

Kajian Zat Hara Fosfat, Nitrit, Nitrat dan Silikat di Perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

Fonny J.L Risamasu^{1*} dan Hanif Budi Prayitno²

¹Jurusan Perikanan dan Kelautan Faperta Undana, Jl. Adisucipto, Penfui, Kotak Pos 104, Kupang 85001-NTT; Telp/Fax . (0380-881560), Hp. 082144581773, e-mail : risamasuf@yahoo.co.id

²Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI, Jl. Pasir Putih 1 Ancol Timur, Jakarta 14430; Telp. (021) 64713850, Fax. (021) 64711948, Hp. 081578811106, e-mail : hani007@lpi.go.id

Abstrak

Penelitian zat hara fosfat, nitrit, nitrat dan silikat telah dilakukan di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan pada 12 stasiun pengamatan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kondisi perairan berdasarkan ketersediaan dan distribusi spasial zat hara di perairan tersebut. Pengambilan sampel air menggunakan botol Niskin pada lapisan permukaan dan dekat dasar perairan, sedangkan pengukuran konsentrasi zat hara menggunakan Spektrofometer Shimadzu UV-1201V. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan Kepulauan Matasiri termasuk perairan yang subur. Rata-rata konsentrasi fosfat di permukaan dan di dekat dasar perairan relatif sama, sedangkan konsentrasi nitrit, nitrat dan silikat lebih tinggi di dekat dasar perairan dari pada di permukaan.

Kata kunci: Fosfat, Nitrit, Nitrat, Silikat, Kepulauan Matasiri.

Abstract

A research on marine nutrients including phosphate, nitrite, nitrate and silicate was conducted in the Matasiri Islands waters, South Kalimantan, on 12 observation stations. The aim of the research is to understand and assess the waters condition based on the availability and the spatial distribution of nutrients in these waters. Water sampling used Niskin bottles in the surface and near bottom layers, whereas the measurement of nutrients concentration used spectrophotometer Shimadzu UV-1201V. The results showed that Matasiri Islands waters is categorized as fertile waters. The average concentration of phosphate in surface and near bottom layers were relatively similar, whereas the average concentration of nitrite, nitrate and silicate were higher in near bottom layer than in the surface.

Key words: phosphate, nitrite, nitrate, silicate, Matasiri Islands.

Pendahuluan

Kalimantan Selatan memiliki sungai-sungai besar seperti Sungai Barito memberikan banyak pasokan air tawar ke laut di sekitarnya. Perairan Kepulauan Matasiri di Kalimantan Selatan terletak berdekatan dengan Sungai Barito, tentu massa airnya sangat kaya dengan bahan organik dan zat hara yang dibawa oleh air sungai. Bahan-bahan organik dan zat hara dari sungai yang masuk secara massive ke perairan pesisir berperan penting dalam menstimulasi proses biologi di perairan tersebut (Gypens *et al.*, 2009). Sebagai contoh, proses pengkayaan zat hara yang berasal dari *upwelling*, sumber antropogenik dan masukan air sungai menyebabkan peningkatan pertumbuhan fitoplankton di lingkungan pesisir (Bardalet *et al.*, 1996; Carter *et al.*, 2005).

Pengkayaan zat hara di lingkungan perairan memiliki dampak positif, namun pada tingkatan tertentu juga dapat menimbulkan dampak negatif. Dampak positifnya adalah adanya peningkatan produksi fitoplankton dan total produksi ikan (Jones-Lee & Lee, 2005; Gypens *et al.*, 2009) sedangkan dampak negatifnya adalah terjadinya penurunan kandungan oksigen di perairan, penurunan biodiversitas dan terkadang memperbesar potensi muncul dan berkembangnya jenis fitoplankton berbahaya yang lebih umum dikenal dengan istilah *Harmful Algal Blooms* atau HABs (Howart *et al.*, 2000; Gypens *et al.*, 2009).

Zat hara yang umum menjadi fokus perhatian di lingkungan perairan adalah fosfor dan nitrogen. Kedua unsur ini memiliki peran vital bagi

pertumbuhan fitoplankton atau alga yang biasa digunakan sebagai indikator kualitas air dan tingkat kesuburan suatu perairan (Howart *et al.*, 2000; Fachrul *et al.*, 2005). Di dalam alga, perbandingan nitrogen dan fosfor mendekati rasio Redfield sebesar 16:1 (basis atom) atau 7,5:1 (basis massa) (Vaulot, 2001; Jones-Lee dan Lee, 2005).

Selain fosfor dan nitrogen, unsur lain yang juga cukup mendapat perhatian adalah silikon. Silikon terlarut merupakan unsur hara yang penting bagi produktivitas primer (Papush & Danielsson, 2006). Silikon juga merupakan unsur hara yang berperan sebagai regulator bagi kompetisi fitoplankton, di mana diatom selalu mendominasi populasi fitoplankton pada konsentrasi silikat yang tinggi (Egge dan Aksnes, 1992).

Nitrogen dan fosfor di dalam sistem perairan ada dalam berbagai bentuk, namun hanya beberapa saja yang dapat dimanfaatkan oleh alga dan tumbuhan air. Untuk nitrogen, beberapa yang dapat dimanfaatkan adalah nitrit dan nitrat, sementara untuk fosfor berupa senyawa orto fosfat (Jones-Lee & Lee, 2005). Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dikaji mengenai kondisi parameter kimia berupa senyawa fosfat, nitrit, nitrat dan silikat di perairan Matasiri, Kalimantan Selatan untuk mengetahui kualitas air dan tingkat kesuburannya.

Materi dan Metode

Penelitian unsur hara yang meliputi senyawa fosfat, nitrit, nitrat dan silikat telah dilakukan di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan pada bulan November 2010 (Gambar 1).

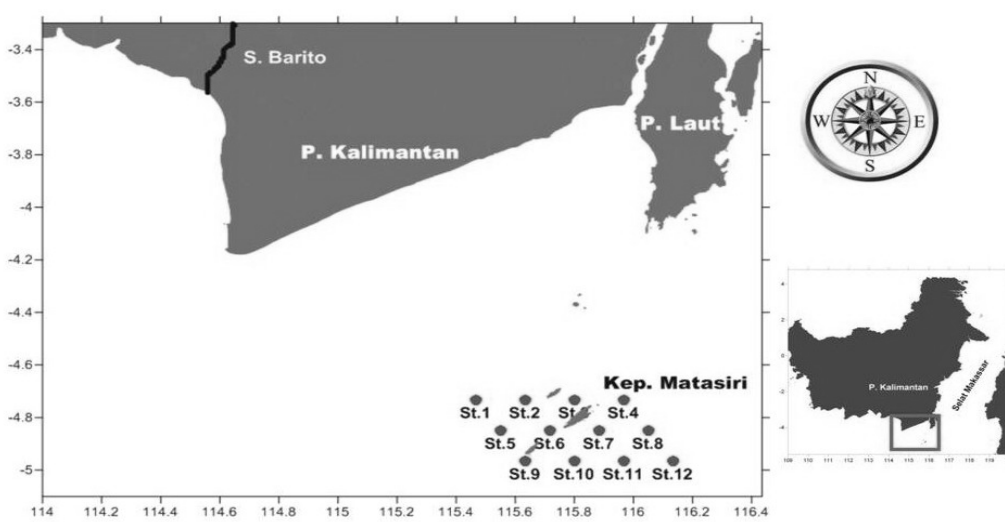
Sampel air laut diambil dari lapisan permukaan dan lapisan dekat dasar perairan menggunakan botol Niskin, kemudian ditempatkan dalam botol polyetilene. Sampel selanjutnya disaring menggunakan membran filter Nitroselulosa berukuran pori 0,45 µm dengan diameter 47 mm dan disimpan di dalam refrigerator lalu dilakukan analisis. Pengukuran konsentrasi zat hara mengikuti metode yang dilakukan oleh Strickland dan Parsons (1968) menggunakan Spektrofotometer Shimadzu UV-1201V dengan panjang gelombang 885 nm untuk fosfat, 543 nm untuk nitrit dan nitrat, serta 810 nm untuk silikat. Hasil penelitian disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabel dan gambar.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis konsentrasi rata-rata fosfat, nitrit, nitrat, dan silikat di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Konsentrasi fosfat tertinggi di lapisan permukaan perairan terdapat di Stasiun 9 (0,016 mg P-PO₄/L) dan terendah di Stasiun 7 dan 8 (0,001 mg P-PO₄/L). Untuk lapisan dekat dasar perairan, konsentrasi fosfat tertinggi terdapat di Stasiun 11 (0,016 mg P-PO₄/L) dan terendah di Stasiun 7 dan 8 (0,001 mg P-PO₄/L). Konsentrasi fosfat rata-rata baik di lapisan permukaan maupun di lapisan dekat dasar adalah 0,006 mg P-PO₄/L. Dari data tersebut terlihat bahwa konsentrasi rata-rata fosfat baik di permukaan maupun di dekat dasar perairan umumnya sama. Distribusi fosfat di 12 stasiun pengamatan di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan, disajikan pada Gambar 2.

Dalam keputusan MENLH No.51 Tahun 2004,



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

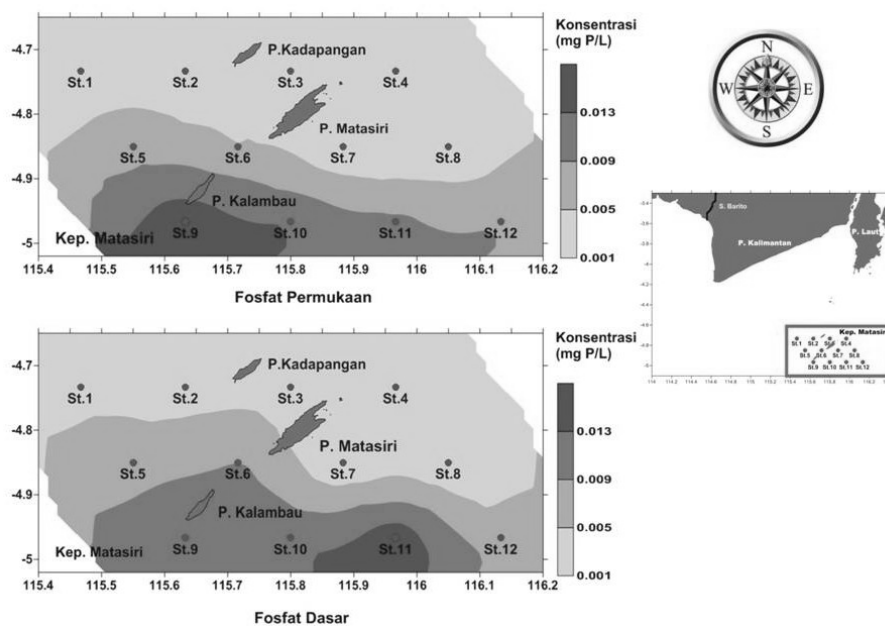
Tabel 1. Hasil pengukuran konsentrasi zat hara di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan.

Stasiun	Koordinat lokasi	Kedalaman pengambilan sampel (m)	P-PO4(mg/L)		N-NO2(mg/L)		N-NO3(mg/L)		Si-SiO2 (mg/L)	
			P	D	P	D	P	D	P	D
1	04° 43,941 'LS; 115° 27,950'BT	32	0,003	0,004	TTD	0,001	0,069	0,029	0,154	0,173
2	04° 43,00 'LS; 115° 37,977'BT	33	0,003	0,003	TTD	TTD	0,030	0,025	0,136	0,186
3	04° 43,996 'LS; 115° 47,964'BT	40	0,003	0,003	TTD	TTD	0,024	0,033	0,154	0,193
4	04° 43,974 'LS; 115° 57,962'BT	42	0,003	0,003	TTD	TTD	0,028	0,024	0,142	0,191
5	04° 51,00 'LS; 115° 33,061'BT	38	0,007	0,007	TTD	TTD	0,031	0,048	0,129	0,158
6	04° 51,06 'LS; 115° 42,995'BT	51	0,005	0,009	0,001	0,001	0,031	0,042	0,137	0,172
7	04° 50,951 'LS; 115° 52,988'BT	47	0,001	0,001	TTD	0,001	0,025	0,035	0,139	0,187
8	04° 50,946 'LS; 116° 02,959'BT	51	0,001	0,001	TTD	0,004	0,025	0,029	0,132	0,204
9	04° 57,997 'LS; 115° 38,036'BT	44	0,016	0,013	0,001	TTD	0,032	0,025	0,182	0,152
10	04° 57,975 'LS; 115° 48,055'BT	66	0,013	0,012	TTD	TTD	0,029	0,030	0,135	0,183
11	04° 57,966 'LS; 115° 58,018'BT	56	0,010	0,016	TTD	0,005	0,023	0,038	0,140	0,246
12	04° 57,994 'LS; 116° 08,000'BT	54	0,009	0,007	TTD	0,010	0,037	0,048	0,146	0,285

Keterangan: P = permukaan; D = dasar; TTD = Tidak terdeteksi

Tabel 2. Konsentrasi rata-rata zat hara di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan.

Konsentrasi	Posfat (P-PO ₄ mg /L)		Nitrit (N-NO ₂ mg /L)		Nitrat (N-NO ₃ mg /L)		Silikat (Si-SiO ₂ mg/L)	
	Perm.	Dasar	Perm.	Dasar	Perm.	Dasar	Perm.	Dasar
Min.	0,001	0,001	TTD	TTD	0,024	0,024	0,129	0,152
Maks.	0,016	0,016	0,001	0,005	0,069	0,048	0,182	0,285
Rata-rata	0,006	0,006	0,0002	0,002	0,032	0,034	0,144	0,194



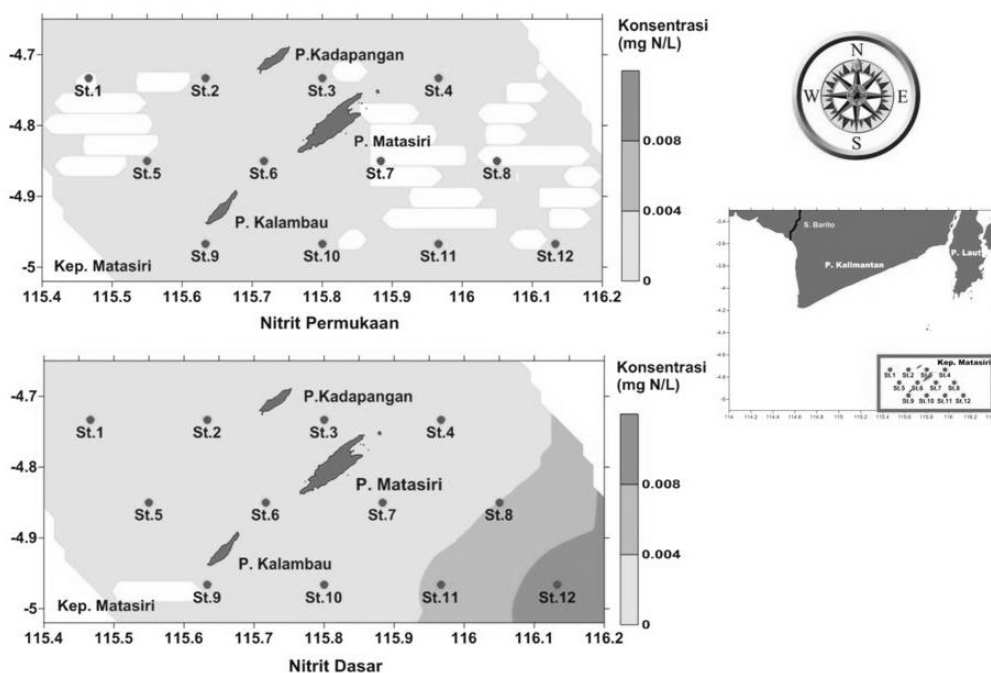
Gambar 2. Distribusi horisontal fosfat pada permukaan dan dasar di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

Dalam keputusan MENLH No.51 Tahun 2004, disebutkan bahwa baku mutu konsentrasi maksimum fosfat yang layak untuk kehidupan biota laut adalah 0,015 mg P-PO₄/L. Data penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat di 11 dari 12 stasiun penelitian berada di batasan konsentrasi yang dipersyaratkan, sedangkan konsentrasi fosfat yang lebih tinggi dari baku mutu terdapat di lapisan permukaan Stasiun 9 dan di lapisan dekat dasar Stasiun 11. Dengan demikian secara umum kondisi air laut di perairan Kepulauan Matasiri masih baik.

Konsentrasi fosfat yang tinggi di lapisan permukaan Stasiun 9 (Barat Daya Pulau Matasiri) kemungkinan disebabkan karena terjadinya pencampuran masa air tawar dari Sungai Barito dan massa air laut dari Selat Makassar dan Laut Flores, sehingga fosfat yang berasal dari ketiga sumber tersebut akan bertemu dan terakumulasi di Stasiun 9, sedangkan tingginya konsentrasi fosfat di lapisan dekat dasar Stasiun 11 (Selatan Pulau Matasiri) mungkin disebabkan tingginya difusi fosfat dari sedimen. Sedimen merupakan tempat penyimpanan utama fosfor dalam siklus yang terjadi di lautan, umumnya dalam bentuk partikulat yang berikatan dengan oksida besi dan senyawa hidroksida. Senyawa fosfor yang terikat di sedimen dapat mengalami dekomposisi dengan bantuan bakteri maupun melalui proses abiotik menghasilkan senyawa fosfat terlarut yang dapat mengalami difusi kembali ke kolom air (Paytan dan McLaughlin, 2007).

Berdasarkan data pengukuran konsentrasi nitrit dalam sampel air laut yang diambil dari lapisan permukaan perairan di 12 stasiun pengamatan, konsentrasi tertinggi terdapat di stasiun 6 dan 9 (0,001 mg N-NO₂/L), sedangkan di 10 stasiun lainnya konsentrasi nitrit nilainya tidak terbaca pada spektrofotometer. Pada lapisan dekat dasar nilai nitrit tertinggi terdapat pada stasiun 12 (0,010 mg N-NO₂/L), sedangkan 6 stasiun nilai nitrit tidak terdeteksi. Data ini menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi nitrit di lapisan permukaan perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan tergolong rendah. Distribusi nitrit di 12 stasiun pengamatan di perairan Kepulauan Matasiri disajikan pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa konsentrasi rata-rata nitrit tertinggi pada lapisan dekat dasar perairan daripada di lapisan permukaan. Rendahnya konsentrasi nitrit di lapisan permukaan karena pada lapisan ini oksigen yang tersedia cukup melimpah dengan adanya difusi oksigen dari atmosfer. Dengan bantuan bakteri, oksigen tersebut akan mengoksidasi nitrit menjadi nitrat sehingga konsentrasi nitrit di lapisan nitrit menjadi nitrat sehingga konsentrasi nitrit di lapisan permukaan menjadi kecil. Hal ini sesuai dengan pendapat Hutagalung & Rozak (1997) bahwa distribusi vertikal nitrit semakin tinggi sejalan dengan bertambahnya kedalaman laut dan semakin rendahnya kadar oksigen, sedangkan distribusi horizontal kadar nitrit semakin tinggi menuju kearah pantai dan muara sungai.



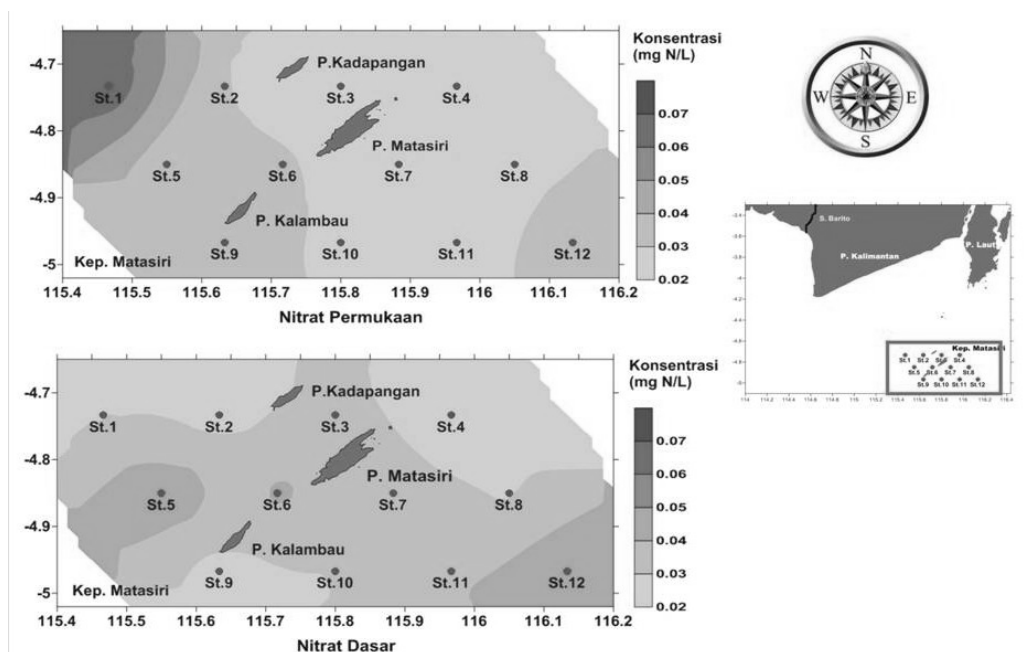
Gambar 3. Distribusi horisontal nitrit di permukaan dan dasar perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

Berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi nitrat dalam sampel air laut yang diambil dari lapisan permukaan perairan, konsentrasi tertinggi terdapat di stasiun 1 (0,069 mg N-NO₃/L), sedangkan terendah di Stasiun 7 dan 8 (0,025 mg N-NO₃/L). Untuk sampel air laut yang diambil dari lapisan dekat dasar perairan, konsentrasi nitrat tertinggi terdapat di Stasiun 5 dan 12 (0,048 mg N-NO₃/L), terendah di Stasiun 4 (0,024 mg N-NO₃/L). Konsentrasi nitrat rata-rata di lapisan permukaan adalah 0,032 mg N-NO₃/L, sedangkan di lapisan dekat dasar 0,034 mg N-NO₃/L. Dari data tersebut terlihat bahwa konsentrasi nitrat rata-rata lebih tinggi di dasar perairan dibanding dengan di lapisan permukaan. Kecenderungan ini diperkuat oleh pendapat Hutagalung dan Rozak (1997) menyatakan bahwa kadar nitrat semakin tinggi bila kedalaman bertambah, sedangkan untuk distribusi horisontal kadar nitrat semakin tinggi menuju ke arah pantai. Distribusi nitrat di 12 stasiun pengamatan di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan disajikan pada Gambar 4.

Konsentrasi nitrat di lapisan permukaan yang lebih rendah dibandingkan di lapisan dekat dasar disebabkan karena nitrat di lapisan permukaan lebih banyak dimanfaatkan atau dikonsumsi oleh fitoplankton. Selain itu, konsentrasi nitrat yang sedikit lebih tinggi di dekat dasar perairan juga dipengaruhi oleh sedimen. Di dalam sedimen nitrat diproduksi dari biodegradasi bahan-bahan organik menjadi ammonia yang selanjutnya dioksidasi menjadi nitrat (Seitzinger, 1988).

Dalam keputusan MENLH No.51 Tahun 2004, disebutkan bahwa baku mutu konsentrasi nitrat air laut yang layak untuk kehidupan biota laut adalah 0,008 mg N-NO₃/L. Dibandingkan dengan baku mutu, konsentrasi nitrat dalam penelitian ini jauh lebih tinggi atau berada di atas baku mutu. Fakta ini ditemukan di seluruh stasiun pengamatan baik di lapisan permukaan maupun di lapisan dekat dasar perairan. Data ini mengindikasikan bahwa perairan di Kepulauan Matasiri tengah mengalami tekanan berupa pengkayaan nitrogen atau nitrat. Sebagai imbasnya, potensi terjadinya ledakan populasi (*blooming*) alga sangat besar. Tentunya hal ini sangat merugikan karena dapat berpengaruh terhadap kesehatan dan biodiversitas ekosistem perairan setempat. Sumber peningkatan kadar nitrat umumnya adalah limbah perkotaan, industri dan pertanian (Environment Canada, 2003). Oleh karena itu, pengkayaan nitrat yang terjadi di perairan Kepulauan Matasiri kemungkinan besar dipengaruhi oleh masukan massa air Sungai Barito yang banyak membawa masukan senyawa nitrogen dari darat, karena Sungai Barito merupakan sungai terbesar yang lokasinya paling dekat dengan Kepulauan Matasiri dan paling mungkin mempengaruhi kondisi perairan tersebut.

Berdasarkan data hasil pengukuran konsentrasi silikat dalam sampel air laut, diketahui bahwa sebaran silikat terlarut secara horisontal di lapisan permukaan perairan konsentrasi tertinggi terdapat pada stasiun 9 (0,182 mg/L), sedangkan terendah di Stasiun 5 (0,129 mg Si/L). Selanjutnya



4. Distribusi horisontal nitrat di permukaan dan dasar perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

sebaran silikat terlarut di dasar perairan tertinggi pada stasiun 12 (0,285 mg/L) dan terendah di Stasiun 9 (0,152 mg Si/L). Konsentrasi silikat rata-rata di lapisan permukaan perairan adalah 0,144 mg Si/L, sedangkan di lapisan dekat dasar 0,194 mg Si/L. Distribusi silikat di 12 stasiun pengamatan di perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan disajikan pada Gambar 5.

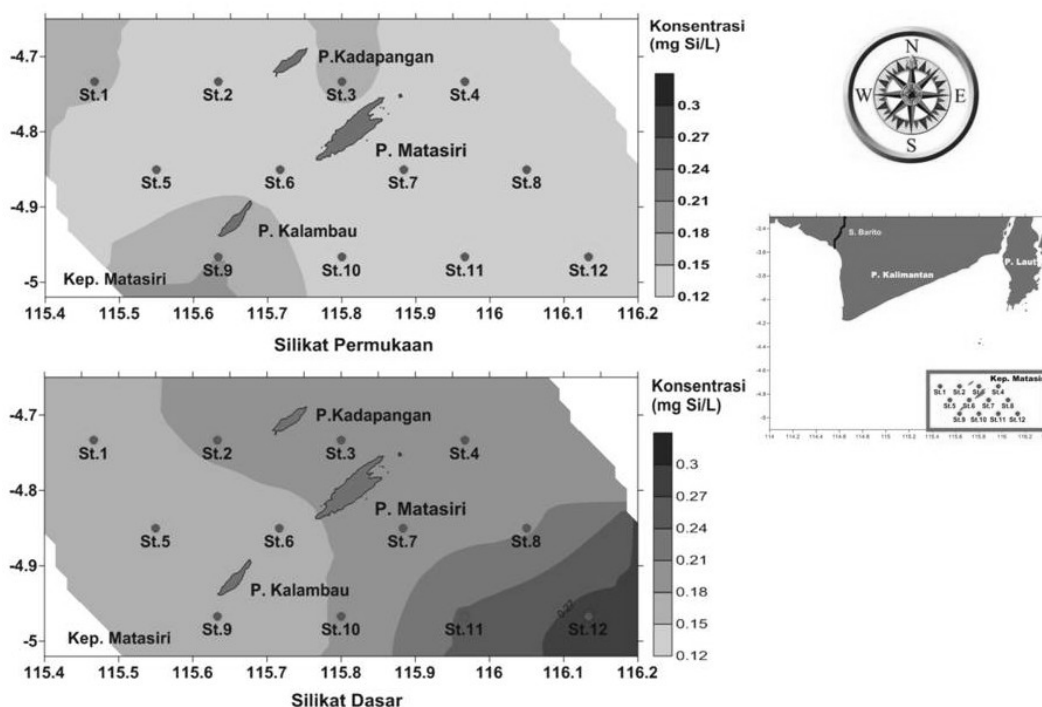
Data tersebut memperlihatkan bahwa konsentrasi silikat tertinggi berada di lapisan dekat dasar perairan dari pada di lapisan permukaan. Distribusi SiO₂ di perairan pesisir umumnya lebih tinggi daripada di laut terbuka karena limpasan air sungai. Konsentrasi silikat terlarut di lapisan permukaan perairan laut umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan di dasar perairan, kecuali di daerah yang mengalami *upwelling* (Millero,1996). Rendahnya konsentrasi silikat di lapisan permukaan disebabkan lebih banyak organisme-organisme yang memanfaatkan silikat di lapisan ini, seperti diatom (Bacillariophyceae) yang banyak membutuhkan silikat untuk membentuk dinding selnya (Effendi, 2003).

Ditinjau dari konsentrasi zat hara fosfat, nitrit, nitrat dan silikat, kualitas air perairan Kepulauan Matasiri secara umum masih tergolong baik. Selain itu, konsentrasi nitrat yang tinggi menggambarkan ketersediaan sumber nitrogen yang cukup melimpah bagi pertumbuhan fitoplankton. Nutrien anorganik

utama yang diperlukan fitoplankton untuk tumbuh dan berkembang biak adalah nitrogen dalam bentuk nitrat (NO₃⁻) (Nybakken 1988). Dengan demikian perairan ini tergolong ke dalam kategori subur.

Perairan Kepulauan Matasiri yang tergolong subur dengan konsentrasi nitrat yang cukup tinggi, bahkan jauh melebihi konsentrasi maksimum baku mutu nitrat untuk air laut, menyimpan potensi untuk terjadinya *blooming* alga. Namun demikian, potensi *blooming* yang terjadi rendah kemungkinannya didominasi oleh jenis yang berbahaya atau lebih dikenal dengan istilah *Harmful Algae Blooms* (HABs). Hal ini disebabkan konsentrasi rata-rata silikat di perairan Kepulauan Matasiri sebesar 0,144 mg Si/L masih berada di atas batasan konsentrasi minimum yang dihipotesiskan oleh Tsunogai (1979) untuk memicu terjadinya *blooming* alga berbahaya. Selain silikat, bila terjadi peningkatan kadar nitrat dan fosfat dalam air laut, maka dapat memicu terjadinya peledakan populasi (*blooming*) algae (fitoplankton) berbahaya (Hutagalung dan Rozak, 1997; Effendie, 2003).

Dalam hipotesisnya Tsunogai (1979) menggambarkan perkembangan fitoplankton dalam dua tahap. Pertama, di saat kondisi semua parameter fisika dan kimia terpenuhi, diatom akan tumbuh pesat dan mendominasi lapisan permukaan suatu perairan dengan mengkonsumsi silikat yang tersedia. Kedua, di saat konsentrasi silikat menurun hingga kurang dari



Gambar 5. Distribusi horisontal silikat di permukaan dan dasar perairan Kepulauan Matasiri, Kalimantan Selatan

batasannya minimum antara 5-10 µg-at Si/L (0,140–0,280 mg Si/L) dan tidak cukup memenuhi kebutuhan diatom untuk tumbuh dan berkembang, maka perkembangan diatom akan terhenti dan akan digantikan oleh fitoplankton dari jenis lain yang mungkin berbahaya seperti misalnya dinoflagellata.

Kesimpulan

Zat hara di perairan Kepulauan Matasiri cukup melimpah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan produsen primer sehingga perairan di Kepulauan Matasiri termasuk subur. Konsentrasi rata-rata fosfat di lapisan permukaan dan di lapisan dekat dasar perairan relatif sama, sedangkan nitrit, nitrat dan silikat lebih tinggi di lapisan dekat dasar perairan daripada di permukaan. Konsentrasi nitrat sangat tinggi di Kepulauan Matasiri mengindikasikan terjadinya pengkayaan nitrogen sebagian besar dipengaruhi oleh masukan massa air sungai Barito yang membawa senyawa nitrogen dari daratan ke perairan laut.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih kepada pengelola proyek kerjasama joint research DIKTI dan LIPI, sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana. Terima kasih juga disampaikan kepada kapten dan awak kapal Baruna Jaya VIII yang turut membantu dalam memperlancar kegiatan penelitian di lapangan.

Daftar Pustaka

Berdalet, E., C. Marrase, M. Estrada, L. Arin, & M. Maclean. 1996. Microbial community responses to nitrogen and phosphorus deficient nutrient inputs: microplankton dynamic and biochemical characterization. *J. Plankton Res.*, 18(9): 1627-1641.

Carter, C. M., A.H. Ross, D.R. Schiel, C. Howard-Williams, & B. Hayden. 2005. In situ microcosm experiment on the influence of nitrate and light on phytoplankton community composition. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 326: 1-13.

Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius.

Egge J.K., & D.L. Aksnes. 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Mar.*

Ecol. Prog. Ser., 83: 281-289

Environment Canada. 2003. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Nitrate ions. Ecosystem Health: Science-based Solutions Report No. 1-6. National Guidelines And Standards Office, Water Policy Coordination Directorate, Environment Canada. 115 pp.

Fachrul, F.M., H. Haeruman, & L.C. Sitepu. 2005. Komunitas fitoplankton sebagai bio-indikator kualitas perairan Teluk Jakarta. Seminar Nasional MIPA 2005. FMIPA-Universitas Indonesia, 24-26 November 2005, Jakarta.

Gypens, N., A.V. Borges, & C. Lancelot. 2009. Effect of eutrophication on air–sea CO₂ fluxes in the coastal Southern North Sea: a model study of the past 50 years. *Global Change Biology*, 15: 1040–1056.

Hutagalung, H.P & A. Rozak. 1997. Metode Analisis air laut, sedimen dan biota. Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi LIPI, Jakarta.

Howarth, R., D. Anderson, J. Cloern, C. Elfring, C. Hopkinson, B. Lapointe, T. Malone, N. Marcus, K. McGlathery, A. Sharpley, & D. Walker. 2000.

Nutrient Pollution of Coastal Rivers, Bays, and Seas. *Issues in Ecology.*, No.7, 17pp.

Jones-Lee, A., & G.F. Lee. 2005. Eutrophication (Excessive Fertilization). *Water Encyclopedia: Surface and Agricultural Water*. Wiley, Hoboken, NJ. p 107-114.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (KLH). 2004. Baku mutu air laut untuk biota laut. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. KLH. Jakarta.

Millero, F.J. 1996. Chemical Oceanography. Second edition. CRC Press Boca Raton, Boston London, New York Washington D.C.

Nybakken, J. W. 1988. Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologi. Alih bahasa oleh M. Eidman, Koesoebiono, D.G. Bengen, M. Hutomo & S. Sukarjo. Gramedia . Jakart. 459 hal.

Papush, L. & A. Danielsson. 2006. Silicon in the marine environment: Dissolved silica trends in the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 67: 53-66.

- Paytan, A. & K. McLaughlin. 2007. The Oceanic Phosphorus Cycle. *Chem. Rev.*, 107(2): 563-576. (Second edition). Fisheries Research Board of Canada. Ottawa. 310 pp.
- Seitzinger, S. P. 1988. Denitrification in freshwater and marine coastal ecosystems : Ecological and geochemical significance. *Limnol. Oceanogr.* 33(4, Part 2): 702-724.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis, Bulletin 167
- Tsunogai, S. 1979. Dissolved silica as the primary factor determining the composition of phytoplankton classes in the ocean. *Bull. Facul. Fisheries. Hokkaido Univ.*, 30: 314-322.
- Vaulot, D. 2001. Phytoplankton. *Encyclopedia of Life Science*. Macmillan Publishers Ltd. London. p1-7.