

## Analisis Kesuburan Perairan Selatan Makassar dari Data Satelit dan Pemodelan Numerik

### Ocean productivity analysis of Southern Makassar Waters from satellite imagery and numerical modelling

Eko Susilo<sup>1✉</sup>, & Wingking Era Rintaka Siwi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Balai Riset dan Observasi Laut

Jl. Baru Perancak, Jembrana, Bali-Indonesia

<sup>2</sup>Program Pascasarjana Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor-Indonesia

✉Corresponding author: [ekosusilo@live.com](mailto:ekosusilo@live.com)

#### ABSTRAK

Perairan selatan Selatan Makassar merupakan salah satu perairan yang relatif kaya akan nutrisi karena pengaruh fenomena upwelling terutama saat musim tenggara (*southeast monsoon*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola spasial dan temporal kesuburan perairan Selatan Makassar (117,5°BT – 120,5°BT dan 5°LS - 7°LS) berdasarkan data satelit Aqua MODIS (SPL/Suhu Permukaan Laut, Chl/konsentrasi klorofil-a) dan data keluaran model numerik INDESO (SPL, Chl, nitrat, fosfat, amonia, dan silikat). Hasil analisis komposit bulanan Chl dari Aqua MODIS (2003-2020), perairan Selatan Makassar mengalami 2 periode peningkatan kesuburan perairan yaitu bulan Januari-Februari dan Juni-Agustus dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 0,53 mg/m<sup>3</sup>. Sedangkan periode terendah terjadi pada bulan September-Desember sebesar 0,28 mg/m<sup>3</sup>. Pada musim timur peningkatan kesuburan perairan disertai dengan penurunan SPL hingga mencapai rata-rata 27,89°C yang mencerminkan terjadinya proses upwelling di perairan tersebut. Kondisi ini diperkuat hasil keluaran model INDESO dimana terjadi peningkatan konsentrasi nutrisi (nitrat, fosfat, amonia, dan silika) masing-masing mencapai nilai rata-rata sebesar 2,720 mmol/m<sup>3</sup>, 0,298 mmol/m<sup>3</sup>, 0,293 mmol/m<sup>3</sup>, dan 7,141 mmol/m<sup>3</sup>. Pola peningkatan tertinggi kesuburan perairan di selatan Makassar terjadi pada musim tenggara yang terlihat dari peningkatan Chl dan nutrisi serta penurunan SPL. Data SPL dan nutrisi keluaran model numerik INDESO bisa menggambarkan fenomena upwelling di perairan selatan Makassar dengan baik. Nilai rata-rata harian SPL Aqua MODIS dan keluaran model numerik INDESO berkorelasi positif (0,84). Sedangkan rata-rata harian Chl kedua sumber data tidak saling berkorelasi, namun terjadi korelasi kuat antara Chl Aqua MODIS dengan konsentrasi nutrisi.

**Kata Kunci:** Upwelling; Selat Makassar; MODIS; INDESO

#### Pendahuluan

Selat Makassar, khususnya perairan bagian selatan, merupakan salah satu wilayah upwelling di perairan Indonesia. Proses terjadinya pengangkatan massa air di selatan Makassar merupakan akibat pertemuan dua massa air dari Laut Flores dan Selat Makassar yang secara bersama-sama bergerak ke Laut Jawa. Kondisi ini menyebabkan pergerakan massa air permukaan ke arah barat dan menciptakan ruang kosong di bagian barat Selat Makassar yang merupakan titik awal kemunculan upwelling (Tomasci and Mah, 2013). Proses ini diperkuat dengan adanya dorongan angin monsun tenggara yang menghasilkan transport ekman ke arah barat daya di kawasan selatan Pulau Sulawesi. Intensitas upwelling juga dipengaruhi oleh sirkulasi Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Menurut Susanto et al., (2012), Selat Makassar merupakan lintasan utama masuknya massa air hangat dan bersalinitas rendah dari Samudera Pasifik menuju ke Samudera Hindia. Jumlah transport massa air sebesar bervariasi dari 15,5 Sv pada musim barat (Januari – Maret) hingga 9,6 Sv pada musim peralihan (Oktober - Desember).

Secara fisis proses upwelling dicirikan dengan massa air yang bersuhu dingin dan salinitas tinggi dibanding daerah sekitarnya. Sukoraharjo, (2012) menyampaikan variabilitas bulanan suhu permukaan laut di Selat Makassar terlihat sangat jelas. Pada musim barat bagian tengah dan selatan selat cenderung lebih hangat dibandingkan bagian

utara selat sampai puncaknya pada bulan April. Seiring memasuki musim timur terlihat adanya penurunan nilai suhu permukaan laut di bagian selatan selat hingga mencapai kisaran  $27,50^{\circ}\text{C}$  –  $27,65^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan secara kimiawi proses upwelling sering diasosiasikan dengan tingginya kandungan nutrisi dan produktivitas primer. Pada saat terjadi upwelling pengangkatan massa air dari dasar perairan ke permukaan akan membawa serta nutrisi ke lapisan yang lebih dangkal. Ketersediaan nutrisi yang melimpah akan mendorong percepatan pertumbuhan fitoplankton dan peningkatan produktivitas primer. Kelimpahan fitoplankton yang tinggi merupakan lokasi yang cocok pertumbuhan zooplankton, larva, juvenil dan ikan pelagis dewasa (Hendiarti et al., 2004). Syahdan et al., (2014) menyebutkan konsentrasi klorofil-a di Selat Makassar cukup tinggi pada berkisar antara  $0,3$  to  $0,85$   $\text{mg}/\text{m}^3$  dan berfluktuasi antar tahunan (*inter-annual*) mengikuti variabilitas *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) di Samudra Pasifik dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) di Samudera Hindia.

Pemantauan upwelling tidak hanya dilakukan di lapisan permukaan saja. Perubahan kondisi oseanografi pada lapisan air yang lebih dalam (*subsurface layer*) sangatlah penting untuk mengetahui perubahan struktur massa air secara menegak. Namun teknologi penginderaan jauh memiliki keterbatasan hanya mampu melakukan pengukuran pada lapisan permukaan air dan bersifat *near-real time*. Oleh karena itu pendekatan pemodelan numerik banyak dikembangkan untuk memberikan informasi perubahan kondisi oseanografi secara vertikal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola temporal kesuburan perairan Selatan Makassar berdasarkan kedua pendekatan yaitu teknologi penginderaan jauh dan pemodelan numerik.

## Metode Penelitian

### *Dataset*

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi: 1) data citra satelit Aqua-MODIS level 3 yang diperoleh melalui laman *ocencolor* (<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>). 2) Data keluaran model fisika dan biogeokimia yang diperoleh melalui laman INDES0 (<http://indeso.web.id>). Model ini memberikan informasi data oseanografi pada 50-layer hingga kedalaman 5.700 meter. Model numerik INDES0 ini merupakan hasil couple model fisik NEMO-OPA 2.3 (*Nucleus for European Modelling of the Ocean, Ocean Parallelisé*) dan model biogeokimia PISCES 3.2 (*Pelagic Interaction Scheme for Carbon and Ecosystem Studies*).

Tabel 1. Spesifikasi data citra dan model yang digunakan dalam penelitian

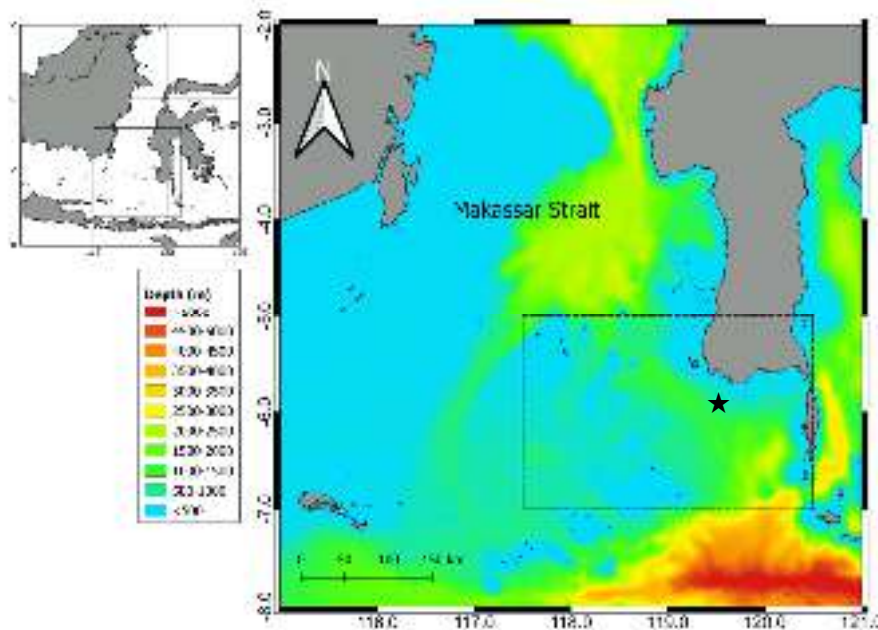
No	Dataset	Resolusi		Parameter
		Temporal	Spasial	
1.	Aqua-MODIS	harian, bulanan	9 km	SPL, Chl
2.	INDES0	harian	9 km	SPL, Chl, nutrisi

### *Pengolahan dan Analisis Data*

Nilai suhu permukaan laut (SPL) dari satelit Aqua-MODIS dihitung berdasarkan nilai band 31 (T31) dan band 32 (T32) (Brown et al., 1999). Sedangkan nilai konsentrasi klorofil-a (Chl) dari satelit Aqua-MODIS mengacu pada algoritma indeks warna (*Color Index Algorithm-CIA*), yang didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai reflektansi (Rrs,

sr-1) panjang gelombang hijau dan nilai referensi linear antara gelombang biru dan merah (Hu et al., 2012). Adapun nilai Chl dari model INDES0 merupakan penggabungan dari nilai konsentrasi diatom dan nano-fitoplankton.

Analisis rerata setiap variabel penelitian dilakukan pada area 117,5°BT- 120,5°BT dan 5°LS-7°LS (Gambar 1). Analisis pola musiman peningkatan kesuburan perairan berdasarkan hasil komposit bulanan data citra Aqua MODIS selama kurun waktu 2003-2014. Untuk mengetahui kemampuan model INDES0 dalam mendeskripsikan fenomena upwelling di lokasi penelitian dilakukan perbandingan data harian SPL, Chl, dan nutrisi antara kedua sumber data (citra satelit dan model) selama kurun waktu Januari 2014 - Agustus 2015. Analisis profil menegak stratifikasi nutrisi dilakukan pada titik koordinat 119,5°BT dan 6°LS (★) yang mewakili masing-masing periode musim.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

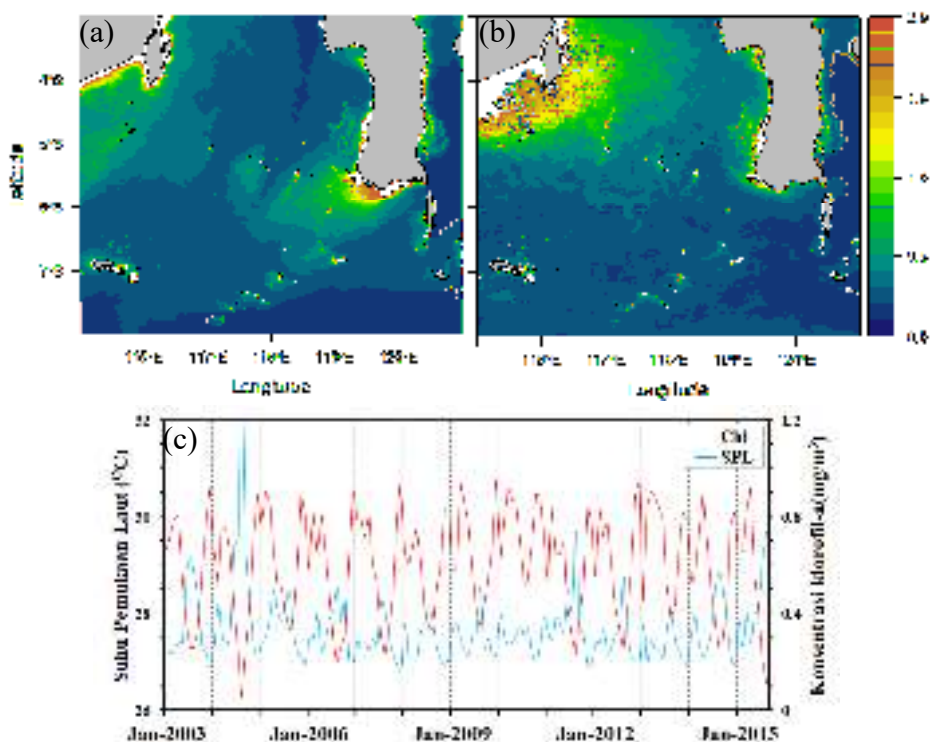
## Hasil dan Pembahasan

### *Analisis Spasial dan Temporal*

Hasil analisis komposit bulanan SPL dan Chl (Aqua-MODIS) di perairan selatan Makassar selama kurun waktu Januari 2003 hingga Desember 2014 menunjukkan pengaruh monsun terhadap variabilitas suhu dan kesuburan (Gambar 2). Selama periode musim barat (Desember – Februari), suhu laut teramati berkisar antara sebesar 28,29°C – 30,80°C dengan nilai rata-rata sebesar 29,66°C. Suhu tertinggi terjadi pada bulan Desember. Sedangkan nilai konsentrasi klorofil-a berada pada titik terendah sepanjang tahun pada kisaran 0,16-0,44 mg/m<sup>3</sup> dan rata-rata sebesar 0,28 mg/m<sup>3</sup>. Secara spasial terjadi perbedaan lokasi peningkatan kesuburan perairan di Selat Makassar. Pada musim barat, konsentrasi klorofil-a yang tinggi dijumpai di pesisir pulau Kalimantan hingga ke bagian tengah Selat Makassar. Memasuki musim peralihan 1 yang berlangsung dari bulan Maret sampai dengan Mei, suhu cenderung mengalami penurunan walaupun tidak terlalu mencolok, pada kisaran 28,56°C - 30,68°C dan rata-rata sebesar 29,76°C. Namun demikian telah terlihat adanya peningkatan kesuburan perairan dibandingkan periode

sebelumnya. Nilai konsentrasi klorofil-a berada pada kisaran  $0,22 \text{ mg/m}^3 - 0,50 \text{ mg/m}^3$  dan rata-rata sebesar  $0,30 \text{ mg/m}^3$ .

Hal yang berbeda terlihat pada musim timur, kesuburan perairan mengalami peningkatan di perairan selatan Makassar. Peningkatan kesuburan ini merupakan efek dari proses terangkatnya massa air yang secara bertahap menyebar ke arah barat. Proses ini diindikasikan oleh perairan yang lebih dingin. Suhu perairan mengalami penurunan yang signifikan pada kisaran  $26,26^\circ\text{C} - 29,94^\circ\text{C}$  dengan rata-rata sebesar  $27,89^\circ\text{C}$ . Suhu perairan mencapai titik terendah pada bulan Agustus sebesar  $27,35^\circ\text{C}$ . Seiring dengan penurunan suhu perairan, konsentrasi klorofil-a mengalami peningkatan hingga mencapai nilai maksimum sebesar  $0,58 \text{ mg/m}^3$ . Pada periode ini konsentrasi klorofil-a berada pada kisaran  $0,22 \text{ mg/m}^3 - 1,39 \text{ mg/m}^3$  dengan rata-rata sebesar  $0,48 \text{ mg/m}^3$ . Memasuki periode musim peralihan 2, kondisi perairan kembali menghangat dengan kisaran suhu permukaan laut antara  $27,19^\circ\text{C} - 30,48^\circ\text{C}$  dengan rata-rata sebesar  $28,89^\circ\text{C}$ . Peningkatan suhu perairan diikuti oleh penurunan kesuburan perairan yang diindikasikan dengan menurunnya konsentrasi klorofil-a hingga pada kisaran  $0,18 \text{ mg/m}^3 - 0,67 \text{ mg/m}^3$  dengan rata-rata sebesar  $0,29 \text{ mg/m}^3$ . Pada periode ini efek upwelling sudah mulai menghilang di sekitar perairan selatan Makassar.

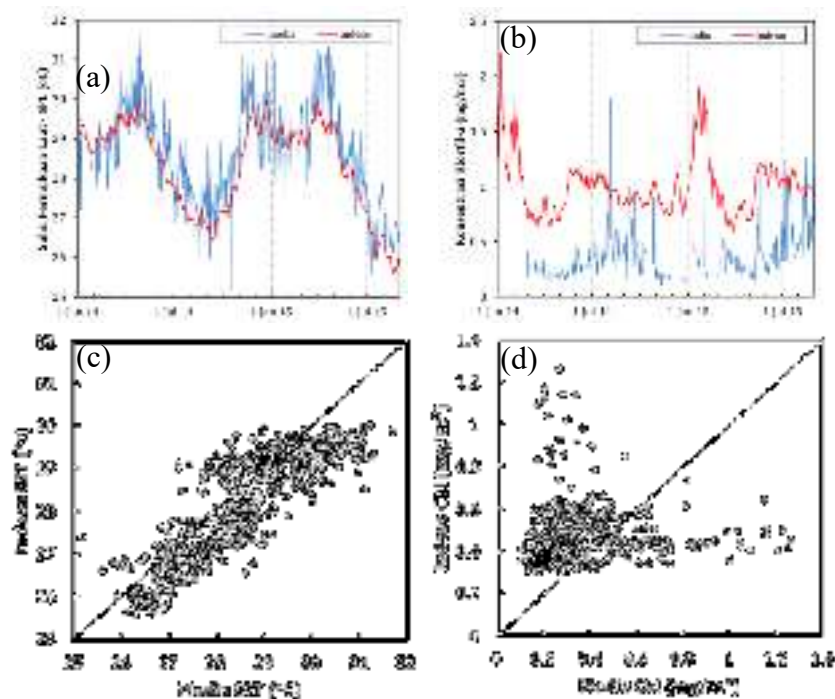


Gambar 2. Sebaran spasial dan temporal citra Aqua MODIS (2003-2015) pada musim timur (a), musim barat (b) dan time-series bulanan (c)

Walaupun kondisi laut cenderung hangat namun pada bulan Januari terjadi penurunan suhu permukaan laut, namun tidak cukup besar. Penurunan suhu ini akibat masukan limpasan air hujan dari sungai yang cenderung bersalinitas rendah dan dingin. Selain itu massa air ini diduga juga membawa unsur hara yang menyuburkan perairan. Kesuburan perairan diindikasikan oleh peningkatan klorofil-a dalam perairan. Namun tingginya konsentrasi klorofil-a di daerah pesisir tak lepas akibat tingginya padatan

tersuspensi di perairan. Terlebih pada periode ini merupakan puncak musim penghujan dimana konsentrasi padatan semakin tinggi seiring dengan semakin banyaknya limpasan air sungai ke dalam perairan. Puncak musim hujan terjadi pada bulan Januari dengan curah hujan sebesar 735 mm (Effendi et al., 2012). Selama kurun waktu 2003-2014, tercatat konsentrasi tertinggi terjadi pada musim timur tahun 2004 dengan nilai konsentrasi klorofil-a mencapai  $1,30 \text{ mg/m}^3$ . Kondisi ini berkorelasi dengan terjadinya fenomena *Indian Ocean Dipole* di Samudera Hindia (Syahdan et al., 2014).

Berdasarkan pola bulanan tersebut di atas, selanjutnya dilakukan analisis data harian antara data satelit Aqua Modis dan data model selama periode Januari 2014 sampai dengan Agustus 2015. Variabilitas harian suhu dari kedua sumber data memperlihatkan pola yang sama dan identik dengan variabilitas bulanan (Gambar 3.a). Nilai korelasi antara keduanya mencapai 0,84 yang artinya data keluaran model dapat menggambarkan variabilitas harian suhu perairan di lokasi penelitian dengan baik. Namun demikian data hasil model memberikan hasil pengukuran yang lebih rendah (*underestimated*) dibandingkan data satelit Aqua MODIS (Gambar 3.b). Sementara itu, hasil keluaran model memperlihatkan konsentrasi klorofil-a pada musim barat lebih tinggi dibandingkan pada musim timur. Hal ini berkebalikan dengan data citra satelit. Nilai korelasi antara keduanya juga tidak cukup bagus sebesar -0.01 yang artinya data keluaran model tidak menggambarkan variabilitas harian konsentrasi klorofil-a di lokasi penelitian dengan baik (Gambar 3.d).



Gambar 3. Korelasi antara data harian Aqua Modis dan model tahun 2014-2015

Gutknecht et al., (2016) menunjukkan hasil validasi antara keluaran model dan citra MODIS di perairan terbuka (*open ocean*) di wilayah utara dan selatan Indonesia menunjukkan data hasil keluaran model lebih tinggi (*overestimate*) dibandingkan dengan data satelit MODIS dari time series data Januari 2007-Desember 2014. Hasil analisis juga kiranya dapat menjadi bahan evaluasi dalam proses perbaikan model sehingga dapat menghasilkan data konsentrasi klorofil-a yang lebih baik di lokasi penelitian. Selain itu

Oleh karenanya perlu dilakukan validasi data model INDESO dengan data pengukuran lapangan untuk memperkuat hasil penelitian ini.

Indikasi upwelling mulai terlihat pada bulan Mei dan mencapai puncak pada bulan September. Pada musim timur tahun 2015 suhu laut teramati lebih dingin dibandingkan musim timur pada tahun 2014. Hal ini memperlihatkan pengaruh fenomena ENSO di Samudera Pasifik melalui mekanisme ARLINDO. Pada saat terjadi El Nino transport massa air di Selat Makassar lebih kecil dibandingkan dengan periode normal. Susanto et al., (2012) menyampaikan rata-rata transport tahunan di Selat Makassar sebesar  $13,3 \pm 3,6$  Sv, dan mengalami penurunan hingga 9,2 Sv pada saat terjadi El-Nino. Pelemahan transport massa air ini menyebabkan intensitas upwelling semakin kuat yang diindikasikan oleh penurunan suhu yang lebih rendah. Penurunan suhu laut juga diikuti dengan peningkatan kesuburan perairan. Namun hal ini bertentangan dengan Syahdan et al., (2014) yang menyatakan bahwa konsentrasi klorofil-a cenderung lebih tinggi pada periode La Nina dan lebih rendah pada periode El-Nino. Sedangkan variabilitas harian konsentrasi klorofil-a baik dari satelit Aqua Modis maupun data model tidak memperlihatkan pola yang sama.

Proses naiknya massa air ke permukaan seringkali membawa unsur-unsur nutrisi yang mendukung proses tumbuh kembang fitoplankton. Unsur kimia yang dimaksud antara lain nitrat ( $\text{NO}_3$ ), fosfat ( $\text{PO}_4$ ), amoniak ( $\text{NH}_4$ ) dan silika (Si). Laju pertumbuhan kelompok mikroalga sangat tergantung pada ketersediaan unsur N dan P. Sedangkan unsur Si merupakan unsur pembatas pada pertumbuhan diatom. Konsentrasi nutrisi di selatan Makassar bervariasi menurut periode musim. Konsentrasi nutrisi pada masing-masing periode musim disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4. Pada umumnya konsentrasi nutrisi mencapai nilai minimum pada musim peralihan 1 dan nilai maksimum pada musim timur. Konsentrasi unsur nutrisi ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$  dan Si) pada musim barat masing-masing secara berurutan sebesar  $0,988 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,154 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,204 \text{ mmol/m}^3$ , dan  $5,748 \text{ mmol/m}^3$ . Peningkatan konsentrasi nutrisi pada musim barat umumnya terjadi di bulan Januari – Februari. Kondisi ini diduga akibat adanya masukan limpasan air hujan dari sungai yang membawa unsur hara yang menyuburkan perairan. Selain pengayaan nutrisi, kesuburan perairan juga diindikasikan oleh peningkatan klorofil-a dalam perairan. Konsentrasi nutrisi mencapai nilai minimum pada musim peralihan 1 masing-masing secara berurutan sebesar  $0,580 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,115 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,072 \text{ mmol/m}^3$  dan  $5,092 \text{ mmol/m}^3$ . Seiring dengan datangnya musim timur konsentrasi nutrisi mengalami peningkatan hingga mencapai nilai maksimum. Konsentrasi unsur nutrisi ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$  dan Si) pada musim timur masing-masing secara berurutan sebesar  $2,720 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,298 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,293 \text{ mmol/m}^3$ , dan  $7,141 \text{ mmol/m}^3$ . Intensitas upwelling yang kuat menyebabkan kandungan nutrisi pada musim timur tahun 2015 lebih tinggi dari periode yang sama tahun sebelumnya. Prosentase peningkatan konsentrasi nutrisi mencapai kisaran 15% - 27%. Memasuki musim peralihan 2 konsentrasi nutrisi cenderung mengalami penurunan masing-masing secara berurutan sebesar  $2,367 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,273 \text{ mmol/m}^3$ ,  $0,260 \text{ mmol/m}^3$ , dan  $6,074 \text{ mmol/m}^3$ .

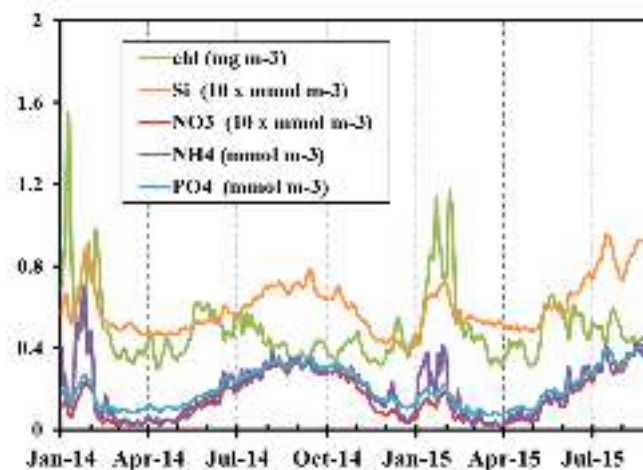
Ketersediaan unsur N dan P bagi pertumbuhan fitoplankton sering dinyatakan dengan rasio N:P. Fitoplankton, khususnya kelompok mikroalga dapat tumbuh pada kondisi ideal

sekitar 16:1. Nilai N:P yang lebih rendah biasanya ditemui di daerah pesisir (Millero, 2013). Nilai rasio N:P akan menentukan jenis dan kelimpahan fitoplankton. Diatom dapat tumbuh dengan baik pada nilai rasio N:P sebesar 10-30:1, sedangkan jika rasio N:P kurang dari 10:1 maka dinoflagellata akan lebih mendominasi. Berdasarkan nilai rasio N:P data model memperlihatkan di selatan Makassar sepanjang tahun didominasi oleh dinoflagellata. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Rashidy et al., (2013) di sekitar perairan Kab. Pangkep. Selama penelitian kelimpahan ceratium mencapai 31,02% dari 15 genus yang ditemukan.

Sebagai indikator proses upwelling, semua unsur nutrisi berkorelasi positif dengan konsentrasi klorofil-a dari data satelit Aqua MODIS. Korelasi unsur nutrisi ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$  dan Si) masing-masing sebesar 0,60, 0,58, 0,55, dan 0,66. Hal ini menunjukkan data nutrisi dari model cukup relevan untuk menggambarkan pola kesuburan perairan di selatan Makassar. Korelasi yang kuat juga diperlihatkan antara unsur nutrisi itu sendiri, khususnya unsur  $\text{NO}_3$  dan  $\text{PO}_4$  ( $r=1.00$ ). Namun semua unsur nutrisi tidak berkorelasi positif dengan konsentrasi klorofil-a dari data model. Hal ini memperkuat dugaan bahwa data konsentrasi klorofil-a dari model belum bisa merepresentasikan kondisi oseanografi di lokasi penelitian.

Tabel 2. Konsentrasi nutrisi pada masing-masing periode musim

Periode	$\text{NO}_3$ mmol/m <sup>3</sup>	$\text{PO}_4$ mmol/m <sup>3</sup>	$\text{NH}_4$ mmol/m <sup>3</sup>	Si mmol/m <sup>3</sup>	N:P
DJF	0,988	0,154	0,204	5,748	7,11:1
MAM	0,580	0,115	0,072	5,092	5,16:1
JJA	2,720	0,298	0,293	7,141	9,93:1
SON	2,367	0,273	0,260	6,074	9,32:1

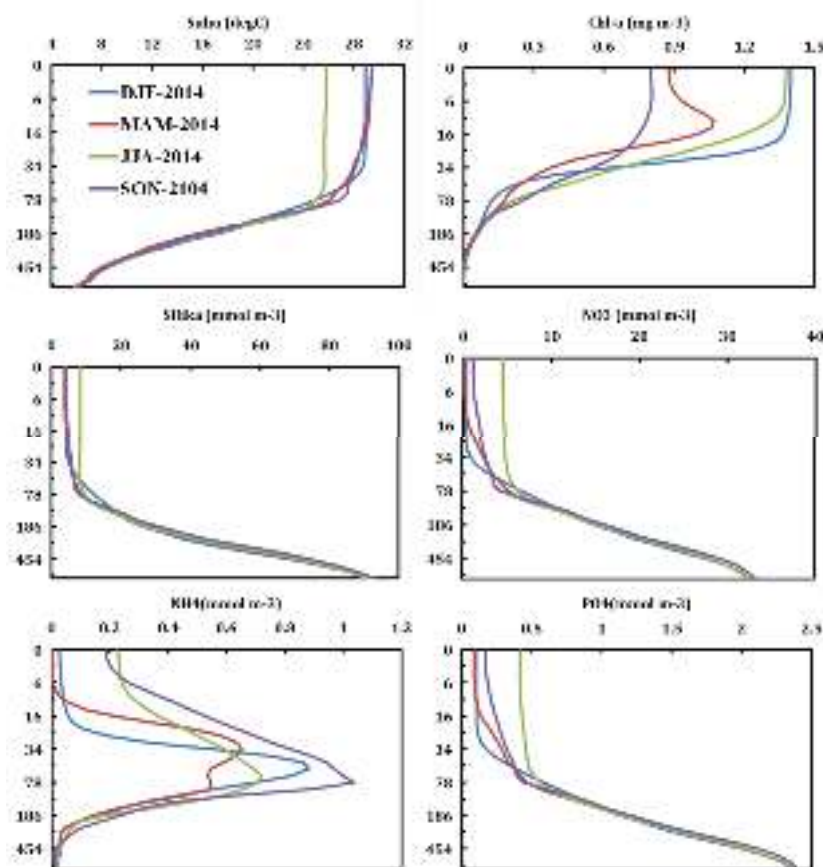


Gambar 4. Pola harian konsentrasi klorofil-a dan nutrisi dari data model (2014-2015)

### Stratifikasi Nutrien

Sebaran vertikal di laut secara umum dapat dibedakan menjadi tiga lapisan yaitu lapisan bagian paling atas (*homogeneous layer*), lapisan bagian tengah (*discontinuity*

*layer*) dan lapisan dalam (*deep layer*). Untuk mengetahui pergerakan massa air dari ke lapisan permukaan dilakukan analisis profil menegak (Gambar 5). Berdasarkan profil menegak variabel oseanografi di selatan Makassar (★) hingga kedalaman 50 – 80 meter. Pada lapisan ini terjadi pencampuran massa air yang diakibatkan oleh adanya angin, arus, dan pasang surut sehingga merupakan lapisan homogen. Pada lapisan tengah merupakan lapisan yang cenderung mengalami perubahan yang relatif cepat antara massa air baik aspek suhu, silika, nitrat, maupun fosfat. Pada musim timur, saat terjadi upwelling penurunan suhu terjadi mulai dari lapisan 80 meter hingga ke permukaan. Inaku (2011) menyampaikan terjadi perubahan kedalaman lapisan termoklin pada area upwelling. Pada musim barat terletak pada kedalaman 42 m dengan penurunan suhu mulai dari 28°C. Sedangkan pada musim timur lapisan termoklin terangkat hingga kedalaman 17 meter dengan penurunan suhu mulai dari 27°C.



Gambar 5. Profil menegak variabel oseanografi dan nutrisi

Perubahan kedalaman lapisan termoklin juga diperlihatkan oleh profil menegak silika, nitrat, maupun fosfat. Pada umumnya konsentrasi nutrisi tinggi di bawah lapisan termoklin. Namun hal berbeda ditunjukkan profil menegak klorofil-a dan amoniak. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi terlihat mulai dari kedalaman 20 meter hingga ke permukaan. Terdapat perbedaan yang mencolok antara periode musim. Pada musim peralihan konsentrasi klorofil-a cenderung rendah dibandingkan musim barat dan timur. Namun pada musim peralihan 1 terjadi peningkatan konsentrasi klorofil-a pada kedalaman 15 meter. Pada lapisan yang lebih dalam konsentrasi klorofil-a cenderung mengalami



penurunan. Sebaran konsentrasi klorofil-a dalam ekosistem perairan selain dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi juga dibatasi oleh sinar matahari. Diduga tingkat kecerahan perairan di lokasi penelitian cukup rendah sehingga pertumbuhan fitoplankton tidak optimum. Sedangkan profil menegak amonia menunjukkan pada lapisan permukaan cenderung tinggi dan terus meningkat hingga mencapai puncak pada kedalaman 80 meter. Pada lapisan yang lebih dalam konsentrasi amonia cenderung mengalami penurunan. Namun belum diketahui penyebab variasi menegak amoniak yang demikian berbeda dengan unsur nutrisi lainnya.

## Kesimpulan

Perairan Selatan Makassar mengalami dua kali periode peningkatan kesuburan perairan yaitu bulan Januari-Februari dan Juni-Agustus. Secara spasial terjadi perbedaan lokasi peningkatan kesuburan perairan di Selat Makassar. Variabel suhu dari model dapat menggambarkan proses upwelling di perairan Selatan Makassar dengan baik walaupun hasil pengukurannya masih lebih rendah (*underestimated*) dibandingkan data satelit Aqua-MODIS. Sedangkan variabel konsentrasi klorofil-a menunjukkan kondisi yang sebaliknya. Profil menegak nutrisi (nitrat, fosfat, amonia, dan silika) memperlihatkan konsentrasi yang tinggi di bawah lapisan termoklin. Seiring dengan berlangsungnya proses upwelling terjadi pengangkatan nutrisi ke lapisan permukaan. Perlu dilakukan validasi data model INDES0 dengan data pengukuran lapangan untuk memperkuat hasil penelitian ini.

## Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program *Infrastructure Development of Space Oceanography* (INDES0) yang telah menyediakan dan memberikan akses data oseanografi di perairan Indonesia untuk digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada segenap penyelenggara Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan VIII, Universitas Hasanudin.

## Daftar Pustaka

- Brown, O. B., P. J. Minnett, R. Evans, E. Kearns, K. Kilpatrick, A. Kumar, A., ... & A. Závody. 1999. MODIS infrared sea surface temperature algorithm algorithm theoretical basis document version 2.0. University of Miami, 31, 098-33.
- Effendi, R., P. Palloan & N. Ihsan. 2012. Analisis konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar Kota Makassar menggunakan data Satelit Topex/Poseidon. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3).
- Gutknecht, E., G. Reffray, M. Gehlen, I. Triyulianti, D. Berlianty & P. Gaspar. (2016). Evaluation of an operational ocean model configuration at 1/12° spatial resolution for the Indonesian seas (NEMO2.3/INDO12) – Part 2: Biogeochemistry. *Geosci. Model Dev.*, 9(4), 1523-1543.
- Hendiarti, N., H. Siegel & T. Ohde. 2004. Investigation of different coastal processes in Indonesian waters using SeaWiFS data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(1-3), 85-97.
- Hu, C., Z. Lee & B. Franz. 2012. Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on three-band reflectance difference. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117.
- Inaku, D. F. 2011. Analisis pola sebaran dan perkembangan area upwelling di bagian selatan Selat Makassar. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Kesehatan Indonesia*, 25(2).

- Millero, F. J. 2013. *The carbonate system. Chemical Oceanography*, edited by: Millero, FJ, 2nd Edn., CRC Marine Science Series, CRC Press LLC, Boca Raton, FL, USA, 237-279.
- Rashidy, E. A., M. Litaay, M.A. Salam & M.R. Umar. 2013. Komposisi dan kelimpahan fitoplankton di perairan pantai Kelurahan Tekolabbua, Kecamatan Pangkajene, Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Alam dan Lingkungan*, 4(7).
- Tomascik, T. & A.J. Mah. 2013. *Ecology of the Indonesian Seas*. Tuttle Publishing.
- Sukoraharjo. 2012. Variabilitas massa air permukaan dari data satelit di perairan Selat Makassar. Disertasi, Indonesia: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Susanto, R. D., A. Ffield, A.L. Gordon & T.R. Adi. 2012. Variability of Indonesian throughflow within Makassar Strait, 2004–2009. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117.
- Syahdan, M., A.S. Atmadipoera, S.B. Susilo & J.L. Gaol. 2014. Variability of surface chlorophyll-a in the Makassar Strait–Java Sea, Indonesia. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 14(2), 103-116.