ecosystem health*) merupakan salah satu prioritas utama saat ini, baik oleh ilmuwan, manajer maupun pemerintahan di seluruh belahan dunia. Tekanan yang menyebabkan menurunnya kondisi kesehatan ekosistem (masa kini dan masa mendatang) termasuk hilangnya habitat alami (misalnya: akibat perubahan pola penggunaan lahan, ekosistem terumbu karang semakin berkurang, rusaknya habitat dasar perairan akibat *trawling*), perubahan iklim, invasi spesies asing, masuknya nutrisi bahan cemar, eksploitasi berlebihan (terhadap stok ikan) serta faktor-faktor lainnya. Dampak utama relatif dari tekanan-tekanan ini sangat berbeda bagi ekosistem-ekosistem yang kita ketahui, namun diyakini akan terus berkontribusi pada penurunan populasi spesies dan hilangnya keanekaragaman hayati pada beberapa dekade mendatang. Terutama apabila tidak diadakan regulasi dan pengontrolan ketat bagi kegiatan-kegiatan manusia yang mendominasi seluruh fungsi-fungsi ekologis. Ekosistem-ekosistem yang didominasi oleh aktivitas manusia, termasuk berbagai sistem biofisik mengalami tekanan sedemikian tingginya hingga mengalami disfungsi, baik pada tingkat regional maupun global. Makalah ini membahas pentingnya memelihara kondisi kesehatan ekosistem utama di Benua Maritim Indonesia (BMI) untuk menjamin keberlanjutan sumberdaya ikan.

**Kata kunci:** kesehatan ekosistem, sumberdaya ikan, BMI.

### Pengantar

Keanekaragaman hayati (*biodiversity*) adalah beragamnya ekosistem seperti yang terlihat di gurun pasir, hutan, pegunungan, lansekap pertanian, danau, sungai dan lautan. Suatu ekosistem terdiri atas tumbuhan, hewan dan mikroorganisme (komunitas biologis) yang berinteraksi satu sama lain, juga dengan lingkungan fisika dan kimia, serta dengan ekosistem sekitar dan atmosfer. Struktur dan berfungsinya ekosistem didukung oleh hasil interaksi dan umpan balik antara organisme dengan lingkungannya (biogeofisik).

Pada setiap ekosistem, makhluk hidup (termasuk manusia), membentuk suatu komunitas yang berinteraksi satu sama lain, dengan udara, air dan tanah/sedimen di sekitarnya. Ekosistem-ekosistem ini menyediakan sejumlah besar bahan dan jasa (jasa ekosistem) yang menopang kehidupan makhluk hidup. Menurut definisi *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), jasa ekosistem adalah “manfaat yang diterima makhluk hidup (manusia) dari ekosistem, termasuk penyediaan jasa-jasa seperti bahan makanan dan air (*provisioning services*),

pengendalian banjir dan kekeringan, degradasi lahan dan penyakit (*regulating services*), demikian juga dengan jasa-jasa lainnya seperti pembentukan tanah/sedimen dan siklus nutrien, serta jasa-jasa kebudayaan seperti rekreasi, spiritual, keagamaan dan manfaat non-material lainnya”. Tindakan-tindakan untuk mengkonservasi keanekaragaman hayati ini jelas akan menghasilkan perlindungan dan keberlanjutan dari barang dan jasa yang disediakan ekosistem. Demikian pula halnya dengan upaya-upaya memelihara atau menjaga kesehatan ekosistem sangat berguna dalam memperkuat konservasi keanekaragaman hayati (Egoh et al. 2009).

Konsep kesehatan ekosistem (*ecosystem health*) memiliki banyak keterkaitan dengan kesehatan manusia. Konsep ini mulai diajukan pada 1992 saat berlangsungnya *the United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED) dan *Convention on Biological Diversity* (CBD) yang keduanya bertujuan mempromosikan pembangunan berkelanjutan. Konsep kesehatan ekosistem dibangun di atas dasar prinsip kehati-hatian dan penerapan pendekatan ekosistem melalui pengelolaan terpadu terhadap dampak aktifitas manusia pada ekosistem agar tercapai pemanfaatan berkelanjutan dalam hal barang dan jasa yang disediakan ekosistem dengan tetap memelihara struktur, fungsi dan keutuhan ekosistem. Pendekatan ekosistem telah menjadi bagian tak terpisahkan dalam kebijakan dan kegiatan dari berbagai konvensi, instrumen pengelolaan dan badan-badan internasional (misal: CBD, EC, OSPAR, HELCOM, FAO, European Marine Strategy, dsbnya).

Penelaahan kesehatan ekosistem (*ecosystem health*) merupakan salah satu prioritas utama saat ini, baik oleh ilmuwan, manajer maupun pemerintahan di seluruh belahan dunia. Sudah lebih dari tiga dekade beberapa hasil kajian yang ditulis dalam beberapa pustaka ilmiah yang membahas tentang kesehatan ekosistem dan pendekatan-pendekatan untuk penelaahannya, khususnya pada ekosistem perairan dan daratan dengan memasukkan berbagai proses dan indikator ekonomi, lingkungan dan sosial budaya (O'Brien et al, 2016). Tekanan yang menyebabkan menurunnya kondisi kesehatan ekosistem (masa kini dan masa mendatang) termasuk hilangnya habitat alami (misalnya: akibat perubahan pola penggunaan lahan, ekosistem terumbu karang semakin berkurang, rusaknya habitat dasar perairan akibat *trawling*), perubahan iklim, invasi spesies asing, modifikasi aliran sungai, masuknya nutrien bahan cemar, eksploitasi berlebihan (terhadap stok ikan) serta faktor-faktor lainnya. Dampak utama relatif dari tekanan-tekanan ini sangat berbeda bagi ekosistem-ekosistem yang kita ketahui (Sala, 2000), namun diyakini akan terus berkontribusi pada penurunan populasi spesies dan hilangnya keanekaragaman hayati pada beberapa dekade mendatang. Hal ini terutama apabila tidak diadakan regulasi dan pengontrolan ketat bagi kegiatan-kegiatan manusia yang mendominasi seluruh fungsi-fungsi ekologis.

Ekosistem-ekosistem yang didominasi oleh aktivitas manusia, termasuk berbagai sistem biofisik mengalami tekanan sedemikian tingginya hingga mengalami disfungsi, baik pada tingkat regional maupun global (Vitousek et al.

1997). Seiring dengan semakin tingginya tekanan yang diterima, ekosistem pada akhirnya akan mengalami degradasi yang akan menyebabkan ketidakmampuan ekosistem untuk mensuplai layanan-layanannya pada tingkat yang sama seperti di masa dahulu. Kapasitas lingkungan untuk keberlanjutan aktivitas-aktivitas ekonomi dan kesehatan manusia juga akan berkurang (Rapport, 1998). Beragam ekosistem, termasuk sistem-sistem yang didominasi manusia, dikenali sebagai "*complex adaptive systems*", sebab sistem-sistem ini bersifat evolusioner yang tidak mekanistik melalui sifat yang sulit diprediksi, seperti apa yang kita saksikan selama ini. Pemahaman tentang masalah dan kendala yang dihadapi oleh dinamika evolusioner bagi ekosistem merupakan komponen kunci dalam mengelola keberlanjutan mereka (Costanza *et al.* 1993).

### **Kesehatan Ekosistem dan Keberlanjutan Jasa-jasa Ekosistem**

Sesuai definisinya, seluruh sistem kompleks, tersusun atas bagian-bagian yang saling berinteraksi. Umumnya, komponen atau bagian-bagian ini memiliki perbedaan dalam hal jenis, struktur dan fungsinya dalam suatu sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, tingkah laku sistem tidak dapat secara sederhana disimpulkan dengan hanya menambahkan tiap-tiap tingkah laku dari komponen individual. Konsep kesehatan ekosistem sangat komprehensif, bersifat multi-skala dan dinamis yang mencakup penentuan hirarki dari sistem *resilience*, *organisasi* dan *vigor* (Costanza, 1999). Konsep-konsep ini merupakan bagian tak terpisahkan dari terminologi keberlanjutan yang memiliki implikasi bagi kemampuan sistem dalam memelihara struktur (organisasi) dan fungsinya (*vigor*) sepanjang waktu dalam menghadapi tekanan/stres eksternal (*resilience*). Sehingga suatu sistem yang sehat harus digambarkan mengacu pada dua konteks: sistem besar dengan bagian-bagian atau komponen-komponennya dan sistem-sistem kecil yang menyusunnya dari bagian-bagian atau komponen-komponennya.

Costanza *et al.* (1992) mengembangkan definisi kesehatan ekosistem sebagai 'suatu sistem ekologis yang sehat dan bebas dari sindrom tertekan jika sistem tersebut stabil dan berkelanjutan, yakni jika sistem tersebut tetap aktif dan mampu memelihara organisasi dan otonominya sepanjang masa dan mampu bertahan dari tekanan/*stress*'. Sehingga menurut definisi ini, suatu sistem yang sakit atau tidak sehat adalah sesuatu yang dapat diprediksi akan menjadi tidak berkelanjutan dalam artian sistem tersebut tidak akan mampu mencapai rentang usia/waktu maksimumnya. Dalam definisi ini kerangka waktu dan ruang jelas sangat penting. Gejala tertekan (*distress syndrome*) mengacu pada proses yang *irreversible* (tidak dapat balik) dari kehancuran sistem yang berujung pada berakhirnya suatu sistem sebelum rentang usia/waktu normalnya (Rapport *et al.*, 1992). Agar dapat menjadi sehat dan berkelanjutan, sebuah sistem harus menjaga tingkatan aktifitas metaboliknya bersama struktur dan organisasi internalnya (keberagaman proses harus secara efektif terhubung satu dengan lainnya) dan bersifat *resilient* terhadap tekanan/stres eksternal dalam suatu kurun waktu dan tempat tertentu yang relevan pada sistem tersebut.

Karena ekosistem juga mencakup komunitas manusia, maka dengan sendirinya definisi kesehatan ekosistem jelas akan memberi implikasi langsung

terhadap perubahan-perubahan lingkungan biofisik komunitas manusia. Hal ini akan memiliki konsekuensi langsung terhadap kondisi sosial, ekonomi dan kesehatan manusia yang terkait dengan kesehatan ekosistem. Transformasi ekosistem dari sehat menjadi tidak sehat dapat dijelaskan oleh dampak kumulatif tekanan kronis (*chronic stress*) dari beragam kegiatan manusia (Rapport *et.al.*, 1989). Sumber utama dari stress, termasuk pembuangan limbah residual, eksploitasi lebih serta restrukturisasi fisik baik pada ekosistem-ekosistem di daratan maupun perairan (misalnya: bendungan, pengalihan aliran air sungai, pembangunan jalan serta utilitas-utilitas lainnya yang menyebabkan terjadinya fragmentasi lansekap). Intinya adalah sehatnya suatu ekosistem adalah kemampuan suatu lingkungan atau ekosistem untuk memelihara keanekaragaman hayati dan keutuhan/integritas-nya (ANZECC, 2000).

Terdapat ratusan indikator yang telah diajukan untuk mengukur derajat kesehatan ekosistem. Termasuk diantaranya indeks fisis suhu atau kualitas udara, kelimpahan spesies atau kelompok spesies, ukuran struktur komunitas, rasio biomasa, indeks keragaman serta beberapa teknik pengukuran fungsi ekosistem berbasis pemodelan (Fulton *et al.*, 2005). Sehingga tantangannya adalah bagaimana kita mampu mengidentifikasi indikator-indikator yang mantap (*robust*) yang mampu beradaptasi terhadap resonansi kebijakan public yang biasanya agak berbeda (Wainger and Boyd, 2009).

Pertanyaannya adalah apa makna semua ini dalam kehidupan sehari-hari? Tabel 1 berikut akan menjelaskan 3 (tiga) komponen utama dari konsep kesehatan sistem (*resilience*, organisasi dan *vigor*) beserta konsep-konsep terkait dan dimensi-dimensinya dalam berbagai bidang.

Tabel 1. Indeks vigor, *resilience*, organisasi dalam berbagai bidang terkait.

Komponen Kesehatan	Konsep terkait	Dimensi/Tolok ukur terkait	Bidang Asal	Metode Pengukuran yang bisa digunakan
Vigor	Fungsi Produktifitas Hasil akhir	GPP, NPP, GEP GNP Metabolisme Indeks Keragaman	Ekologi Ekonomi Biologi	Pengukuran
Organisasi	Struktur Keanekaragaman	Informasi mutual rata-rata (Ulanowicz 1986) Prediktabilitas (Turner et al. 1989) Skop/lingkup pertumbuhan (Bayne 1987)	Ekologi	Analisis jejaring ( <i>network</i> )
<i>Resilience</i>		Waktu pulih populasi (Pimm 1984) Kapasitas/daya serap terhadap gangguan (Holling 1987)	Ekologi	Simulasi Model
Kombinasi		Ascendancy (Ulanowicz 1986) Indeks Integritas Biota (Karr 1991)	Ekologi	

## Dampak Pemanfaatan Sumberdaya Laut Terhadap Ekosistem Lautan

Pemanfaatan lingkungan laut sangat beragam, baik dari aspek wisata/rekreasi ke produksi bahan pangan hingga untuk kepentingan transportasi. Setiap jenis pemanfaatan ini memiliki potensi dampak terhadap kesehatan ekosistem yang juga akan mempengaruhi produktifitas perikanan, stabilitas stok dan keanekaragaman ikan. Pemanfaatan laut akan berkontribusi pada pembuangan limbah pencemar, baik dari sektor transportasi laut maupun eksploitasi minyak dan gas bumi. Demikian juga aktifitas-aktifitas lainnya seperti penambangan pasir dan kerikil laut, kabel bawah laut untuk telekomunikasi, budidaya laut, ekowisata serta beragam aktifitas rekreasional laut, yang kesemuanya dapat berdampak pada upaya-upaya konservasi dan preservasi ekosistem lautan. Belum lagi dampak perubahan iklim yang sudah hadir dan dirasakan oleh kita semua saat ini, dapat dimasukkan sebagai salah satu faktor yang dapat secara fundamental merubah tatanan ekosistem lautan. Dampak dari multi pemanfaatan lingkungan lautan pada ekosistem laut, termasuk sumber daya ikan dapat dikategorisasi sebagai dampak langsung, dampak tidak langsung hingga dampak kompleks (Rosenberg, 2003). Demikian juga dengan dimensi dampak harus dilihat dari sisi (kategorisasi) spasial, temporal dan kompleksitas. Dimensi-dimensi ini penting bagi penentu kebijakan dalam kaitannya dengan cakupan/skala, durasi/lama serta evaluasi aksi-aksi pengelolaan tertentu yang secara khusus dirancang untuk dapat menunjukkan dampak yang dapat timbul dari multi pemanfaatan lingkungan lautan.

Upaya-upaya konservasi dan preservasi dapat secara langsung berdampak dalam hal penurunan laju mortalitas sumber daya ikan, walaupun dampaknya bisa positif atau negatif tergantung dari *yield* tangkapan yang dihasilkan dalam suatu upaya penangkapan. Menurunnya tingkat mortalitas pada suatu stok yang mengalami tangkap lebih dapat memberi kemungkinan untuk memulihkan stok yang pada gilirannya meningkatkan *yield*. Sebaliknya, upaya proteksi terhadap suatu kawasan ekosistem berskala besar dapat berujung pada rendahnya proporsi stok ikan komersil untuk dieksploitasi. Hal ini terlihat pada upaya pemulihan stok ikan-ikan dasar (*cod*, *haddock*, *flounder* dan lainnya) pantai utara Amerika Serikat pada era 1990-an akibat proses *recovery* yang belum selesai secara sempurna (Murawski *et al.* 2000).

Di sisi lain, bahan-bahan pencemar kimiawi dan nutrien dapat berdampak pada kematian massif biota laut akibat daya toksik masing-masing bahan pencemar. Peningkatan laju mortalitas biota laut dapat terjadi hingga berlipat kali secara simultan, atau dampak yang ditimbulkan bisa saja berbeda pada komponen-komponen ekosistem yang berbeda. Misalnya, kontaminasi nutrien dapat menimbulkan kondisi *blooming* alga yang berbahaya, seperti *brown tide* (Laroche *et al.*, 1997) yang dapat meningkatkan laju kematian zooplankton dan larva ikan secara signifikan akibat produksi bahan-bahan toksik sekunder (Whitledge *et al.*, 1999). Demikian juga halnya dengan kegiatan-kegiatan lain di wilayah lautan seperti kegiatan pertambangan, transportasi laut atau budidaya laut dapat secara langsung berdampak pada ekosistem laut. Operasi peralatan pertambangan secara

mekanistik berdampak pada dasar laut dan bisa mematikan organisme laut secara langsung, terlebih lagi bila dalam operasi tersebut melibatkan penggunaan bahan peledak. Sedangkan transportasi dan budidaya laut dapat secara sengaja atau tidak sengaja mengintroduksi spesies asing yang bisa saja merupakan predator bagi spesies asli/*indigenous* sebagai komponen ekosistem (Carleton and Geller, 1993).

Beragamnya pemanfaatan sumberdaya di lingkungan lautan dapat berdampak langsung pada produktifitas sumber daya ikan, baik dari sisi laju reproduksi (terkait aspek rekrutmen) maupun pertumbuhan somatis (terkait ketersediaan bahan makanan akibat persaingan dengan spesies introduksi) dari beberapa populasi ikan komersial. Dampak yang dapat terlihat adalah penurunan fekunditas dan kualitas telur yang rendah serta ukuran individu yang semakin mengecil. Kebanyakan kita hanya melihat dari sisi tangkap lebih, jarang sekali yang melihat lebih jauh terhadap dampak sesungguhnya seperti kerusakan atau hilangnya habitat, seperti yang terjadi pada stok ikan herring di Bering Sea yang menerima dampak limbah pertambangan mineral di laut tersebut (NRC, 1997). Penerapan '*closed-area*' selama 6 tahun di George's Bank yang merupakan salah satu fishing ground paling produktif di dunia, telah mampu meningkatkan kelimpahan stok beberapa jenis ikan komersial dan scallop. Hal ini secara jelas menunjukkan bahwa penurunan laju mortalitas ikan merupakan dampak langsung yang berkombinasi dengan *recovery habitat* (dampak tidak langsung) yang mendukung perkembangan komponen-komponen lain ekosistem sehingga tercipta '*high quality habitat*' yang terlibat dalam memelihara proses penyediaan stok ikan di wilayah tersebut (Murawski *et al.*, 2000).

Akan halnya dampak tidak langsung dari konsentrasi rendah (*chronic*) bahan pencemar yang saat ini menjadi penting untuk dicermati, seperti terlihat pada kasus limpasan nutrien dari sungai Mississippi ke dalam teluk Mexico yang menyebabkan kehilangan habitat bentik akibat berlanjutnya kondisi hipoksia (minim DO) yang mencakup wilayah hingga seluas 18.000 km<sup>2</sup> (Rabalais, *et al.*, 1999). Lokasi ini ditinggalkan oleh spesies-spesies *mobile* ekonomis penting akibat tidak lagi tersedia habitat bagi mereka untuk hidup dan berkembang biak. Hilangnya habitat yang dikombinasi oleh tingginya konsentrasi bahan pencemar berdampak pada menurunnya produktifitas ekosistem. Ketiadaan habitat akan mengurangi ketersediaan daerah untuk mencari makanan, tumbuh-kembang, memijah dan daerah asuhan. Sedangkan bahan pencemar (kontaminan) akan mengurangi kesesuaian/kelayakan habitat yang tersisa. Dampak-dampak seperti ini dapat dengan mudah terjadi pada wilayah perairan pesisir dan estuaria yang secara berkesinambungan menerima aliran limbah perkotaan dan/atau industri, sekalipun tidak ditemukan kematian secara massal (Chesney *et al.*, 2000).

Kompleksitas dampak terhadap kesehatan ekosistem tidak bisa diabaikan dalam pengembangan kebijakan perikanan. Dampak-dampak yang timbul pada ekosistem perikanan saling terkait satu dengan lainnya, sehingga untuk menghilangkan dampak tidak cukup hanya dengan berkutat pada satu faktor. Walaupun tangkap lebih (*overfishing*) boleh jadi merupakan dampak dominan

pada berbagai ekosistem, faktor-faktor lainnya seperti hilangnya habitat akibat kontaminasi atau modifikasi habitat secara langsung (misal: normalisasi aliran sungai, pembangunan bendungan, dsb) harus dimasukkan sebagai faktor-faktor penentu dalam pengembangan kebijakan perikanan (Lichatowich, 2001). Oleh karena itu, dimensi-dimensi ‘terdeteksi’ atau ‘terkuantifikasi’ harus dimasukkan dalam penentuan kebijakan perikanan. Dampak langsung adalah hal termudah, walaupun tidak selalu mudah untuk dikuantifikasi. Dampak kompleks sangat sulit terdeteksi dan terkuantifikasi, namun dampak kompleks ini nyata keberadaannya walaupun bukti-bukti ilmiah masih sangat sedikit. Akan tetapi, kesulitan dalam mengkuantifikasi dampak bukanlah alasan bagi kita mengabaikannya dalam pengembangan kebijakan perikanan. Tantangan dalam penyusunan kebijakan perikanan adalah bagaimana meyakinkan para pelaku/praktisi tentang tingginya peluang terjadinya dampak-dampak tersebut di atas, walaupun dukungan informasi kuantitatif yang lengkap belum kita miliki. Pendekatan kehati-hatian dalam pengelolaan stok dapat dijadikan rujukan (FAO, 1995; Jordan and O’Riordan, 1999).

### Daftar Pustaka

- ANZECC (2000). Guidelines for aquatic ecosystem health audit. Queensland.231p.
- Carleton, S. and J.W. Geller (1993). State of the catchment: Chapter 5. Ecosystem water quality.
- Chesney et al. (2000). Restoring ecosystem health to improve human health and well-being: physicians and restoration ecologists unite in a common cause. *Ecology and Society* 21(4): 39-49.
- Costanza, R., B. G. Norton, B. D. Haskell (eds) (1992). *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- Costanza, R., and H. E. Daly. (1993). Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6:37-46.
- Costanza, R., R. d’Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O’Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt (1999). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Egoh, B., Reyers, B., Rouget, M., Boded, M., and Richardson, D.M. (2009). Spatial Congruence between Biodiversity and Ecosystem Services in South Africa. *Biological Conservation* 142:553-562.
- FAO (1995). *Code of Conduct for Responsible Fisheries*. Rome.
- Fulton, E.A. (2005). Which Ecological Indicators Can Robustly Detect Effects Of Fishing ?. *ICES J. Marine Sci.* 62: 540-544.
- Jordan, A. and T. O’Riordan (1999). *The Precautionary Principle in Contemporary Environmental Policy and Politics*. Island Press, Maryland, USA.
- LaRoche et al. (1997). Brown Tide Blooms in Long Island’s Coastal Waters Linked To Interannual Variability In Groundwater Flow. *Global Change Biology* 3(5): 397-410.
- Lichatowich, J. A. 2001. Pacific salmon life histories. Pages 59-63 in *Oregon Salmon: Essays on the State of the Fish at the turn of the Millennium*. Oregon Trout, Portland, 75p.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystems and human well-being: general synthesis*. Island Press, Washington, D.C., USA.

- Murawski, S.A., R. Brown, H.-L. Lai, P. J. Rago and L. Hendrickson (2000). Large-scale closed areas as a fishery-management tool in temperate marine systems: The Georges Bank experience. *Bulletin of Marine Science*, 66(3): 775–798.
- Nel, J.L. and Driver, A. (2012). National Biodiversity Assessment 2011: Technical Report. Volume 2: Freshwater Component. CSIR Report No. CSIR/NRE/ECO/IR/2012/0022/A. Council for Scientific and Industrial Research, Stellenbosch.
- NRC (1997). Marine Ecosystems And Fisheries. Highlights Of National Academic Report. Ocean Science Series. 63p.
- O'Brien, A., K. Townsend, H. Robin (2016). How is ecosystem health defined and measured? A critical review of estuaries and freshwater studies. *Ecological Indicators* 60: 722-729.
- Rabalais, et al. (1999). Ecosystem Services for Poverty Alleviation: Marine & Coastal Situational Analysis. Synthesis Report. 53p.
- Rapport, D.J. (1992). What Constitutes Ecosystem Health? *Perspect Biol.Med.* 33: 120-132.
- Rapport, D.J., R. Costanza and A.J. McMichael (1998). Assessing Ecosystem Health. *TREE* Vol. 13 (10): 397-402.
- Rosenberg, A.A. (2003). Multiple uses of Marine Ecosystem. Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem 7 Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001. DOI: 10.1079/9780851996332.0189
- Sala, O. E. (2000). Global Biodiversity Scenarios for The Year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco, and J.M. Melillo (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Wainger, L.A. and J.W. Boyd (2009). Valuing Ecosystem Services, in: Ecosystem-based management for the oceans 92: 100-115 (Eds. Karen McLeod and Heather Leslie).
- Whitledge et al. (1999). Ecology of South-east Bering Sea. (Eds. M. Dag and T. Royer). p. 5821-5853.