

## Full Paper

**APLIKASI MODEL DINAMIK DAMPAK EUTROFIKASI DAN SEDIMENTASI  
BAGI PENGENDALIAN KERUSAKAN TERUMBU KARANG  
DI PERAIRAN SULAWESI SELATAN**

**DYNAMIC MODEL APPLICATION OF EUTROPHICATION AND SEDIMENTATION IMPACT  
ON CORAL REEFS DAMAGE IN WATERS OF SOUTH SULAWESI**

**Chair Rani<sup>1</sup>, M. Natsir Nessa<sup>1</sup>, Jamaluddin Jompa<sup>1</sup>, Syamsuddin Thoaha<sup>2</sup>, dan Ahmad Faizal<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Ilmu Kelautan, FIKP Unhas

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Matematika, FMIPA Unhas

\*Penulis untuk korespondensi; E-mail: erickch\_rani@yahoo.com

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaplikasian model dinamik pengaruh eutrofikasi dan sedimentasi terhadap kerusakan terumbu karang dalam skop yang lebih luas. Uji coba dilakukan pada dua kawasan utama terumbu karang di Sulawesi Selatan, yaitu di Kepulauan Spermonde dan di Kepulauan Sembilan (Teluk Bone). Pengambilan data meliputi kualitas perairan terumbu karang, dengan pengukuran konsentrasi nutrisi (nitrat dan fosfat) dan laju sedimentasi. Data ekologi yang diambil yaitu tutupan makroalga, terumbu karang, dan jenis serta kelimpahan ikan karang herbivora. Pengambilan data dilakukan selama empat bulan pada 6 stasiun pulau. Pada setiap pulau data diambil di dua titik sebagai ulangan. Data oseanografi diambil setiap bulan, sedangkan data ekologi diambil di akhir penelitian. Pengukuran konsentrasi nutrisi (nitrat dan fosfat) dan laju sedimentasi dilakukan di laboratorium. Hasil uji model menunjukkan bahwa model yang telah dikembangkan tergolong valid dan bersifat general sehingga dapat diaplikasikan pada wilayah lain yang telah mengalami dampak eutrofikasi dan sedimentasi. Hasil eksekusi model menunjukkan bahwa semua stasiun pulau mengarah pada *phase shift* yang mengarah ke dominannya tutupan makroalga pada masa yang akan datang (sekitar 2-4 tahun yang akan datang).

**Kata Kunci: model dinamik, eutrofikasi, sedimentasi, terumbu karang**

**Abstract**

The application of dynamic model to describe the effect of eutrophication and sedimentation on coral reefs damage in a wider scope. The trial were performed in two main areas of coral reefs in South Sulawesi, namely in Spermonde Archipelago and in Sembilan Archipelago in Bone Bay. Retrieval of data include measurements of water quality (nitrate and phosphate concentration) and the rate of sedimentation. While collecting of ecological data, namely macroalgae cover, coral reef cover, and species of herbivores and its abundance. Data was collected on monthly for 4 months at six stations/islands. The data was taken at two points on each island as replicates. Oceanographic data were taken every month, while the ecological data were taken at the end of the study. Nutrients concentration (nitrat and phosphat) and sedimentation rate were measured in laboratory. The result of the model test showed that the developed model is valid and broad-spectrum and therefore can be applied to other areas already impacted by eutrofication and sedimentation. The results of the execution of the model shows that all stations on the island leads Phase shift, namely the dominance of macroalgae cover in the future (about 2-4years in the future).

**Keywords: dynamic model, eutrification, sedimentation, coral reef**

**Pengantar**

Ekosistem terumbu karang yang berada di pesisir dan pulau-pulau kecil menjadi salah satu ekosistem yang cenderung terdegradasi atau rentan terhadap pengaruh pencemaran dari daratan (Chazottes & Reijmer, 2008; Costa Jr, *et al.*, 2006) menemukan bahwa kematian karang di Teluk Bahia, Brazil disebabkan oleh aktivitas manusia di daratan,

khususnya akibat pengaruh eutrofikasi yang memicu perubahan komunitas dari karang menjadi alga bentik yang disertai dengan peningkatan klorofil dan peningkatan kelimpahan hewan *filter feeders*. Nutrien meningkat pada lokasi yang dekat dengan permukiman dan lahan pertanian yang memicu pertumbuhan makro alga, dan menurunnya kelimpahan beberapa jenis karang (Chazottes & Le Campion, 2002).

Pengayaan hara di wilayah pesisir dapat menyebabkan “*Phase-shift*” yaitu berubahnya suatu terumbu yang awalnya didominasi oleh karang menjadi terumbu yang didominasi oleh alga dalam jangka waktu yang relatif lama (McCook *et al.*, 2000; Edinger *et al.*, 1998; Costa Jr *et al.*, 2006; Renken & Mumby, 2009; Lapointe *et al.*, 2005).

Beberapa fenomena peristiwa *phase-shift* tersebut memperlihatkan bahwa ada pengaruh yang sangat jelas antara peningkatan jumlah nutrisi yang masuk ke badan perairan terhadap peningkatan produktivitas primer yang memicu pertumbuhan makroalga dan akhirnya berpengaruh secara tidak langsung dengan terumbu karang. Pengaruh tidak langsung tersebut dalam bentuk kompetisi ruang (McCook *et al.*, 2000).

Gejala eutrofikasi sebagai salah satu penyebab degradasi terumbu karang di Kepulauan Spermonde telah teridentifikasi sejak beberapa tahun belakangan ini, yang dicirikan oleh tingginya korelasi penutupan makroalga, kerusakan karang dan tingginya konsentration nutrisi (Edinger *et al.*, 2000; Nurliah, 2002).

Pembuatan model dinamik mengenai pengaruh eutrofikasi dan sedimentasi terhadap kerusakan terumbu karang telah dilakukan di Kepulauan Spermonde. Penelitian pada tahun 2012 sengaja dilakukan di Kep. Spermonde karena lokasi tersebut menerima beban antropogenik yang tinggi akibat peningkatan suplai nutrisi dari kegiatan pertanian, pertambakan dan pembuangan limbah baik domestik maupun limbah industri serta terindikasi mengalami eutrofikasi (Edinger *et al.*, 1998; Nurliah 2002; PPTK, 2002).

Peningkatan suplai nutrisi dalam jangka waktu yang panjang akan mengakibatkan semakin parahnya kondisi ekosistem termasuk ekosistem terumbu karang. Untuk memprediksi tingkat kerusakan ekosistem terumbu karang di masa yang akan datang maka digunakan pendekatan pemodelan. Model ini akan memberikan informasi sejauh mana kerusakan terumbu karang untuk beberapa skenario ke depan berdasarkan pengaruh beban nutrisi dan sedimentasi, sehingga akan menjadi acuan dalam pengendalian dan pembangunan wilayah pesisir.

Model yang telah dihasilkan pada tahun 2012, dibangun dari data-data yang dikumpulkan hanya pada satu kawasan, yakni di Kep. Spermonde. Hasil pengujian model menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antara kondisi aktual dan hasil prediksi model terhadap nilai rata-rata tutupan makroalga dan tutupan karang. Hasil ini membuktikan bahwa model yang dibangun untuk memprediksi

tutupan makroalga dan karang tergolong valid. Kevalidan juga dibuktikan dari hasil regresi yang signifikan antara nilai aktual dan nilai prediksi (Rani *et al.*, 2012). Oleh karena itu, model yang telah dibangun perlu diujicobakan dalam pengaplikasiannya dalam skop yang lebih luas untuk menentukan apakah model yang telah dibangun bersifat umum atau spesifik lokasi. Untuk tujuan tersebut, maka model akan diujicobakan pada dua kawasan terumbu karang utama di Sulawesi Selatan, yaitu di Kepulauan Spermonde dan Teluk Bone (Kepulauan Sembilan). Ke-2 wilayah ini dianggap menarik karena memiliki dampak eutrofikasi dan sedimentasi yang bervariasi berdasarkan kehadiran muara sungai dan aktivitas pertanian dan pertambakan.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji 1) validitas model dinamik dampak eutrofikasi dan sedimentasi dalam pengendalian kerusakan terumbu karang pada skop area yang lebih luas dan 2) menentukan status model yang telah dibangun apakah bersifat general atau spesifik lokasi dan prospek model untuk diaplikasikan pada skop nasional.

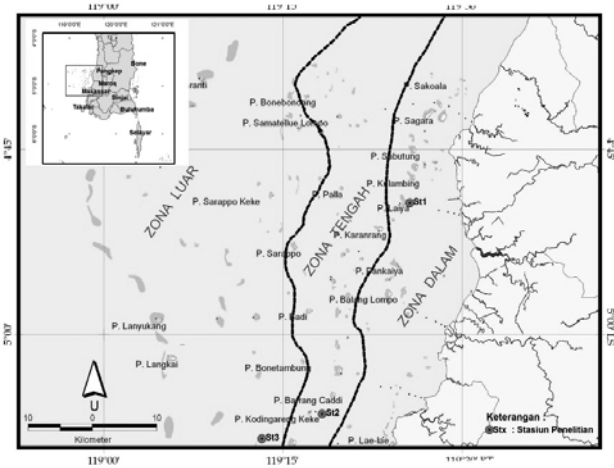
Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengendalian kerusakan terumbu karang oleh dampak eutrofikasi dan sedimentasi. Hasil penelitian ini juga memberikan solusi seberapa besar pengendalian nutrisi, sedimentasi, dan kelimpahan ikan herbivora untuk meningkatkan kualitas terumbu karang.

## Bahan dan Metode

### *Waktu dan Tempat*

Pengambilan sampel dilaksanakan selama 4 bulan yaitu bulan Juli hingga Oktober 2013. Lokasi penelitian ditentukan berdasarkan tingkat kerentanan terumbu karang terhadap dampak eutrofikasi dan sedimentasi. Wilayah yang dianggap rentan terhadap dampak eutrofikasi dan sedimentasi yang tinggi berada di wilayah Kep. Spermonde dengan mempertimbangkan banyaknya muara sungai baik yang berada di Makassar, Kab. Maros dan Kab. Pangkep berada dan aktivitas pertanian dan pertambakan di sekitar daerah aliran sungai. Di Kep. Spermonde sampling dilakukan pada 3 pulau (P. Laiya, P. Samalona, dan P. Kodingarengke). Adapun lokasi sampling di wilayah Kep. Spermonde disajikan pada Gambar 1.

Untuk wilayah perairan Teluk Bone, berada di Kep. Sembilan, mewakili lokasi yang dianggap menerima dampak eutrofikasi dan sedimentasi yang moderat, dengan pertimbangan adanya muara Sungai Reang-Reang, di Kec. Sinjai Timur dengan aktivitas



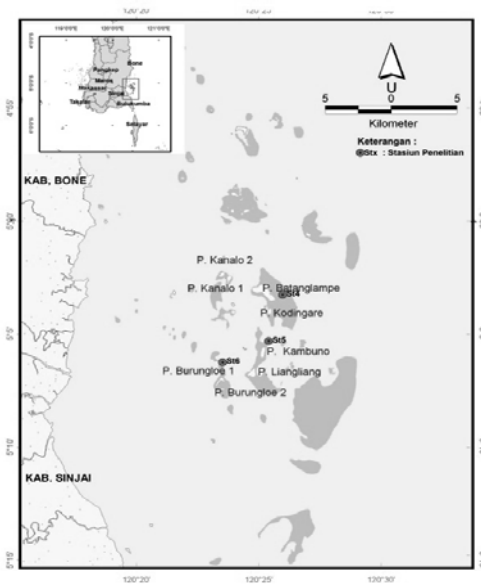
Gambar 1. Lokasi penelitian di Kepulauan Spermonde.

pertanian dan pertambakan yang berada di sekitarnya namun lebih rendah intensitasnya dibandingkan dengan muara-muara sungai yang bermuara di Kep. Spermonde. Untuk di Kepulauan Sembilan Kab. Sinjai ditentukan stasiun sampling di Pulau Burungloe, P. Kambuno, dan P. Batanglampe (Gambar2).

Pengolahan dan analisis sampel dilaksanakan di Laboratorium Ekologi Laut dan Laboratorium Kimia Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan FIKP-Unhas.

**Prosedur Penelitian**

Pada setiap pulau di lokasi penelitian, dilakukan pengambilan data ekologi dan parameter lingkungan. Pengamatan tutupan makroalga dan tutupan karang hidup dilakukan dengan teknik Transek Garis sepanjang 50 m, dan estimasinya dilakukan dengan bantuan transek kuadran (plot) seluas 1 x 1 m<sup>2</sup> yang telah dilengkapi dengan 16 kisi-kisi berukuran 25 x 25 cm<sup>2</sup> dan ditempatkan secara sistematis dengan interval 10 m (Gambar 3). Sedangkan estimasi kelimpahan grazer (ikan herbivora) dilakukan dengan

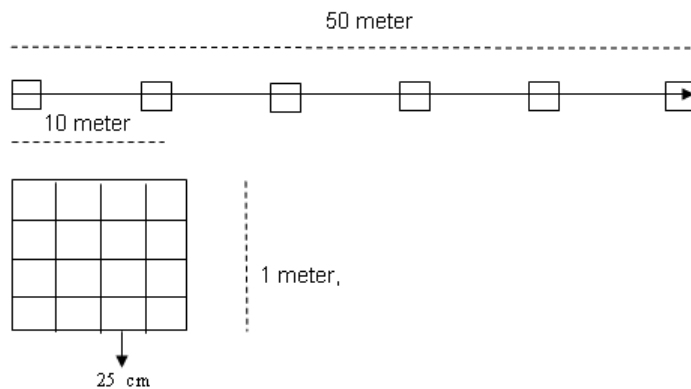


Gambar 2. Lokasi penelitian Kepulauan Sembilan, Kab. Sinjai.

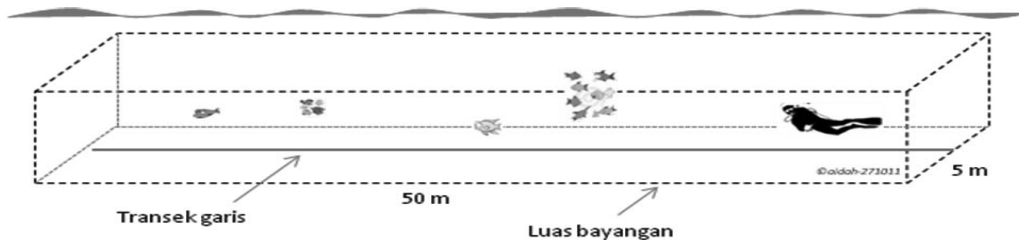
teknik Visual Sensus di sepanjang transek garis pada pengamatan tutupan makroalga dan karang hidup, dengan luasan area pemantauan sebesar 250 m<sup>2</sup> (2,5 m pada sisi kiri dan kanan transek garis 50 m) (Gambar 4).

Pengamatan di setiap stasiun pulau dilakukan pada satu titik pada kedalaman 3-5 meter (di daerah reef slope). Transek garis dibentangkan sejajar garis pantai dan penutupan dasar terumbu dikategorikan berdasarkan *lifeform* terumbu karang (English *et al.*, 1997) dan diestimasi tutupannya dengan metode kuadran.

Pengukuran nutrisi dilakukan selama empat bulan penelitian pada titik yang sama dengan pengambilan data ekologi. Laju sedimentasi diukur dengan menggunakan *sediment trap* (English *et al.*, 1997).



Gambar 3. Teknik sampling dengan Metode Kuadran



Gambar 4. Pemasangan transek garis yang sejajar dengan pulau (atas), dan ilustrasi sensus ikan karang herbivora dengan menggunakan transek garis, luas bayangan untuk jenis ikan dengan ukuran <35cm adalah 5 meter – 2,5 m kiri dan 2,5 m kanan (bawah).

Sedimen trap dipasang selama satu bulan pada setiap stasiun dan diamati setiap bulan selama penelitian. Sampel sedimen yang terendapkan di sedimen trap, dimasukkan ke dalam botol kemudian diukur dengan metode gravimetri di laboratorium.

Sampel air diambil pada setiap titik yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam botol dan disimpan dalam *cool box*. Sampel tersebut selanjutnya dibawa ke laboratorium. Pengukuran laju sedimentasi dilakukan dengan metode gravimetri, sedangkan pengukuran Nitrat (NO<sub>3</sub>) dan Fosfat dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer (merk HAC-USA; Type LPG 422.99.000012, Serial No.1289304).

#### Analisis Data

Validasi model dilakukan dengan cara memasukkan nilai laju sedimentasi, konsentrasi nutrien, tutupan makroalga pada setiap kompartemen pada model yang telah dikembangkan. Nilai parameter yang dimasukkan kemudian dieksekusi dengan model yang telah dihasilkan pada tahun pertama untuk memprediksi nilai tutupan karang hidup dan karang mati pada setiap stasiun pulau di semua lokasi penelitian. Nilai prediksi tutupan karang hidup dan karang mati yang dihasilkan oleh model, selanjutnya dibandingkan dengan nilai sebenarnya yang diperoleh untuk setiap lokasi pulau. Nilai-nilai tersebut selanjutnya diuji dengan analisis *t-student* dan keputusannya dianggap valid jika nilai rata-rata hasil prediksi model tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan nilai sebenarnya (nilai tutupan karang hidup dan karang mati hasil pengamatan langsung), demikian pula jika terjadi sebaliknya. Cara lain yang juga dilakukan dengan menguji korelasi antara nilai aktual dan nilai prediksi model dengan analisis regresi sederhana. Jika korelasi antara nilai aktual dan nilai prediksi menunjukkan nilai yang signifikan maka model dinyatakan valid.

Analisis status atau sifat model dilakukan setelah analisis validitas. Hasil analisis validitas tersebut

kemudian dikelompokkan menurut wilayah kajian (Kep. Spermonde dan Teluk Bone).

Hasil tabulasi tersebut, selanjutnya dapat ditarik kesimpulan atau pernyataan sebagai berikut:

- Model dianggap general jika prediksi nilai tutupan karang hidup pada semua wilayah yang diprediksi oleh model yang telah dihasilkan pada Tahun I, Tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan hasil pengamatan *in situ*;
- Model dianggap spesifik lokasi jika prediksi model hanya valid pada satu wilayah saja (tidak valid pada ke-2 wilayah kajian).

#### Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian tahun 2012 telah dibangun 2 model yang saling terkait, yaitu:

- a. Model 1. Model keterkaitan antara nutrien, makroalga dan ikan herbivora dengan persamaan model yang dibangun:

$$\frac{dM}{dt} = 0,0147M - 0,0006M^2 + 0,0002MN - 0,2837MI$$

$$\frac{dN}{dt} = 0,6459N - 0,0118MN$$

$$\frac{dI}{dt} = -4,6949I + 0,0804MI$$

- b. Model 2. Model keterkaitan antara tutupan karang, laju sedimentasi dan makroalga, dengan persamaan yang dihasilkan:

$$\frac{dS}{dt} = 0,0250 - 4,0660S + 0,1306SK$$

$$\frac{dK}{dt} = -0,1860K - 0,0046KM - 1,7728SK$$

$$\frac{dM}{dt} = 0,0458M - 0,0020KM$$

Setiap model sangat membutuhkan validasi. Validasi merupakan tahap akhir pengembangan model dalam sebuah sistem. Validasi ini dimaksudkan apakah

model konsisten terhadap realitas dengan kondisi lapangan, tujuan maupun permasalahan dari sistem. Hasil kerja model dan kondisi aktual dari tutupan karang hidup dan makroalga untuk setiap wilayah kajian disajikan pada Tabel 1.

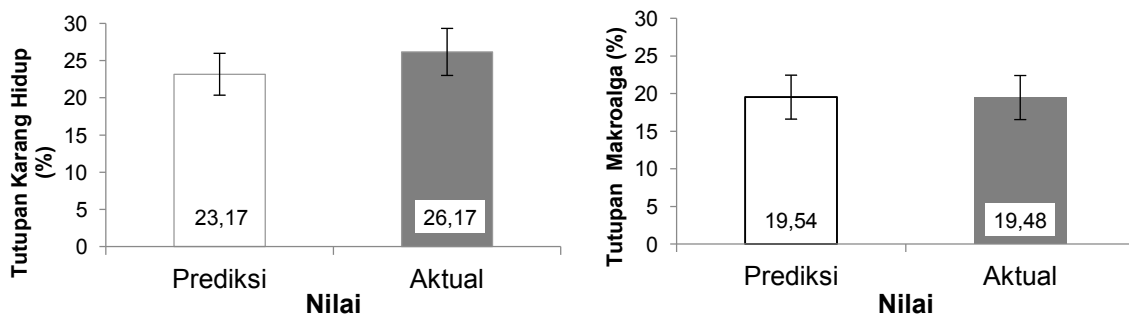
Hasil uji *t-student* antara nilai prediksi model dan nilai aktual pada kompartemen tutupan karang hidup dan tutupan makroalga secara umum (gabungan kedua wilayah kajian) diperoleh nilai rata-rata yang tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada kedua kompartemen yang diuji (Gambar 5). Hasil ini

menegaskan bahwa model yang telah dikembangkan memberikan hasil prediksi yang valid.

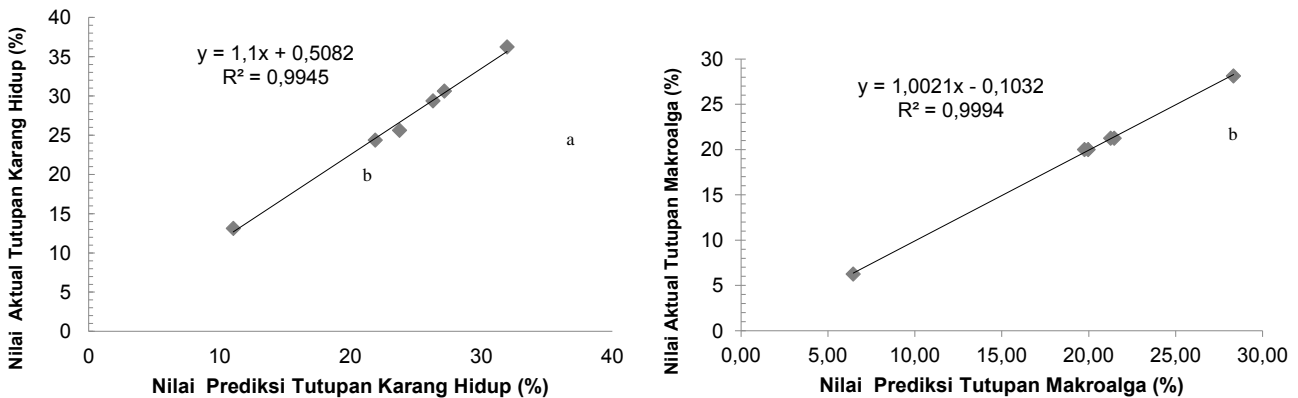
Pengujian kevalidan model yang dibangun juga dilakukan dengan analisis regresi dengan memplotkan nilai tutupan aktual dan prediksi untuk karang hidup dan makroalga. Hasil analisis menunjukkan bahwa ada hubungan yang nyata antara nilai prediksi dan nilai aktual baik untuk tutupan karang hidup maupun makroalga dengan nilai koefisien determinasi masing-masing 99,4% untuk karang hidup dan 99,9% untuk makroalga (Gambar 6).

Tabel 1. Nilai rata-rata tutupan karang hidup dan makroalga pada setiap staisun pulau di setiap wilayah kajian dan nilai prediksinya berdasarkan model yang telah dikembangkan.

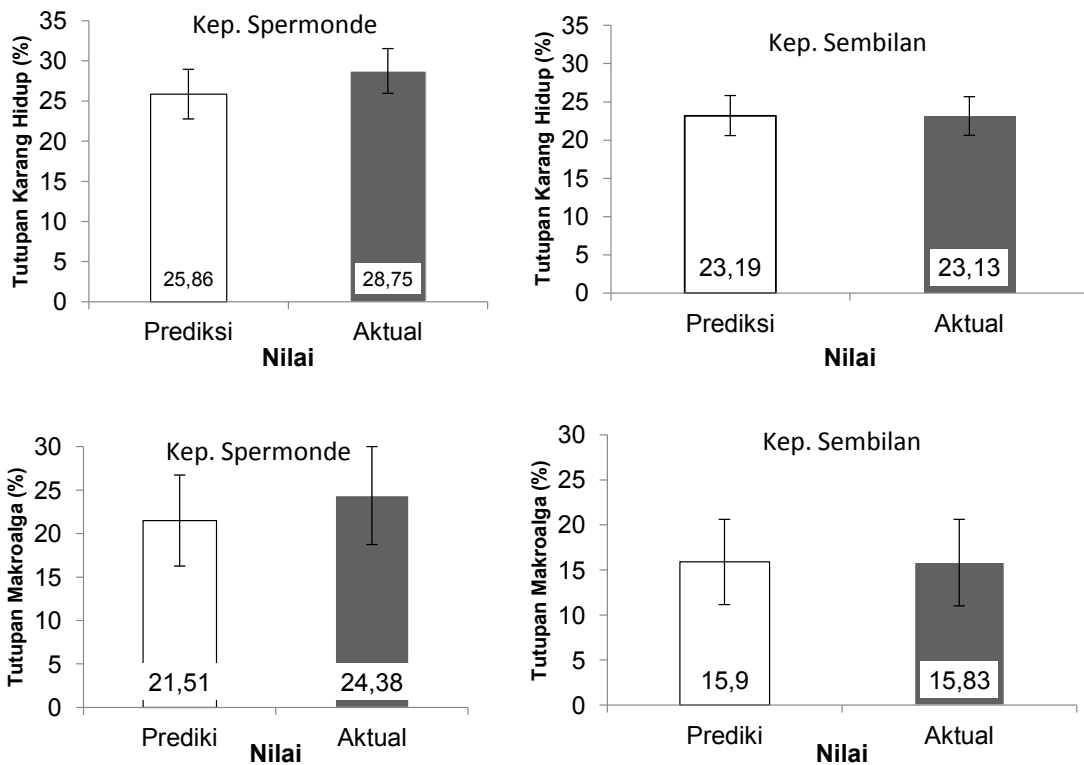
Wilayah Kajian	Nama Pulau	Tutupan Karang (%)		Tutupan Makroalga (%)	
		Prediksi	Aktual	Prediksi	Aktual
Kep. Spermonde	Laiya	31,96	36,25	19,76	20,00
	Kodingarengkeke	23,74	25,63	28,33	28,13
	Samalona	21,89	24,38	21,47	21,25
Kep. Sembilan	Batang Lampe	26,30	29,38	21,27	21,25
	Kambuno	11,05	13,13	6,46	6,25
	Burung Loe	27,17	30,63	19,97	20,00



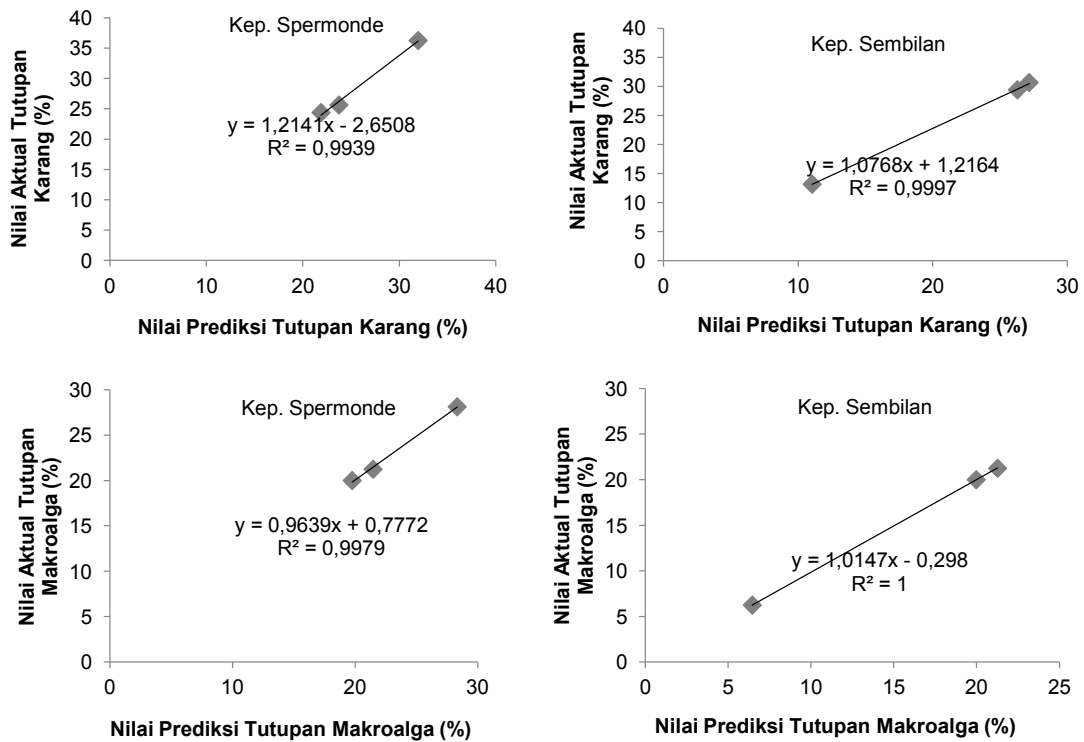
Gambar 5. Nilai rata-rata hasil prediksi dan nilai aktual tutupan karang hidup dan tutupan makroalga pada kedua wilayah kajian. Hasil uji *t-student* menunjukkan nilai rata-rata yang tidak berbeda nyata pada alpha: 5%.



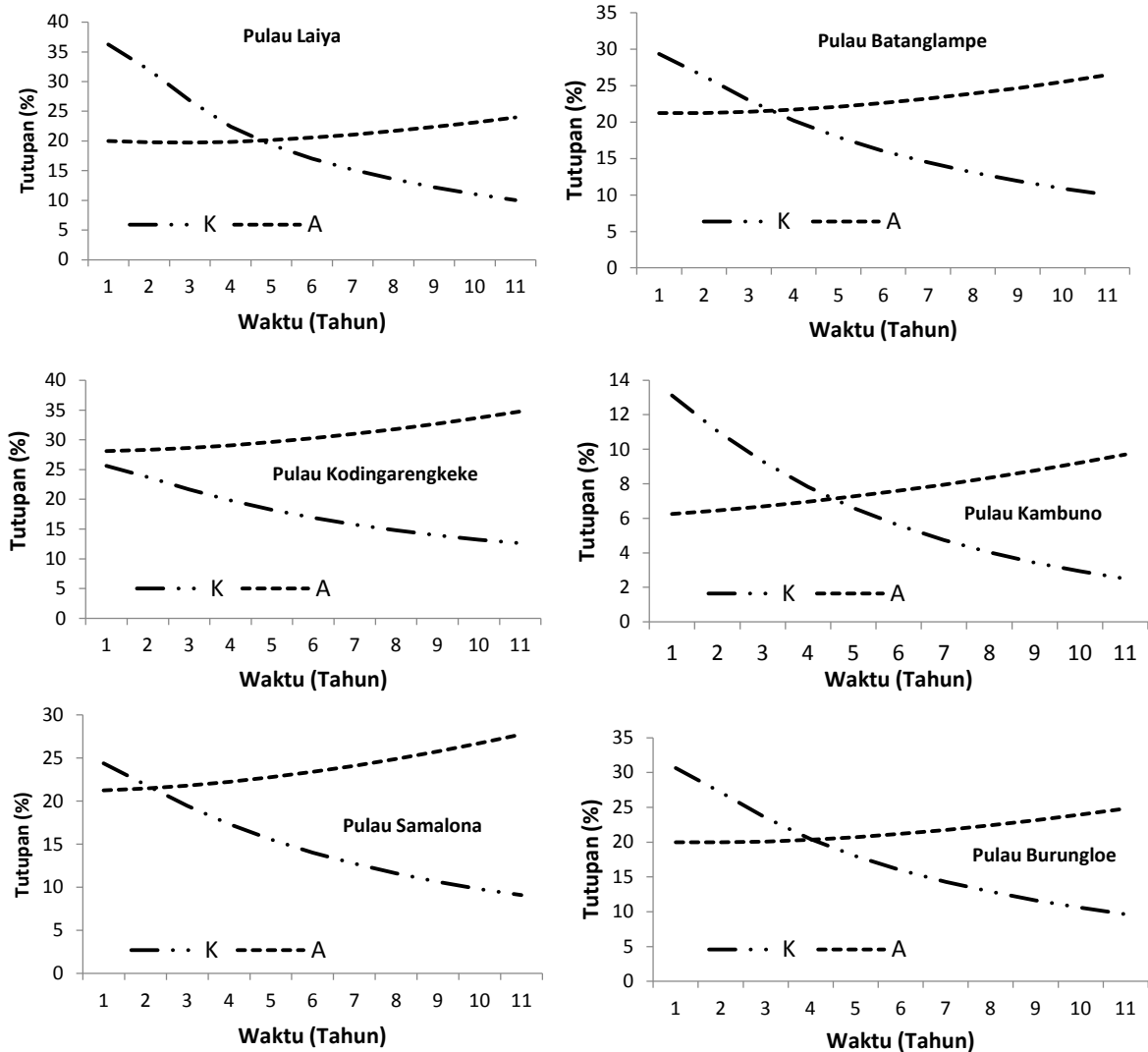
Gambar 6. Hasil analisis regresi untuk uji validasi rata-rata tutupan karang hidup (a) dan rata-rata tutupan makroalga (b) antara hasil simulasi dengan kondisi aktual.



Gambar 7. Nilai rata-rata hasil prediksi dan nilai aktual tutupan karang hidup dan tutupan makroalga pada kedua wilayah kajian. Hasil uji *t-student* menunjukkan nilai rata-rata yang tidak berbeda nyata pada alpha: 5%.



Gambar 8. Hasil analisis regresi untuk uji validasi rata-rata tutupan karang hidup dan rata-rata tutupan makroalga antara hasil simulasi dengan kondisi aktual pada kedua wilayah kajian



Gambar 9. Hasil prediksi model dinamis terhadap tutupan karang hidup dan makroalga sampai 11 tahun ke depan.

Hasil pengujian dengan analisis regresi sederhana kembali menegaskan bahwa model yang dibangun untuk mempelajari dinamika tutupan karang hidup dan makroalga oleh pengaruh eutrofikasi dan sedimentasi dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana nasib terumbu karang ke depan.

Untuk menguji model apakah bersifat general atau spesifik lokasi, maka juga diuji menurut wilayah kajian terhadap dua parameter (tutupan karang hidup dan makroalga). Hasil uji *t-student* juga menunjukkan bahwa baik di wilayah kajian Kep. Spermonde maupun di wilayah Kep. Sembilan memperlihatkan hasil yang tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) antara nilai tutupan karang hidup dan tutupan makroalga (Gambar 7).

Demikian pula uji validitas model dengan analisis regresi sederhana memperlihatkan nilai korelasi

yang nyata antara nilai prediksi dan nilai aktual baik terhadap tutupan karang hidup maupun tutupan makroalga dengan nilai korelasi  $> 99\%$  (Gambar 8).

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa model yang telah dibangun tahun sebelumnya bersifat general dan tergolong valid. Oleh karena itu model ini dapat diaplikasikan pada wilayah kajian lainnya untuk memprediksi dampak eutrofikasi dan sedimentasi terhadap terumbu karang dalam rangka pengelolaan terumbu karang di masa yang akan datang. Bahkan bisa diterapkan di Kep. Seribu mengingat bahwa dampak eutrofikasi di wilayah tersebut nyata pengaruhnya. Hasil Penelitian Damar (2003) menunjukkan estimasi *Dissolve Inorganic Nitrogen* (DIN) yang masuk ke perairan Teluk Jakarta dari 3 sungai besar yaitu sebesar 21.260 ton/tahun. Total fosfat yang masuk ke Teluk Jakarta sepanjang tahun

adalah sebesar 6.741 ton/tahun, sedangkan silikat sebesar 52.417 ton/tahun. Sumber bahan organik dan anorganik tersebut menurut Paongan *et al.* (2006) diakibatkan oleh tingginya aktivitas *run-off* yang masuk ke Teluk Jakarta dan tentunya memberikan pengaruh yang negatif terhadap kondisi perairan. Aktifitas *run-off* umumnya membawa berbagai macam buangan dari daratan, seperti buangan aktivitas pertanian berupa pestisida, pupuk yang banyak mengandung nutrisi serta sedimentasi. Selain itu aktivitas industri yang melakukan pembuangan limbah cair dan padat ke aliran sungai juga akhirnya masuk ke dalam perairan Teluk Jakarta. Belum lagi buangan limbah rumah tangga yang banyak mengandung limbah organik maupun anorganik. Tingginya senyawa-senyawa organik dan anorganik yang masuk ke Teluk Jakarta merupakan sumber pengkayaan zat hara (eutrofikasi) yang telah menyebabkan beberapa kali peristiwa ledakan populasi alga berbahaya/*Harmful Algal Blooms* (HABs). *Algal blooming* juga menyebabkan konsentrasi oksigen di wilayah tersebut menurun (*hypoxia*) dan menyebabkan ikan kekurangan oksigen untuk bernafas yang pada akhirnya menyebabkan kematian ikan dalam jumlah besar. Di Teluk Jakarta telah terjadi beberapa kali HABs dan tahun 2004 terjadi dua kali kematian massal ikan, yaitu pada bulan Mei dan November (Thoha *et al.*, 2007).

Model yang telah dikembangkan telah digunakan untuk memprediksi stasion-stasiun yang dijadikan daerah contoh pada kedua wilayah. Hasil eksekusi model memperlihatkan bahwa pada semua stasiun pulau, telah mengarah pada peristiwa *phase shift* yaitu suatu kejadian yang mengarah ke pergantian dominansi tutupan dasar terumbu karang dari tutupan karang hidup menjadi tutupan makroalga. Bahkan di Pulau Kodingarengkeke sudah terjadi pada saat penelitian. Untuk Pulau Samalona diprediksi akan terjadi *phase shift* pada tahun ke-2, sedangkan pulau-pulau lainnya terjadi pada tahun ke-4 atau ke-5 dari saat sekarang (Gambar 9). Oleh karena itu perlu segera dilakukan tindakan-tindakan pengelolaan terhadap buangan-buangan limbah cair atau limbah organik (termasuk penggunaan pupuk yang tidak terkontrol) sebelum masuk ke badan air (sungai dan kanal).

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Model yang telah dibangun dibangun tergolong valid dan bersifat general sehingga dapat diaplikasikan

untuk wilayah terumbu karang yang telah mengalami dampak eutrofikasi dan sedimentasi.

Hasil eksekusi model menunjukkan bahwa semua stasiun pulau telah mengarah pada peristiwa *Phase shift*, yaitu kecenderungan dominannya tutupan makroalga di masa mendatang (sekitar 2-4 tahun yang akan datang).

### Saran

Upaya perbaikan kondisi terumbu karang atau untuk mencegah terjadinya kondisi *phase shift* maka perlu dipikirkan tindakan pengelolaan untuk mencegah masuknya limbah cair atau limbah organik ke badan air (sungai dan kanal) dengan beberapa cara, antara lain 1) efisiensi penggunaan pupuk pada sektor pertanian, 2) penurunan laju sedimentasi dengan pencegahan erosi sekitar DAS melalui penghijauan pada daerah hulu dan hilir, dan 3) peningkatan kepadatan ikan herbivora dengan pengaturan penangkapan disertai dengan pembentukan daerah-daerah perlindungan.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada DP2M Dikti yang bersedia membiayai penelitian ini dengan nomor kontrak: Nomor: 746/UN4.20/PL.09/2013, Tanggal 10 April 2013. Terimakasih juga penulis haturkan buat saudara Ramli, S.Kel. dan A. Arham Atjo S.Kel atas bantuannya dalam pengambilan data di lapangan.

## Daftar Pustaka

- Chazottes, V. & A. T. Le Campionc. 2002. "The effects of eutrophication-related alterations to coral reef communities on agents and rates of bioerosion (Reunion Island, Indian Ocean)." *Coral Reefs* 21: 375–390.
- Chazottes, V. & J.J.G. Reijmer. 2008. "Sediment characteristics in reef areas influenced by eutrophication-related alterations of benthic communities and bioerosion processes." *Marine Geology* 250(1-2): 114-127.
- Costa Jr, O.S., M.J. Attrill, C. Attrill, M.J. Nimmo & Malcolm. 2006. Seasonal and spatial controls on the delivery of excess nutrients to nearshore and offshore coral reefs of Brazil. *Journal of Marine Systems* 60(1-2): 63-74.
- Damar, A. 2003. Effect of enrichment on nutrient dynamics, phytoplankton dynamics and productivity in Indonesian tropical waters: a



- comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay (in English). Dissertation zur erlangung des doktorgrades der mathematisch-naturwissenschaftlichen fakultat der Christian-Alberchts Universitat. On line dissertation [http://e-diss.unikel.de/diss\\_702/d702.pdf](http://e-diss.unikel.de/diss_702/d702.pdf)[Diakses: 16 September 2003].
- Edinger, E.N., J. Jompa, G.V. Limmon, Widjatmoko, Wisnu & J. Michael. 1998. Reef degradation and coral biodiversity in indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin* 36(8): 617-630.
- Edinger, E.N., G.V. Limmon, Wisnu, M.J. Heikoop & J. Michael. 2000. Normal Coral Growth Rates on Dying Reefs: Are Coral Growth Rates Good Indicators of Reef Health? *Marine Pollution Bulletin* 40(5): 404-425.
- English, S.C., Wilkinson & Baker, V. 1997. Survey Manual for Tropical Marine Resources (Second Edition). ASEAN-Australia Marine Science Project: Living Coastal Resources.
- Lapointe, B.E., P.J. Barile, M. Litter & S.M. Diane. 2005. Macroalgal blooms on southeast Florida coral reefs: II. Cross-shelf discrimination of nitrogen sources indicates widespread assimilation of sewage nitrogen. *Harmful Algae* 4(6): 1106-1122.
- McCook, L.J., E. Wolanski & S. Spagnol.,2000. Modelling and Visualising Interactions between Natural Disturbances and Eutrophication as Causes of Coral Reef Degradation. *Oceanographic Process of Coral Reefs*. CRC: 113 – 126.
- Nurliah, 2002. Kajian Mengenai Dampak Eutrofikasi dan Sedimentasi Pada Ekosistem Terumbu Karang di Beberapa Pulau Perairan Spermonde, Sulawesi selatan (Thesis). Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
- Paongan, Y., D. Soedharma, I.W. Nurjaya & T. Prartono. 2006. Sebaran Spasio temporal Parameter Fisika dan Kimia Perairan Pulau Bokor, Pulau Payung dan Pulau Pari Di Sekitar Teluk Jakarta. Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin. Makassar.
- PPTK., 2002. Penilaian Ekosistem Kepulauan Spermonde, Kabupaten Pangkep, Propinsi Sulawesi Selatan. Final Report. PSTK-COREMAP. Makassar
- Rani, Ch., M.N. Nessa, J. Jompa, S. Toaha, S. & A. Faizal. 2012. Pengembangan Model Dinamik Dampak Eutrofikasi dan Sedimentasi Dalam Pengendalian Kerusakan Terumbu Karang di Kepulauan Spermonde (Penelitian Tahun Ke-1). Laporan Hasil Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Dikti. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Renken, H. & P.J. Mumby. 2009. Modelling the dynamics of coral reef macroalgae using a Bayesian belief network approach. *Ecological Modelling* 220(9-10): 1305-1314.
- Toha, H., Q. Adnan, T. Sidabutar & Sugestingsih. 2007. Note on the occurrence of phytoplankton and its relation with mass mortality in the Jakarta Bay, May and November 2004. *Makara, Sains*, 11(2):63-67.