

Zonasi Perairan Kepulauan Spermonde Berdasarkan Konsentrasi Nutrient dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Terumbu Karang

Zonation of the Waters of Spermonde Archipelago Base on Nutrient Concentration and its Impact to Coral Reef Ecosystem

Ahmad Faizal¹✉

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Jln. Perintis Kemerdekaan Km 10, Makassar, 90245

✉Correspondent author: ahmad.faizal@unhas.ac.id

Abstrak

Kepulauan Spermonde dibagi menjadi empat zona, pembagian zona didasarkan atas distribusi terumbu karang, jarak dari daratan utama dan kedalaman perairan, namun kondisi ini cenderung mengalami perubahan akibat dari tingginya aktivitas antropogenik di Kepulauan Spermonde. Berdasarkan hal tersebut sehingga sangat diperlukan adanya re-zonasi Perairan Kepulauan Spermonde berdasarkan kondisi persebaran nutrisi. Metode penelitian dengan menggunakan integrasi analisis data penginderaan jauh, survei lapangan dan data sekunder yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan *metode boolean* untuk re-zonasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nutrisi dalam hal ini klorofil-a, terkonsentrasi pada zona dalam (dekat daratan utama) dan konsentrasinya lebih tinggi pada musim hujan, kondisi ini mempengaruhi tutupan terumbu karang di Kepulauan Spermonde. Berdasarkan kondisi ini maka perairan Kepulauan Spermonde dibagi menjadi tiga zona yaitu zona dalam dengan kondisi nutrisi yang tinggi dengan tutup bentik yang didominasi oleh *fleshy makroalga*, zona tengah dengan kondisi nutrisi rendah dengan dominasi *crustose coralline* dan zona luar dengan kondisi nutrisi yang rendah dengan dominasi *turf alga / corals*.

Kata kunci: Klorofil-a, makroalga, metode Boolean, dan zonasi.

Abstract

The Spermonde Archipelago is divided into four zones, the division of zones is based on the distribution of coral reefs, distance from the mainland, and water depth, but this condition tends to change as a result of high anthropogenic activity in the Spermonde Islands. Based on this, it is very necessary to re-zoning the Spermonde Archipelago Waters based on the condition of nutrient distribution. The research method uses the integration of remote sensing data analysis, field surveys, and secondary data which are then analyzed using the Boolean method for re-zoning. The results showed that the nutrient, in this case, chlorophyll-a, was concentrated in the deep zone (near the mainland) and the concentration was higher during the rainy season, this condition affected the coral reef cover in the Spermonde Islands. Based on these conditions, the Spermonde Islands waters are divided into three zones, namely the inner zone with high nutrient conditions with a benthic cover dominated by fleshy macroalgae, the middle zone with low nutrient conditions with crustose coralline dominance, and the outer zone with low nutrient conditions with algal turf dominance turf alga/corals.

Keywords: Chlorophyll-a, macroalgae, Boolean method, and zoning.

Pendahuluan

Keberadaan nutrisi di perairan sangat dipengaruhi oleh kondisi geografi, fisiografi, adveksi air laut, regenerasi unsur hara yang terakumulasi pada sedimen dan fiksasi nitrogen dari sedimen terrigenous (D'Elia & Wiebe, 1990; Perez *et al.*, 2019). Selain itu variasi tingkat konsentrasi nutrisi tergantung pada sistem penggunaan lahan di daratan utama (Robards *et al.*, 1994) dan buangan dari industri dan rumah tangga (Shortle dan Richard, 2017).

Nutrien di perairan sangat erat kaitannya dengan produktivitas primer, nilai optimal produktivitas primer di perairan ditandai dengan kecukupan nutrisi dan umumnya tersebar di zona eufotik (Tyson & Pearson, 1991; Desmit *et al.*, 2018). Jumlah produktivitas primer tidak hanya tergantung pada serapan nutrisi tetapi juga pada tingkat metabolisme, yang variasinya dipengaruhi langsung oleh suhu, tingkat ketersediaan nutrisi, jumlah dan jenis spesies (Hallock & Schlager, 1986). Selain itu produksi energi berasal dari proses fotosintesis sebagai respon terhadap pasokan nutrisi yang berasal dari zona fotik, limpasan air sungai, rembesan air tanah dan pembuangan limbah (Chazottes *et al.*, 2008; Perez *et al.*, 2019) Khusus pada ekosistem perairan, siklus nutrisi berlangsung dengan sangat efektif (Costa, 2008).

Nutrien merupakan faktor pembatas pada ekosistem, jika terjadi peningkatan nutrisi, maka juga akan meningkatkan respon metabolik (Droop, 1983; Parsons *et al.*, 1984.). Tanggapan metabolik tersebut dapat berupa fotosintesis, respirasi, produktivitas primer, pembentukan kapur, penurunan laju pertumbuhan, pembelahan sel, atau peningkatan hasil produksi (Atkinson, 1988).

Peningkatan jumlah nutrisi pada perairan akan menyebabkan pengayaan, yang disebut juga dengan eutrofikasi (Hallock *et al.*, 1993; Szmant & Forrester, 1996). Eutrofikasi pada ekosistem khususnya pada terumbu karang sangat dipengaruhi oleh kondisi oseanografi, dan perubahan struktur komunitas bentik (Bell, 1992; Lapointe, 1992).

Gugusan pulau-pulau di Spermonde yang biasa juga disebut dengan nama Kepulauan Spermonde (*Spermonde Shelf*) terletak di Selat Makassar. Gugusan pulau tersebut terbentang dari pesisir Kabupaten Takalar hingga pesisir Kabupaten Mamuju Kepulauan ini juga dikenal dengan nama Kepulauan Sangkarang dengan jumlah pulau sekitar 121 pulau. Namun Sebagian besar pulau dari Kepulauan Spermonde ini berada di wilayah administrasi Kabupaten Pangkep (de Klerk, 1983).

Kepulauan Spermonde dibagi menjadi empat zona. Pembagian zona didasarkan atas distribusi terumbu karang, jarak dari daratan utama dan kedalaman perairan. Zona pertama (1) adalah zona yang disebut dengan Zona Dalam (*inner zone*) yang berbatasan langsung dengan daratan utama. Kedalaman rata-rata 10 meter dan substrat lebih didominasi oleh pasir berlumpur. Zona kedua (2) yang disebut juga dengan Zona Tengah Bagian Dalam (*middle inner zone*) dengan rata kedalaman 30 meter, jarak dari daratan utama kurang lebih 5 kilometer dengan substrat yang didominasi oleh karang. Zona ketiga (3) atau Zona Tengah Bagian Luar (*middle outer zone*) dengan kedalaman perairan 20 – 50 meter, dan substrat dasar terumbu sampai pada slope. Zona keempat (4) adalah Zona Terluar (*outer zone*)

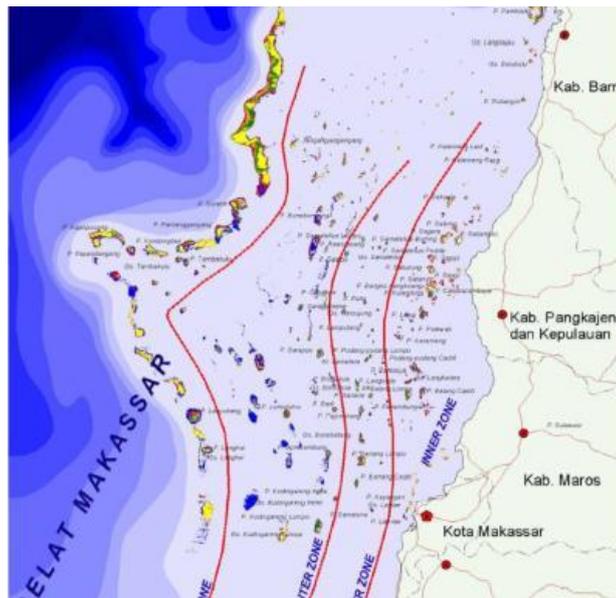
dengan ciri khusus terumbu penghalang, kedalaman rata-rata 40 -50 meter bahkan ada yang mencapai 100 meter dengan rata-rata jarak dari daratan 30 kilometer (Hutchinson, 1945 dalam Hoeksema, 1990).

Perubahan kondisi perairan dengan banyaknya aktivitas antropogenik seperti penggunaan pupuk di daratan, limbah rumah tangga, penangkapan ikan, pariwisata, transportasi laut dan lain-lain, hal ini menyebabkan perubahan kondisi secara umum dari perairan berupa kerusakan ekosistem dan peningkatan konsentrasi nutrien, salah satu nutrien yang paling mudah diukur baik dengan menggunakan teknologi pengideraan maupun dengan survei langsung adalah *klorofil-a*. Berdasarkan hal tersebut sehingga sangat diperlukan adanya kajian atau re-zonasi perairan spermonde berdasarkan kondisi persebaran nutrient.

Bahan dan Metode

Lokasi dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Wilayah Kepulauan Spermonde, Provinsi Sulawesi Selatan. (Gambar 1) Pemilihan lokasi penelitian didasarkan atas pertimbangan fenomena lingkungan yang terkait dengan konsentrasi nutrient dan dampaknya terhadap kerusakan ekosistem karang dengan zonasi berdasarkan Hutchinson, (1945) dalam Hoeksema, (1990).



Gambar 1. Lokasi Penelitian, Kepulauan Spermonde, Sulawesi Selatan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut : Citra Satelit NOAA-AVHR dan MODIS tahun 2020, data sekunder hasil penelitian Faizal (2012) dan Faizal (2022). Sedangkan untuk *ground cek* dilaksanakan pada tahun 2020 dengan menggunakan *Global Position System* (Montana 650) untuk menentukan posisi/titik stasiun

penelitian; alat tulis menulis untuk pencatatan data; botol sampel untuk tempat sampel air spektrometer (LPG 422.99.000012, Serial No. 1289304) Komputer untuk pengolah data statistik dan pengolah data spasial.

Analisis Data

Sumber data sebaran klorofil-a diperoleh dari Data SeaWifs yang didownload dari situs <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl/>. dalam bentuk data ASCII, data citra yang digunakan adalah citra rata-rata musiman; musim kemarau Juli-Oktober dan Musim hujan Desember-Maret 2020. Analisis data dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

- Konsentrasi klorofil-a dipetakan dengan menggunakan analisis dengan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) dengan persamaan berikut:

$$z = \frac{\sum_i^n 1 \left(\frac{z_i}{D_i} \right)}{\sum_i^n 1 \left(\frac{1}{D_i} \right)}$$

Keterangan : (Z) = Nilai Intepolasi; (zi) = Data pada titik z, (Di)= jarak antar data; dan (n) = Jumlah data.

- Uji Akurasi antara data lapangan dan hasil olahan citra dengan perhitungan nilai Root Mean Square Errorr (RMSE) dengan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (z_i - Z_j)^2}{n}}$$

Keterangan : (Zi)= Data hasil analisis citra; (Zj)= Data pengukuran lapangan; dan (n)=jumlah data

- Perbedaan konsentersasi klorofil-a antara musim hujan dan kemarau pada setiap zona dengan menggunakan uji t-student.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

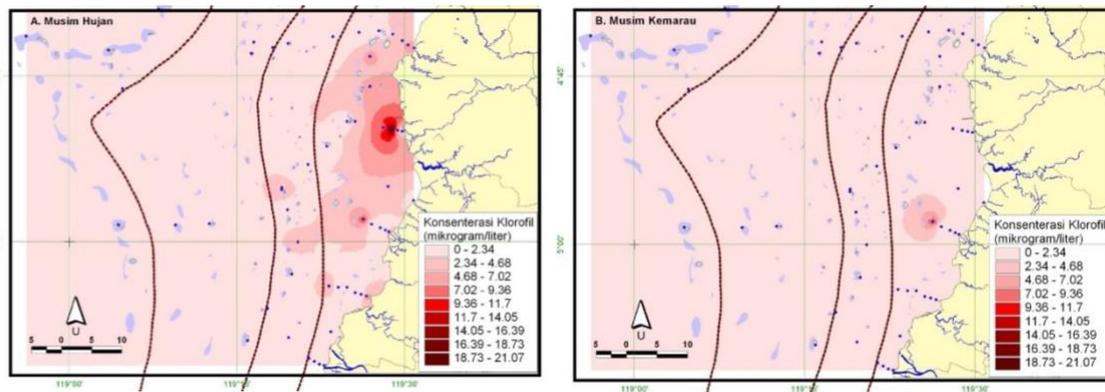
Keterangan : (t)= t hitung; (\bar{X})= rata-rata sampel; (μ_0)= rata-rata spesifik atau rata-rata tertentu (yang menjadi perbandingan); (s) = standart deviasi; dan (n) = jumlah data

- Analisis spasial untuk Re-zonasi perairan Kepulauan Spermonde berdasarkan atas produktivitas primer dan kondisi terumbu karang dengan menggunakan Metode Boolean.

Hasil dan Pembahasan

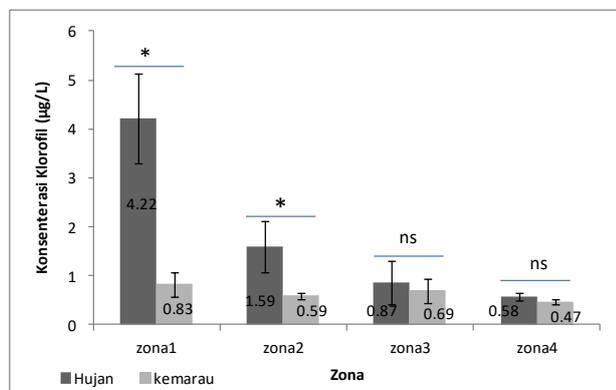
Klorofil-a

Ketersediaan klorofil-a dalam perairan dapat digunakan sebagai alat ukur untuk menilai produktivitas perairan, semakin tinggi klorofil maka tingkat kesuburan perairan juga semakin tinggi. Berdasarkan atas pengolahan data klorofil-a tahun 2020 dengan menggunakan data rata-rata musiman dapat dilihat pada Gambar 2. Pada musim hujan sebaran klorofil-a cenderung merata pada semua zona, kecuali pada wilayah pesisir terlihat konsentrasi yang cukup tinggi. Sedangkan pada musim kemarau konsentrasi klorofil-a merata disemua zona. Pada musim hujan konsentrasi klorofil-a berkisar 0.15 – 21.37 µg/L sedangkan pada musim kemarau konsentrasi klorofil-a berkisar antara 0.33 -8.51 µg/L.



Gambar 2. Sebaran spasial klorofil-a pada a). musim hujan dan b). Musim Kemarau

Hasil analisis dengan uji t-student, konsentrasi klorofil-a pada musim hujan dan musim kemarau pada masing-masing zona, ditemukan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$) pada Gambar 3. Perbedaan konsentrasi klorofil-a antara musim hujan dan kemarau ditemukan pada Zona 1 dan Zona 2 ($p < 0,05$) dan tidak ada perbedaan pada Zona 3 dan Zona 4 ($p > 0,05$).



Gambar 3. Konsentrasi klorofil-a pada masing-masing zona dan periode musim (*) berbeda nyata (ns) tidak berbeda pada $\alpha = 0,05$

Pada periode Kondisi Musim hujan konsentrasi klorofil-a terukur tinggi pada Zona 1 dan Zona 2, sedangkan pada periode pengamatan Musim kemarau didapatkan konsentrasi

klorofil-a yang rendah untuk semua zona. Hasil analisis statistik dengan uji t membuktikan bahwa ada perbedaan konsentrasi klorofil pada Zona 1 dan Zona 2 antara musim kemarau dan musim hujan. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh limpasan material dari daratan hanya berpengaruh sampai pada Zona 2 sementara pada Zona 3 dan Zona 4 konsentrasi klorofil-a sebagai indikator kesuburan murni, yang dimungkinkan disebabkan oleh konsentrasi alami baik yang bersumber dari *upwelling* maupun aktivitas lainnya. Hasil yang sama juga telah didapatkan Muripto (2000), di perairan Jawa bagian barat dan Tambaru (2008) di Muara sungai Maros, Sulawesi Selatan, menemukan bahwa konsentrasi klorofil-a pada musim kemarau lebih rendah dibandingkan konsentrasi pada musim hujan.

Secara temporal menunjukkan penurunan konsentrasi klorofil-a, pada musim hujan konsentrasinya cenderung tinggi untuk semua pulau sedangkan pada musim kemarau konsentrasinya cenderung menurun. Penyebab utamanya adalah berkurangnya suplai nutrien pada curah hujan yang rendah (Davis, 2004; Costa *et al.*, 2006). Hasil yang sama didapatkan oleh Erfetemeijer *et al.* (1994) pada Pulau Barranglompo dengan rata-rata konsentrasi fosfat dan klorofil yang tinggi ditemukan pada peralihan musim hujan hingga musim hujan (September – Januari) dan konsentrasi rendah ditemukan pada peralihan musim kemarau hingga musim hujan (April – Agustus), fenomena yang sama juga ditemukan di sekitar pantai Kota Makassar khususnya Gusung Talang.

Uji Ketelitian

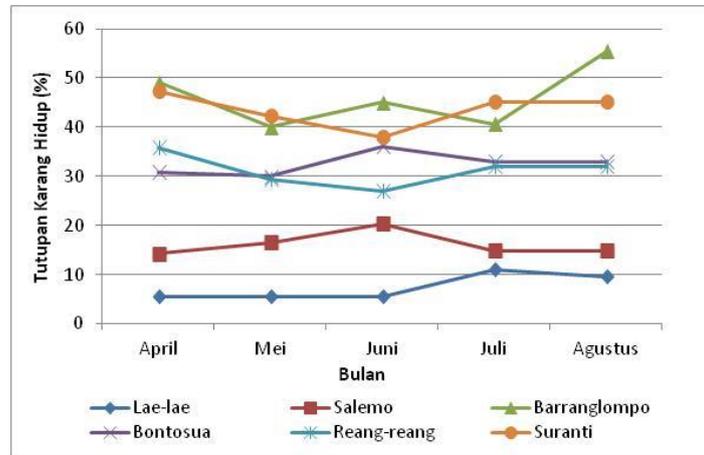
Perbandingan antara hasil pengukuran lapangan (insitu) dengan hasil pengolahan citra satelit terlihat pada Tabel 1. Dimana hasil perhitungna dengan menghitung nilai RMS antara data insitu dengan data pengolahan citra adalah 0,003. Berdasarkan atas nilai hasil uji ketelitian yang didapatkan pada penelitian ini membuktikan bahwa data hasil pengolahan dapat digunakan untuk pemetaan kondisi klorofil di Kepulauan Spermonde.

Tabel 1. Perbandingan antara data pengamatan insitu dengan hasil olahan citra

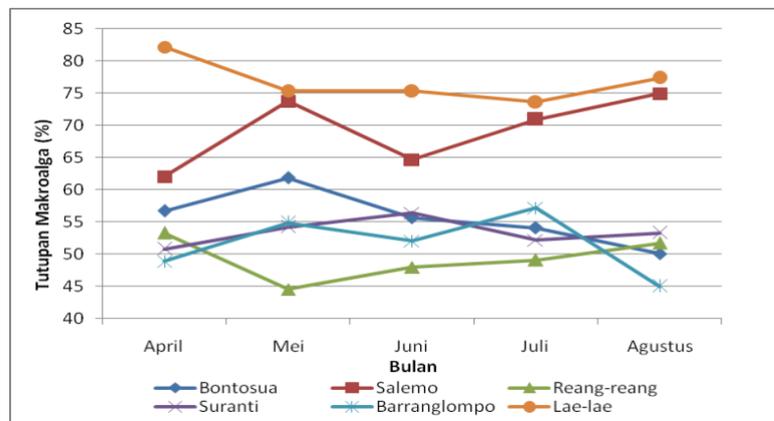
No	Tanggal Pengambilan Data	Kordinat		Konsentrasi Klorofil insitu ($\mu\text{g/L}$) (Zj)	Konsentrasi Klorofil Citra($\mu\text{g/L}$) (Zi)
		X	Y		
St 1	24 Maret 2020	5°32'12.06"S	120°14'27.00"E	27.70	18.05
St-2	24 Maret 2020	5°32'15.36"S	120°14'26.82"E	27.70	18.05
St-3	24 Maret 2020	5°32'17.64"S	120°14'24.42"E	20.20	18.05
St-4	24 Maret 2020	5°32'24.60"S	120°14'19.92"E	27.00	18.05
St-5	24 Maret 2020	5°32'38.64"S	120°14'11.40"E	21.00	18.05
St-6	24 Maret 2020	5°32'52.50"S	120°14'2.52"E	21.70	20.08
St-7	24 Maret 2020	5°33'6.54"S	120°13'53.88"E	24.00	20.08

Kondisi Terumbu Karang

Penilaian kondisi terumbu karang di Kepulauan Spermonde sebagai salah satu ukur dalam penentuan zonasi di Kepulauan Spermonde didapatkan dari hasil penelitian Faizal (2012) seperti pada Gambar 4 dan kondisi tutupan makro alga seperti pada Gambar 5.



Gambar 4. Tren tutupan karang hidup di Kepulauan Spermonde (April 2011 – Agustus 2011)



Gambar 5 Tren tutupan makroalga di Kepulauan Spermonde (April 2011 – Agustus 2011)

Hasil penelitian Faizal (2012) menunjukkan bahwa rata-rata tutupan makroalga di semua stasiun cenderung meningkat antara antara bulan April hingga Agustus, meskipun peningkatannya relatif kecil. Tutupan karang hidup terbesar ditemukan pada bulan Agustus, dan tutupan terkecil ditemukan pada bulan April.

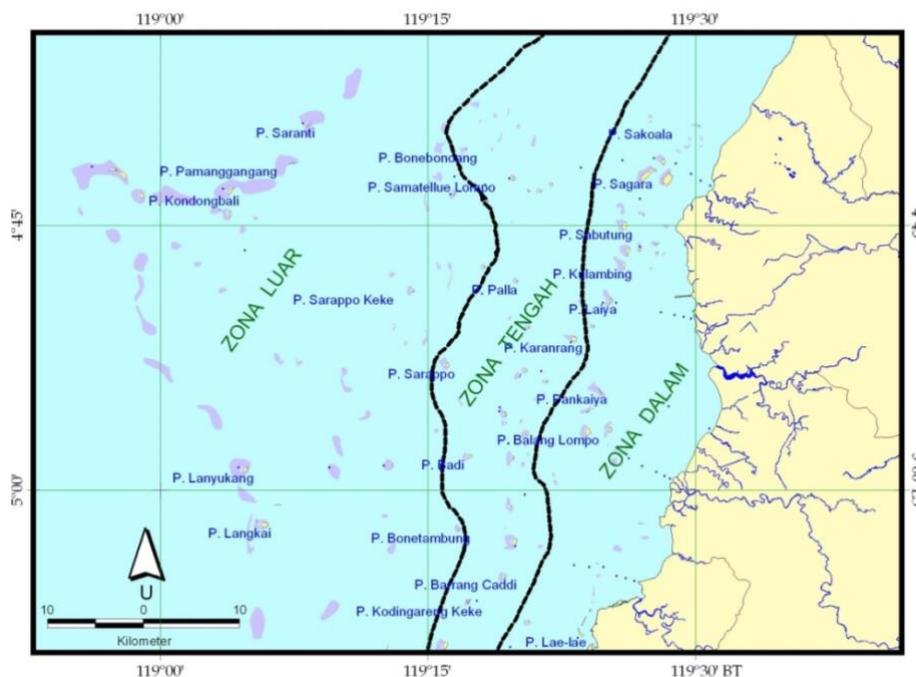
Penelitian-penelitian sebelumnya di Kepulauan Spermonde ditemukan bahwa kondisi terumbu karang sangat memperhatikan. Rata-rata persentase karang hidup di reef top adalah 11,6% dan pada daerah reef edge sebesar 25,2% (Endinger et al, 1998). Namun demikian terdapat beberapa pulau yang memperlihatkan kepadatan dan keanekaragaman karang yang cukup tinggi seperti yang dijumpai di Pulau Kapoposang dan pulau-pulau di sekitarnya (PPTK, 2002). Beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa kerusakan terumbu karang di Kepulauan Spermonde sebagian besar karena penggunaan bom (Pet-Soede et al,

2000; PPTK, 2002). Akan tetapi pada daerah *inshore*, seperti Pulau Lae-lae, penggunaan bom sudah tidak ada lagi namun kondisi terumbu karang di daerah tersebut sangat jelek dibanding stasiun lainnya.

Pada prinsipnya kondisi terumbu karang yang asli didominasi oleh karang hidup dengan tingkat keanekaragaman biologi yang tinggi. Perubahan lingkungan atau aktivitas yang secara langsung merusak atau pengambilan karang hidup menyebabkan komposisi tersebut berubah (Lapointe, 1987). Penggunaan bom, penambangan karang, dan pembuangan jangkar di daerah terumbu karang merupakan contoh ancaman akut bagi terumbu karang. Ancaman tersebut menyebabkan kerusakan terumbu karang yang terjadi secara drastis dalam jangka waktu yang singkat. Perubahan lingkungan fisik dan biologi akibat pencemaran limbah cair, pencemaran industri, pencemaran limbah kota dan eutrofikasi akan mempunyai dampak yang sama yaitu menyebabkan terjadinya kerusakan karang yang akan terlihat dalam jangka waktu yang lama sehingga digolongkan sebagai tekanan kronik (Edinger et al., 1998).

Zonasi Kepulauan Spermonde

Hasil analisis dengan metode Boolean dengan menggunakan data konsentrasi klorofil dan kondisi terumbu karang didapatkan peta zonasi seperti pada Gambar 6. Peta zonasi wilayah perairan Kepulauan Spermonde dibagi atas tiga zona, masing-masing zona dalam, zona tengah dan zona luar. Karakteristik masing-masing zona diuraikan pada Tabel 2.



Gambar 6. Zonasi wilayah Kepulauan Spermonde berdasarkan pengaruh dari daratan

Tabel 2. Karakteristik setiap zona wilayah perairan Kepulauan Spermonde berdasarkan tingkat kesuburan perairan.

Zona	Kisaran jarak terluar dari daratan Utama (km)	Karakteristik kesuburan perairan	Karakteristik Ekosistem
Dalam	8.13 - 16.77	- Klorofil data tahunan menunjukkan kondisi eutrofik (3,15-4.31 $\mu\text{g/L}$).	- Tutupan bentik didominasi oleh <i>fleshy</i> makrolaga
Tengah	15.38 -29.39	- Klorofil dalam kondisi oligotrofik (<2 $\mu\text{g/L}$)	- Tutupan bentik didominasi oleh <i>crustose coralline</i>
Luar	Rata \geq 29.39	- klorofil (<2 $\mu\text{g/L}$) dalam kondisi oligotrofik.	- Tutupan bentik didominasi oleh <i>turf alga / corals</i>

Tabel 2. Menunjukkan bahwa zona dalam adalah zona yang paling rentan terhadap kerusakan ekosistem akibat pengaruh suplai nutrisi dan sedimen dari daratan utama. Zona dalam bisa juga disebut zona eutrofik. Zona tengah adalah zona yang berada di belakang zona dalam, sebagai zona penyangga antara kondisi perairan subur dan tidak subur. Zona dalam masih ada pengaruh dari daratan utama yang disebut juga zona mesotrofik. Paling luar adalah zona luar yang tidak ada lagi pengaruh nutrisi dari daratan utama, zona ini disebut juga dengan zona oligotrofik. Pembagian zona ini mengikuti standar yang telah ditetapkan Hakanson dan Bryhn (2008) dimana zonasi kesuburan perairan dibagi menjadi 4 yaitu; oligotrofik, mesotrofik, eutrofik dan hypertrofik .

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi di Kepulauan Spermonde berbeda. Perbedaan tersebut sangat ditentukan oleh jarak dari daratan utama. Selain itu data memperlihatkan perbedaan konsentrasi nutrisi antara stasiun yang dekat dengan pemukiman padat dengan stasiun yang jauh dengan pemukiman padat, pada stasiun yang dekat dengan pemukiman padat ditemukan kandungan nutrisi yang tinggi, seperti pada tabel dibawah ini memperlihatkan konsentrasi fosfor pada berbagai lokasi didunia.

Tabel 3. Beberapa tipe konsentrasi fosfor ($\mu\text{mol/L}$) pada lokasi lepas pantai (*offshore*) dan daerah pantai (D'Elia & Wiebe, 1990)

Lokasi	Lepas Pantai	Pantai	Sumber
Teluk Jamaica	0,20	0,20	D'elia <i>et al.</i> , (1981)
Pulau Virgin, St Croix	0,08	0,10	Morris <i>et al.</i> , (1977)
Peros Banhos Maladewa	0,43	0,58	Rayner & Drew, (1984)
Salomon. Maladewa	0,43	0,67	Rayner & Drew, (1984)
Pulau Marshall	0,174	0,169	Johanes <i>et al.</i> , (1972)
Great Barrier Reefs	0,14	0,14	Entsch <i>et al.</i> , (1983)
Teluk Pago (Guam)	0,21	0,16	Marsh, (1977)
Teluk Tauman (Guam)	0,18	0,55	Marsh, (1977)
Pulau Sesoko (Okinawa)	<0,7	>0,9	Crossland & Banner., (1983)

Tabel 3 memperlihatkan bahwa rata-rata lokasi yang dekat dengan pantai memiliki konsentrasi fosfat yang tinggi. Selain itu penelitian yang sama di Kepulauan Spermonde juga didapatkan bahwa lokasi yang dekat dengan pemukiman padat ditemukan konsentrasi nutrien yang tinggi (Erfetemeijer, *et al.*, 1994; Endiger *et al.*, 1998; Stapel *et al.*, 2001; Nurliah, 2002).

Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa nutrien dalam hal ini klorofil-a, terkonsentrasi pada zona dalam (dekat daratan utama) dan konsentrasinya lebih tinggi pada musim hujan, kondisi ini mempengaruhi tutupan terumbu karang di Kepulauan Spermonde. Berdasarkan kondisi ini maka perairan Kepulauan Spermonde dibagi menjadi tiga zona yaitu zona dalam dengan kondisi nutrien yang tinggi dengan tutup bentik yang didominasi oleh *fleshy makroalga*, zona tengah dengan kondisi nutrien rendah dengan dominasi *crustose coralline* dan zona luar dengan kondisi nutrien yang rendah dengan dominasi *turf alga / corals*.

Daftar Pustaka

- Atkinson M.J., 1988. Are coral reefs nutrient limited? In: *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium*, 1988, Australia, 1: 157-166.
- Bell P.R.F., 1992. Eutrophication and coral reefs: some examples in the Great Barrier Reef lagoon. *Water Research*, 26: 553-568
- Costa Jr, O. S., M. J. Attrill, Costa Attrill, Martin 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
- Costa Jr, O. S., M. Nimmo, Cordier, E. (2008). Coastal nutrification in Brazil: A review of the role of nutrient excess on coral reef demise. *Journal of South American Earth Sciences* 25(2): 257-270
- Chazottes, V., J. J. G. Reijmer, et al. (2008). "Sediment characteristics in reef areas influenced by eutrophication-related alterations of benthic communities and bioerosion processes." *Marine Geology*; 250(1-2): 114-127.
- Davies, P., 2004. Nutrient processes and chlorophyll in the estuary and plume of the Gulf of Papua. *Continental Shelf Research* 24, 2317-2341
- de Klerk, L.G. de., 1983. Zeespigel Riffen en Kustflakten in Zuitwest Sulawesi, Indonesia, PhD Thesis Utrecht Netherland
- Desmit, X., V. Thieu, G. Billen, F. Campuzano, V. Dulière, J. Garnier, L. Lassaletta, 2018. "Reducing Marine Eutrophication May Require a Paradigmatic Change." *Science of The Total Environment* 635; 1444-66
- Droop M.R., 1983. 25 years of algal growth kinetics: a personal view. *Botanica Marina*, 26: 99- 112

- D'Elia C.F. & Wiebe W.J., 1990. Biogeochemical nutrient cycles in coral reef ecosystems. In: Z. Dubinsky (ed) *Coral reefs. Ecosystems of the world* 25. Elsevier, New York, 49-74
- Erfteimeijer P.L.A., 1994. Differences in Nutrient Concentrations and Resources Between Seagrass Communities On Carbonate and Terrigenous Sediments in South Sulawesi, Indonesia. *Bulletin of Marine Science*, 54: 403-419.
- Edinger, E. N., J. Jompa, Limmon, Gino V. Widjatmoko, Wisnu Risk, Michael J. 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
- Faizal, A., 2012. Dinamika Spasio-Temporal Pengaruh Eutrofikasi dan Sedimentasi Terhadap Degradasi Terumbu Karang. Disertasi. Universitas Hasanuddin
- Faizal A., 2022. Decadal Remote Sensing Analysis of Eutrophic Indication in the Spermonde Islands, Indonesia. *Jurnal IPTEKS PSP* 9(1):1-11. DOI:10.20956/jipsp.v9i1.20061
- Hakanson. L and A.C. Bryhn, 2008. Eutrophication in the Baltic Sea Present Situation, Nutrien Transport Processes, Remedial Strategies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 263
- Hallock P. & Schlager W., 1986. Nutrient excess and the demise of coral reefs and carbonate platforms. *Palaios*, 1: 389-398
- Hallock P., Muller-Karger F., Halas J.C., 1993. Coral reef decline - anthropogenic nutrients and the degradation of Western Atlantic and Caribbean coral reefs. *Research and Exploration*, 9(3): 358-378.
- Hoeksema, B.W. 1990. *Systematic and Ecology of Mushroom Corals (Scleractinia-Fungiidae)* PhD Thesis Leiden Netherland.
- Lapointe B.E., 1992. Eutrophication thresholds for macroalgal overgrowth of coral reefs. In: K. Thacker (ed) *Protecting Jamaica's coral reefs: water quality issues*. Negril Coral Reef Preservation Society, Negril, Jamaica, 105-112
- Lapointe B.E., 1987. Phosphorus- and nitrogen-limited photosynthesis and growth of *Gracilari tikvahiae* (Rhodophyceae) in the Florida Keys: an experimental field study. *Marine Biology*, 93: 561-568.
- Muripto, I. 2000. Analisis Pengaruh Faktor Oseanografi terhadap Sebaran Spasial dan Temporal Sumberdaya Ikan di Selat Sunda. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Nurliah, 2002. Kajian mengenai dampak eutrofikasi dan sedimentasi pada ekosistem terumbu karang di beberapa pulau Perairan Spermonde, Sulawesi selatan. *Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin*. Makassar
- Parsons T.R., Takahashi M. & Hargrave B., 1984. *Biological oceanographic processes*. 3rd ed, Pergamon Press, New York.
- Pérez-Ruzafa, Angel, Sara Campillo, José María Fernández-Palacios, Antonio García-Lacunza, Miriam García-Oliva, Helena Ibañez, Pedro C. Navarro-Martínez. 2019. "Long-Term Dynamic in Nutrients, Chlorophyll a, and Water Quality Parameters in a Coastal Lagoon During a Process of Eutrophication for Decades, a Sudden Break and a Relatively Rapid Recovery. *Frontiers in Marine Science* 6(26).
- PPTK., 2002. Penilaian Ekosistem Kepulauan Spermonde, Kabupaten Pangkep, Propinsi Sulawesi Selatan. Final Report. PSTK-COREMAP. Makassar

- Robards K., McKelvie I.D., Benson R.L., Worsfold P.J., Blundell N.J. & Casey H., 1994. Determination of carbon, phosphorus, nitrogen and silicon species in water. *Analytica Chimica Acta*, 287: 147-190.
- Shortle, James, and Richard D. Horan. "Nutrient Pollution: A Wicked Challenge for Economic Instruments." *Water Economics and Policy* 03, no. 02 (2017): 1650033.
- Stapel J, Marten A, Hemminga, Cornelis, B. Bogert and Yvonne E. M, 2001. Nitrogen (15N) retention in small *Thalassia hemprichii* seagrass plots in an offshore meadow in South Sulawesi, Indonesia. *Limnol. Oceanogr.*, 46(1), 24-37
- Szmant A.M. & Forrester A., 1996. Water column and sediment nitrogen and phosphorus distribution patterns in the Florida Keys, USA. *Coral Reefs*, 15: 21-41.
- Tyson R.V. & Pearson T.H. (eds), 1991. *Modern and ancient continental shelf anoxia*. Geological Society, London, Special Publication, 58: 1-26.
- Tambaru, R, 2008. Dinamika Komunitas Fitoplankton dalam Kaitannya dengan Produktivitas Perairan di Perairan Maros, Sulawesi Selatan. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.