

VARIABILITAS DAN DISTRIBUSI SPASIAL KOEFISIEN TOTAL HAMBURAN DI PERMUKAAN PERAIRAN PADA BERBAGAI MUSIM

VARIABILITY AND SPATIAL DISTRIBUTION OF TOTAL SCATTERING COEFFICIENTS OF SURFACE WATER IN VARIOUS SEASONS

Murjat Hi. Untung¹, Bisman Nababan^{2*}, dan Vincentus P. Siregar²

¹Fakultas Pascasarjana, Program Studi Teknologi Kelautan, IPB, Bogor.

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK- IPB, Bogor

Email: bisman@ipb.ac.id; simson_naban@yahoo.com

ABSTRACT

Variability and spatial distribution data of the total scattering coefficients are useful in the development of bio-optical algorithms of ocean color satellite. The purpose of this study was to determine the variability and spatial distribution of the total scattering coefficient at 9 wavelengths (λ) in different seasons. Field data collection were conducted in the Northeastern Gulf of Mexico (NEGOM) of the spring, summer, and fall in 1999-2000 by using the ac-9 in-situ Spectrophotometer and restricted to coastal waters of 10 m isobath and offshore of 1000 m isobath. The data were filtered using the moving average method and tested with the Kruskal-Wallis. The results showed that the average value of the total scattering coefficients were significantly different among spring, summer, and fall. In general, the total scattering coefficients were relatively high, especially in the coastal waters near the mouth of the river each season and relatively low in offshore waters except during the summer that the total scattering coefficients were also relatively high in offshore waters due to the intrusion of the Mississippi river flow toward offshore containing high nutrients that can promote the growth of phytoplankton in the offshore, suspended material and lower salinity jointly to increase the total scattering coefficients.

Keywords: *variability, spatial distribution, total scattering coefficient, bio-optic, NEGOM.*

ABSTRACT

Nilai variabilitas dan distribusi spasial koefisien total hamburan bermanfaat dalam pengembangan algoritma bio-optik satelit *ocean color*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan variabilitas dan distribusi spasial koefisien total hamburan pada 9 panjang gelombang (λ) dalam berbagai musim. Pengumpulan data lapangan dilakukan di perairan *Northeastern Gulf of Mexico* (NEGOM) pada musim semi, panas, dan gugur tahun 1999-2000 dengan menggunakan *ac-9 in-situ Spectrophotometer* yang dibatasi pada perairan pesisir dengan *isobaths* 10 m dan laut lepas dengan *isobaths* 1000 m. Data difilter menggunakan metode *moving average* dan diuji menggunakan Kruskal-Wallis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata koefisien total hamburan secara signifikan berbeda antar musim semi, panas, dan gugur. Secara umum, koefisien total hamburan relatif tinggi ditemui di perairan pesisir khususnya dekat muara sungai setiap musim dan relatif rendah di perairan *offshore* kecuali pada musim panas koefisien total hamburan yang relatif tinggi juga ditemui pada perairan *offshore*. Koefisien total hamburan yang relatif tinggi pada musim panas di perairan *offshore* disebabkan oleh adanya intrusi aliran sungai Mississippi ke arah *offshore* yang mengandung banyak nutrient yang dapat meningkatkan pertumbuhan fitoplankton di perairan *offshore* dan materi tersuspensi serta menurunkan salinitas yang secara bersama-sama meningkatkan koefisien total hamburan.

Kata kunci: variabilitas, distribusi spasial, koefisien total hamburan, bio-optik, NEGOM.

I. PENDAHULUAN

Sifat optik perairan dipengaruhi oleh intensitas dan sudut datang cahaya serta materi yang terkandung di dalam kolom perairan. Intensitas cahaya setelah mengenai perairan akan mengalami proses absorpsi dan hamburan yang mengakibatkan jumlah intensitas cahaya mengalami penurunan secara eksponensial dengan kedalaman kolom perairan tersebut. Sifat optik perairan ini dibagi dalam dua kategori yaitu *apparent optical properties* (AOP) yaitu sifat optik yang dipengaruhi oleh intensitas dan sudut ruang cahaya datang serta kandungan materi dalam air dan *inherent optical properties* (IOP) yaitu sifat optik yang hanya dipengaruhi oleh kandungan materi dalam kolom air seperti fitoplankton, padatan tersuspensi, bahan organik, (Mobley, 1994; Kirk, 1994).

Absorpsi merupakan proses penyerapan energi oleh kolom air dan materi yang terkandung di dalamnya sedangkan hamburan adalah proses penghamburan energi oleh kolom air maupun materi yang terkandung dalam kolom air tersebut. Hamburan disini dapat berupa hamburan balik (*backward scattering*) maupun hamburan maju (*forward scattering*). Total hamburan merupakan gabungan dari hamburan balik dan hamburan maju. Peristiwa hilangnya energi (cahaya) melalui proses absorpsi dan hamburan disebut proses atenuasi. Secara umum, atenuasi (c) adalah hasil penjumlahan absorpsi (a) dengan hamburan (b) (Boss *et al.*, 2001; Miller *et al.*, 2003, Kirk, 1994; Mobley, 1994).

Spektrum cahaya merah lebih cepat diserap oleh kolom perairan dibandingkan dengan spektrum cahaya biru dan hijau karena gelombang ini mempunyai frekuensi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan spektrum biru dan hijau yang mempunyai frekuensi yang lebih besar (Mobley, 1994). Materi

terkandung dalam kolom perairan seperti fitoplankton, bahan organik, dan *colored dissolved organic matter* (CDOM) juga mempunyai sifat absorpsi dan hamburan yang akan mempengaruhi hilangnya energi cahaya (atenuasi) dalam kolom perairan (Kirk, 1994; McKee dan Cunningham, 2006; Capone *et al.*, 2002; Pegau *et al.*, 2003; Morel *et al.*, 2007; Tonizzo *et al.*, 2009). Dengan demikian, variasi spektral absorpsi dan hamburan di perairan akan dipengaruhi secara langsung oleh perbedaan konsentrasi serta komposisi dari bahan atau material dalam kolom air (Pegau *et al.*, 2003; Morel *et al.*, 2007).

Perairan *Northeastern Gulf of Mexico* (NEGOM) merupakan lingkungan perairan yang dipengaruhi oleh enam sungai besar yang memiliki kontribusi yang sangat tinggi untuk mensuplai nutrisi, chlorophyll, dan bahan organik terlarut yang berasal dari daratan seperti sungai Mississippi, Mobile, Escambia, Choctawhatchee, Apalachicola, dan Suwannee (Guo *et al.*, 1995; Gilbes *et al.*, 1996; Turner and Rabalais, 1999; Pennock *et al.*, 1999; Del Castillo *et al.*, 2000). Selain itu faktor oseanografi seperti *upwelling*, *Loop Current*, *cold and warm eddies*, *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), dan musim juga berperan sangat penting dalam menentukan variabilitas bio-optik perairan ini (Nababan, 2005; Gilbes *et al.*, 1996; Muller-Karger, *et al.*, 1991; Muller-Karger, 2000; Weisberg *et al.*, 2000; He and Weisberg, 2002, 2003). Sejauh ini, masih sedikit penelitian terkait variabilitas dan distribusi spasial total hamburan di perairan NEGOM, khususnya perairan tropis sehingga penelitian ini sangat penting dilakukan (Nababan *et al.*, 2011; Nababan, 2005; Bunge *et al.*, 2002). Informasi terkait variabilitas dan distribusi spasial total hamburan sangat bermanfaat dalam penyediaan informasi bio-optik yang nantinya dapat dimanfaatkan untuk pengembangan algoritma bio-optik untuk

satelit *ocean color*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi variabilitas dan distribusi spasial koefisien total hamburan (*scattering*) pada 9 panjang gelombang (λ) pada berbagai musim di wilayah perairan NEGOM.

II. METODE PENELITIAN

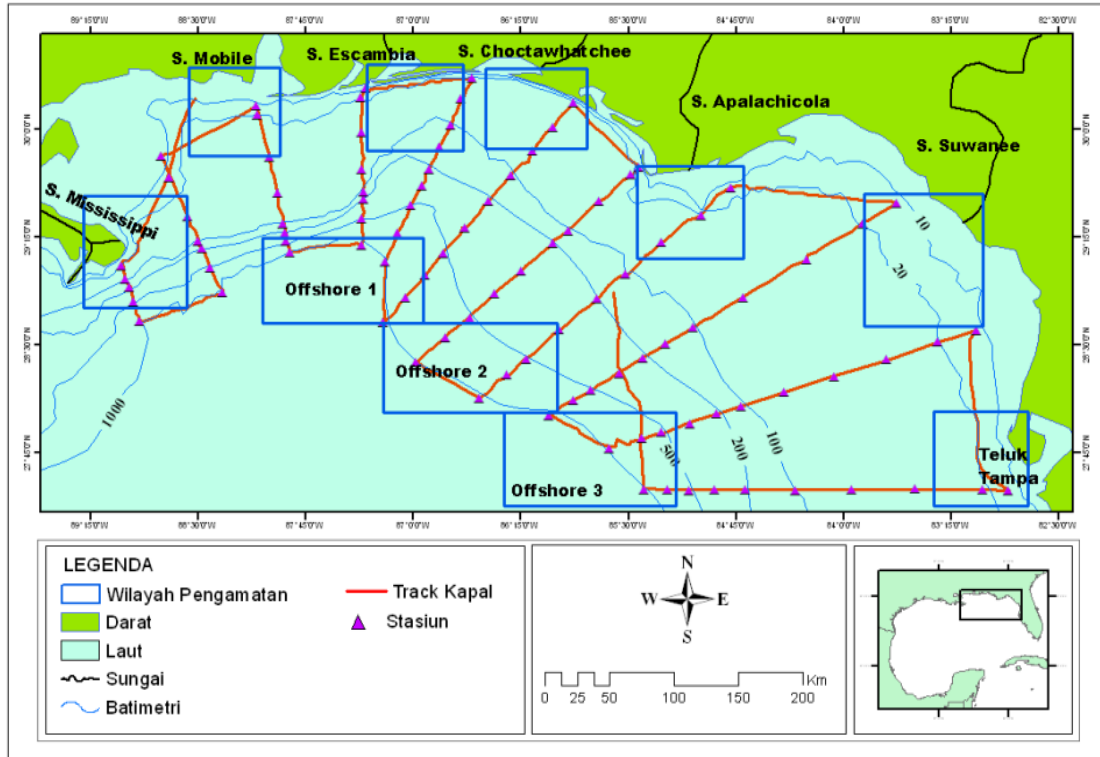
2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Pengambilan data lapangan dilakukan di perairan *Northeastern Gulf of*

Mexico (NEGOM) selama 2 minggu dalam tiga musim (semi, panas, gugur) pada tahun 1999-2000 (Tabel 1). Lokasi survei dengan koordinat 27.3° - 30.7° N dan 82.6° - 89.6° W (Gambar 1) dengan posisi yang membentang dari delta Sungai Mississippi hingga teluk Tampa dengan dibatasi pada perairan pantai dengan kedalaman (*isobaths*) 10 m dan perairan laut lepas (*offshore*) dengan kedalaman 1000 m.

Tabel 1. Jadwal pelaksanaan pengambilan data lapangan.

No. <i>cruise</i>	Tanggal mulai	Tanggal selesai	<i>CruiseID</i>	Musim
1	15 Mei 1999	28 Mei 1999	Sp-99	Semi
2	15 Agustus 1999	28 Agustus 1999	Su-99	Panas
3	13 November 1999	23 November 1999	Fa-99	Gugur
4	15 April 2000	26 April 2000	Sp-00	Semi
5	28 Juli 2000	8 Agustus 2000	Su-00	Panas



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

2.2. Pengumpulan Data Lapangan

Dalam pengumpulan data lapangan, alat yang digunakan berupa GPS (*Global Positioning System*), *ac-9 in-situ Spectrophotometer*, dan *debubbler*. Sample air laut permukaan (kedalaman 3 m) dipompa dengan laju 10 liter/menit dari bagian depan kapal (*hull*) dan dialirkan kedalam tabung *debubbler* (tabung penghilang gas tercampur dalam air laut) di laboratorium basah dalam kapal. Air laut dalam *debubbler* disimpan selama sekitar 1 menit (air laut sudah bebas dari gas tercampur) kemudian dari bagian bawah tabung *debubbler* dialirkan dengan menggunakan selang yang lebih kecil ke sensor absorpsi dan atenuasi instrumen *ac-9* dengan laju air 1 liter/menit. Instrument *ac-9* yang dialiri air laut dan menyala disambungkan dengan lap top yang sudah diatur settingannya sehingga dapat melakukan perekaman data setiap 5 detik secara terus-menerus (*continue*). Data hasil pengukuran disimpan setiap 6 atau 8 jam untuk menghindari ukuran file yang tidak terlalu besar. Pembersihan tabung sensor absorpsi dan atenuasi instrumen *ac-9* dilakukan paling tidak sekali dalam sehari untuk menghilangkan kemungkinan bakteri, jamur, atau phytoplankton yang lengket dalam tabung tersebut.

Pengambilan data absorpsi dan atenuasi dengan menggunakan air murni (Milli-Q) untuk tujuan koreksi alat *ac-9* dilakukan di laboratorium sebelum pengambilan data di lapangan. Pengukuran data absorpsi dan atenuasi dengan menggunakan air murni (Milli-Q) juga dilakukan beberapa kali selama pengambilan data di lapangan sebagai bagian dari koreksi alat *ac-9*.

2.3. Pengolahan Data

Proses analisis data dilakukan pertama kali dengan melakukan proses *filtering* dengan metode *moving average* terhadap seluruh data absorpsi dan

atenuasi dari instrumen *ac-9* baik data air murni (Milli-Q) maupun data lapangan. Proses ini dilakukan untuk menghilangkan data ekstrim yang mungkin terjadi akibat masih adanya gas terlarut dalam air laut yang dialirkan kedalam tabung *ac-9* ataupun gangguan lain terhadap alat *ac-9*. Setelah proses *filtering* selesai, data absorpsi dan atenuasi dikoreksi dengan menggunakan data absorpsi dan atenuasi air murni (Milli-Q) dengan persamaan berikut:

$$a_m = a_t - a_{wr} \quad (1a)$$

$$c_m = c_t - c_{wr} \quad (1b)$$

dimana: a_m dan c_m adalah absorpsi dan atenuasi hasil koreksi, a_t dan c_t adalah total absorpsi dan atenuasi sampel, a_{wr} dan c_{wr} adalah absorpsi dan atenuasi dari air murni.

Khusus untuk data absorpsi masih dilakukan koreksi akibat kemungkinan masih ditemukannya error akibat hamburan yang masih ditemukan pada tabung absorpsi dengan menggunakan metode koreksi *scattering error* dengan persamaan berikut (Barnard, 2003)

$$a(\lambda) = a_m(\lambda) - a_m(\lambda_{ref}) \quad (2)$$

dimana: $a(\lambda)$ adalah absorpsi hasil koreksi (*scattering correction*), $a_m(\lambda)$ adalah absorpsi hasil koreksi nilai air murni, $a_m(\lambda_{ref})$ adalah absorpsi hasil koreksi nilai air murni panjang gelombang *near infrared* (715 nm)

Perhitungan koefisien total hamburan (*scattering*) dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$b(\lambda) = c(\lambda) - a(\lambda) \quad (3)$$

dimana: b adalah koefisien total hamburan (*scattering*), c adalah koefisien atenuasi dan a adalah koefisien absorpsi

Untuk mengetahui perbedaan rata-rata koefisien total hamburan antar musim dan lokasi dilakukan uji statistik Kruskal-Wallis (Walpole, 1993) dengan menggunakan rumus berikut:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^c \frac{Ri^2}{ni} - 3(n+1) \quad (4)$$

dimana: H adalah nilai uji Kruskal-Wallis, n adalah jumlah sampel, c adalah jumlah kelas, R adalah jumlah rangking pada sampel ke-i.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variabilitas Koefisien Total Hamburan

Nilai rata-rata koefisien total hamburan di perairan NEGOM berkisar antara 0,18 ($\pm 0,13$) m^{-1} ($\lambda=412$ nm, musim gugur_99) sampai 0,73($\pm 0,41$) m^{-1} ($\lambda=510$ nm, musim panas-99) (Tabel 2). Hasil ini menunjukkan bahwa koefisien total hamburan secara umum lebih besar pada gelombang hijau sebagai akibat pengaruh phytoplankton. Koefisien total hamburan pada masing-masing panjang gelombang secara umum lebih tinggi pada musim panas dibandingkan dengan musim semi dan gugur pada tahun yang sama dan kisaran nilai rata-rata paling tinggi terjadi pada musim panas tahun 1999 yaitu 0,50($\pm 0,31$) m^{-1} ($\lambda=412$ nm (biru)) dan

0,73($\pm 0,41$) m^{-1} ($\lambda=510$ nm (hijau)) (Tabel 2).

Relatif tingginya koefisien total hamburan pada musim panas khususnya pada panjang gelombang hijau disebabkan oleh adanya pengaruh angin barat dan barat laut yang menyebabkan arus permukaan menyeret air tawar dan partikel lainnya ke arah timur dan tenggara muara sungai Mississippi yang kemudain difasilitasi oleh Loop Current untuk menyeret air tawar dan partikel lainnya tersebut ke laut lepas ke arah timur/tenggara muara Mississippi yang mengakibatkan terjadinya *blooming* fitoplankton di laut lepas (*offshore*) pada musim ini dan tidak terjadi pada musim lainnya (Nababan *et al.*, 2011; Nababan, 2005; Walsh *et al.*, 2003).

3.2. Distribusi Spasial Koefisien Total Hamburan

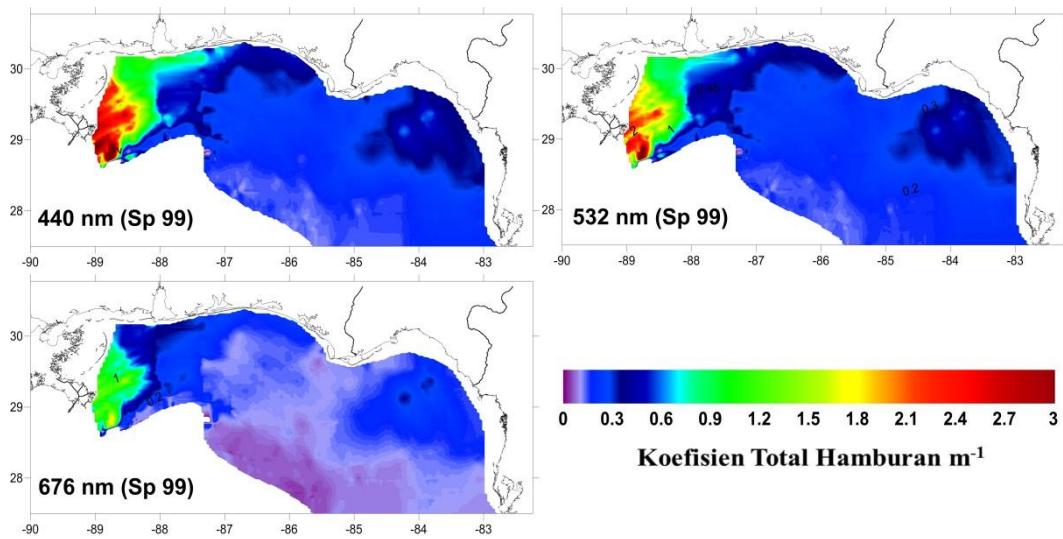
Pada musim semi 1999, distribusi nilai koefisien total hamburan pada gelombang biru, hijau, dan merah maksimum ditemukan di sekitar muara sungai Mississippi sementara pada musim semi 2000 nilai koefisien total hamburan gelombang biru, hijau, dan merah maksimum ditemukan di muara sungai Mobile (Gambar 2 dan 3). Hal ini disebabkan pada musim semi 1999, pengambilan data lapangan dilakukan

Tabel 2. Nilai rata-rata (simpangan deviasi) koefisien total hamburan masing-masing musim.

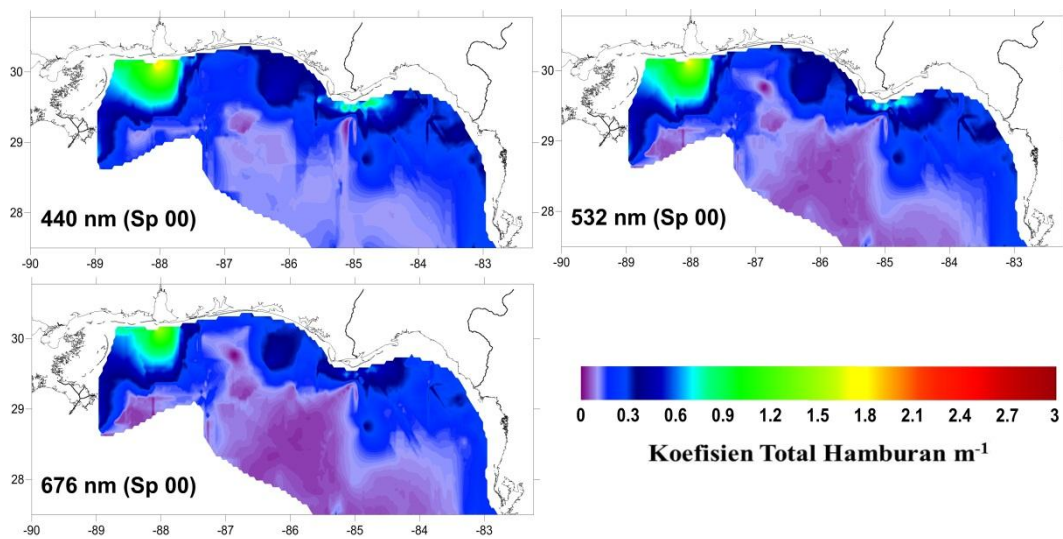
Musim	Panjang gelombang (λ)								
	412	440	488	510	532	555	650	676	715
Semi_99	0,43(0,42)	0,48(0,42)	0,50(0,43)	0,52(0,48)	0,50(0,47)	0,48(0,45)	0,47(0,41)	0,45(0,35)	0,35(0,31)
Panas_99	0,58(0,44)	0,65(0,42)	0,69(0,41)	0,73(0,41)	0,69(0,40)	0,68(0,39)	0,65(0,36)	0,63(0,35)	0,50(0,31)
Gugur_99	0,18(0,13)	0,29(0,28)	0,36(0,24)	0,43(0,23)	0,39(0,23)	0,37(0,30)	0,37(0,23)	0,36(0,31)	0,28(0,10)
Semi_00	0,35(0,10)	0,34(0,10)	0,32(0,04)	0,32(0,02)	0,31(0,21)	0,31(0,30)	0,28(0,25)	0,27(0,23)	0,24(0,20)
Panas_00	0,42(0,36)	0,39(0,32)	0,44(0,38)	0,44(0,26)	0,34(0,32)	0,33(0,32)	0,29(0,26)	0,27(0,24)	0,27(0,22)

pada bulan Mei yang lebih dekat ke musim summer dibandingkan pengambilan data lapangan pada musim semi 2000 yang dilakukan pada bulan April. Arah angin permukaan pada bulan Mei berasal dari barat dan timur laut sedangkan arah angin pada bulan April berasal dari timur dan timur laut (Nababan, 2005). Pergerakan angin ini mengakibatkan arus permukaan pada

bulan Mei bergerak ke arah timur dan tenggara yang menyeret debit air tawar dari Sungai Mississippi bergerak ke arah timur atau tenggara dan sebaliknya pada bulan April arus permukaan cenderung bergerak ke arah barah dan barat daya dan mengakibatkan tidak terlihatnya intrusi sungai Mississippi ke arah timur atau tenggara dari muara sungai Mississippi (Nababan *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2003).



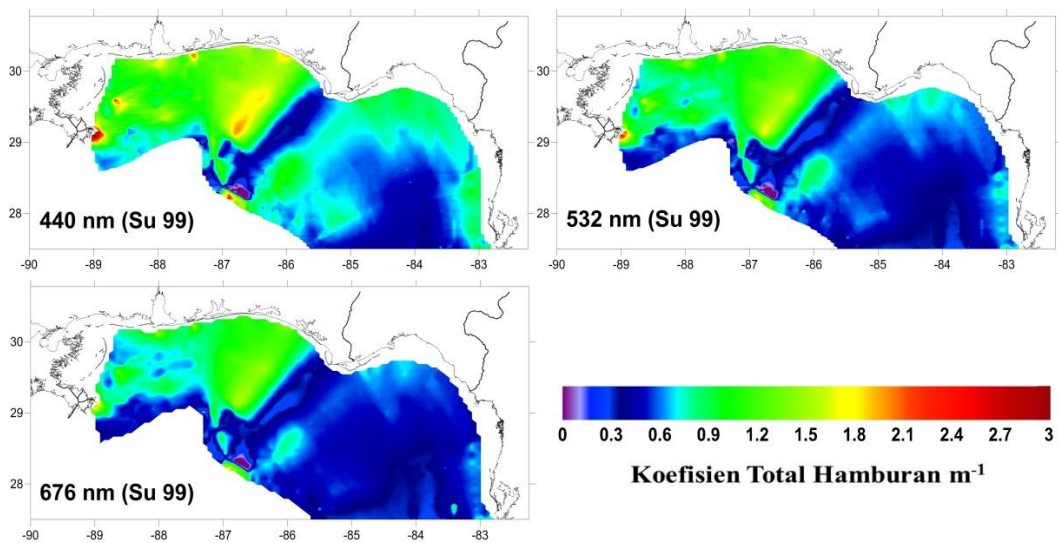
Gambar 2. Distribusi koefisien total hamburan (*scattering*) pada gelombang biru, hijau, dan merah saat musim semi 1999 di wilayah perairan NEGOM.



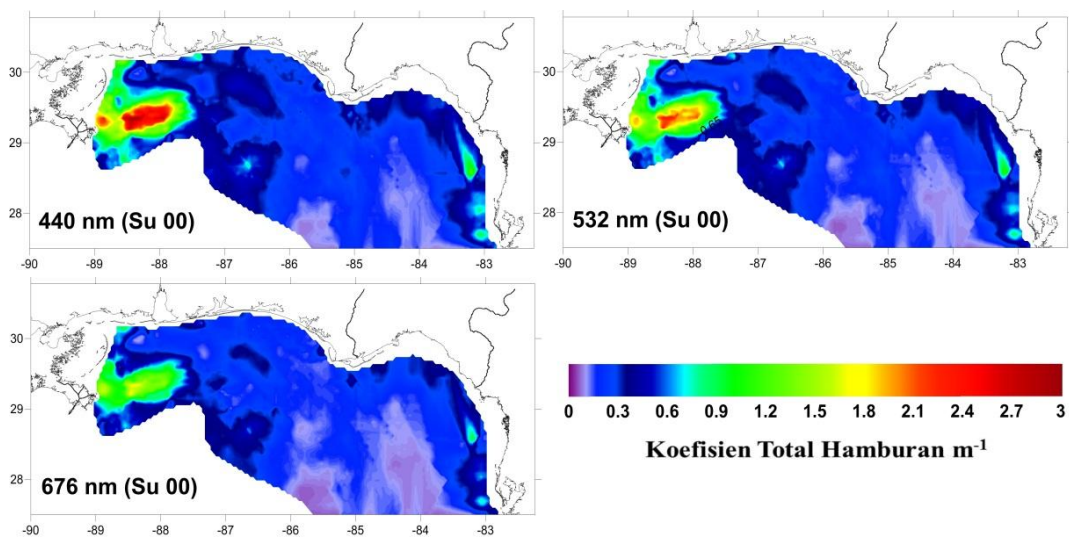
Gambar 3. Distribusi koefisien total hamburan (*scattering*) pada gelombang biru, hijau, dan merah saat musim semi 2000 di wilayah perairan NEGOM.

Secara umum, distribusi spasial koefisien total hamburan pada saat musim semi 1999 dan 2000 cenderung lebih tinggi di perairan pesisir khususnya dekat muara sungai dibandingkan daerah *offshore*. Koefisien total hamburan yang tinggi di daerah pesisir ini akibat dari pengaruh debit air sungai yang membawa banyak nutrisi dan mengakibatkan adanya *blooming* fitoplankton di daerah pesisir khususnya dekat muara sungai.

Pada musim panas, sebaran koefisien total hamburan relatif lebih tinggi di daerah pesisir khususnya dekat muara sungai dan penyebaran ini sampai ke daerah *offshore* (Gambar 4 dan 5). Pada musim panas 1999, koefisien total hamburan yang relatif tinggi di daerah *offshore* lebih luas dibandingkan pada musim panas tahun 2000 (Gambar 4 dan 5). Hal ini disebabkan oleh karena debit sungai Mississippi pada musim panas



Gambar 4. Distribusi koefisien total hamburan (*scattering*) pada gelombang biru, hijau, dan merah saat musim panas 1999 di wilayah perairan NEGOM.



Gambar 5. Distribusi koefisien total hamburan (*scattering*) pada gelombang biru, hijau, dan merah saat musim panas 2000 di wilayah perairan NEGOM.

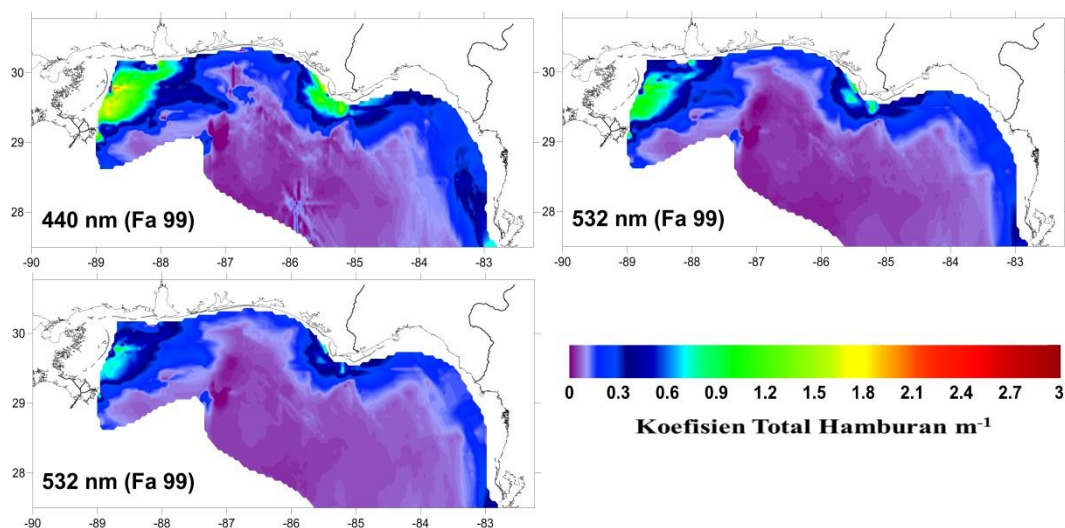
1999 jauh lebih tinggi dibandingkan pada musim panas 2000 serta ukuran *Loop Current* yang menyeret aliran sungai Mississippi ke arah offshore pada musim panas 1999 lebih besar dibandingkan pada musim dingin 2000 (Nababan, 2005).

Pada musim gugur 1999, distribusi koefisien total hamburan hanya terlihat relatif tinggi pada muara sungai Mississippi, Mobile, dan Apalachicola dan sangat rendah pada daerah offshore (Gambar 6). Hasil ini mengindikasikan bahwa aliran sungai dari sungai-sungai

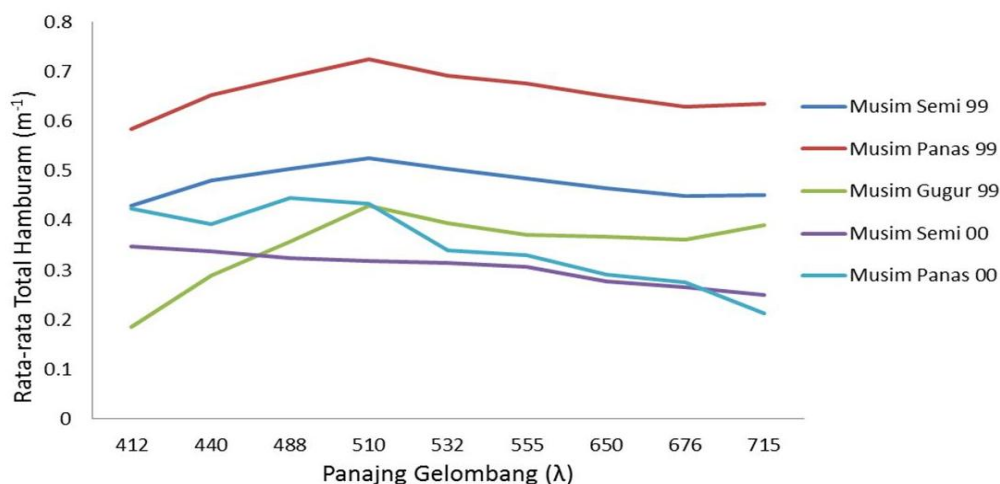
yang bermuara ke NEGOM tidak tersebar ke arah offshore dan mungkin juga karena debit air sungai pada musim ini relatif lebih rendah dibandingkan pada musim lainnya (Nababan, 2005).

3.3. Variabilitas Antar Musim

Secara umum koefisien total hamburan di perairan timur laut Teluk Meksiko antar musim memiliki pola dan nilai rata-rata yang berbeda nyata (berbeda sangat nyata pada $\alpha=0,01$ Uji Kruskal-Wallis; Gambar 7).



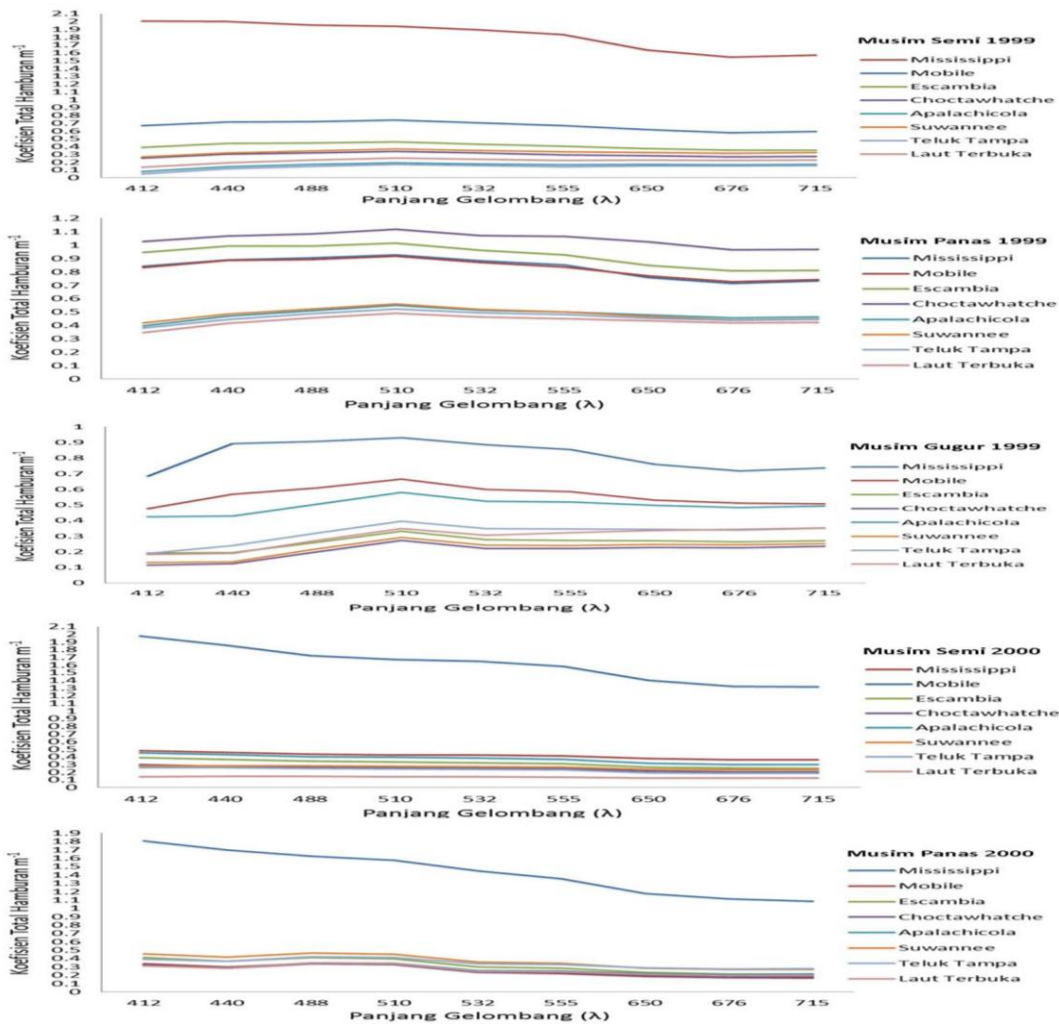
Gambar 6. Distribusi koefisien total hamburan (*scattering*) pada gelombang biru, hijau, dan merah saat musim gugur 1999 di wilayah perairan NEGOM.



Gambar 7. Perbandingan koefisien total hamburan antar musim di perairan NEGOM.

Perbedaan koefisien total hamburan dalam pola dan nilai rata-rata disebabkan oleh adanya perbedaan arah dan kecepatan angin arus, posisi arus *Loop*, dan debit air sungai setiap musim (Nababan *et al.*, 2011; Nababan, 2005; Walsh *et al.*, 2003). Pada Gambar 7 juga terlihat bahwa musim panas 1999 memiliki nilai rata-rata koefisien total hamburan yang paling tinggi dibandingkan musim lainnya (Gambar 7). Hal ini terjadi karena posisi arus *Loop* lebih dekat ke muara sungai Mississippi dan ukuran arus *Loop* ini lebih besar dari musim lainnya sehingga membantu penyebaran air tawar yang kaya nutrisi dan materi tersuspensi ke laut lepas lebih

jauh (Nababan *et al.*, 2011). Berdasarkan perhitungan statistik dengan menggunakan uji beda nyata menunjukkan bahwa variabilitas distribusi koefisien total hamburan yang diperoleh setiap wilayah pada masing-masing musim berbeda nyata (berbeda sangat nyata pada $\alpha=0,01$ Uji Kruskal-Wallis; Gambar 8). Hasil juga menunjukkan bahwa nilai rata-rata koefisien total hamburan secara umum lebih tinggi di perairan pesisir dibandingkan dengan perairan *offshore* (Gambar 8). Hal ini dikarenakan nutrisi, bahan organik, dan bahan tersuspensi lebih besar terdistribusi di perairan pesisir (Newall dan Fisher, 2002; Nababan, 2005; Son *et al.*, 2012).



Gambar 8. Variabilitas koefisien total hamburan antar musim tiap wilayah pengamatan.

IV. KESIMPULAN

Nilai rata-rata koefisien total hamburan di perairan NEGOM berkisar antara $0,18(\pm 0,13) \text{ m}^{-1}$ pada panjang gelombang biru ($\lambda=412 \text{ nm}$) sampai $0,73(\pm 0,41) \text{ m}^{-1}$ pada panjang gelombang hijau ($\lambda=510 \text{ nm}$). Nilai hamburan tertinggi berada pada panjang gelombang hijau menandakan pengaruh phytoplankton sangat dominan.

Secara umum, koefisien total hamburan (*scattering*) relatif tinggi ditemui di perairan pesisir khususnya dekat muara sungai setiap musim dan relatif rendah di perairan *offshore* kecuali pada musim panas koefisien total hamburan yang relatif tinggi juga ditemui pada perairan *offshore*. Koefisien total hamburan yang relatif tinggi pada musim panas di perairan *offshore* disebabkan oleh adanya intrusi aliran sungai Mississippi ke arah *offshore* yang mengandung banyak materi tersuspensi dan nutrient sehingga mengakibatkan *blooming* fitoplankton di perairan *offshore* dan meningkatkan koefisien total hamburan.

Secara umum, perbedaan musim juga berpengaruh nyata terhadap variabilitas dan distribusi spasial koefisien total hamburan di perairan timur laut Teluk Meksiko. Faktor angin, arus, dan posisi *Loop Current* sangat mempengaruhi distribusi dan variabilitas koefisien total hamburan di timur laut Teluk Meksiko.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Prof. Dr. Frank E. Muller-Karger, Direktur *Institute of Marine Remote Sensing, University of South Florida, St. Petersburg, Florida* dan Prof. Dr. Chuanmin Hu, *College of Marine Science, University of South Florida* yang telah memberikan fasilitas dan bimbingan dalam pengambilan data lapangan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bunge, L., J. Ochoa, A. Badan, J. Candela, and J. Sheinbaum. 2002. Deep flows in the Yucatan Channel and their relation to changes in the Loop Current extension. *J. of Geophysical Research*, 107(12):26-33
- Capone, A., T. Digaetano, A. Grimaldi, R. Habel, D.L. Presti, E. Migneco, R. Masullo, F. Moro, M. Petrucetti, C. Petta, P. Piattelli, N. Randazzo, G. Riccobene, E. Salusti, P. Sapienza, M. Sedita, L. Trasatti, L. Ursella. 2002. Measurements of light transmission in deep sea with the AC9 Transmissometer. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 487:423-434.
- Del Castillo, C.E., F. Gilbes, P.G. Coble, and F.E. Muller-Karger. 2000. On the dispersal of riverine colored dissolved organic matter over the West Florida Shelf, *Limnol. Oceanogr.*, 45(6):1425-1432.
- Gilbes, F., C. Thomas, J.J. Walsh, and F.E. Muller-Karger. 1996. An episodic chlorophyll-a plume on the west Florida shelf. *Continental Shelf Res.*, 16(9):1201-1224.
- Guo, L., P.H. Santschi, and K.W. Warnken. 1995. Dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in oceanic environments, *Limnol. Oceanogr.*, 40(8):1392-1403.
- He, R. and R.H. Weisberg. 2002. West Florida shelf circulation and temperature budget for the 1999 spring transition. *Continental Shelf Res.*, 22:719-748.
- He, R. and R.H. Weisberg. 2003. West Florida shelf circulation and temperature budget for the 1998 fall transition. *Continental Shelf Res.*, 23:777-800.
- Kirk, J.T.O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge Univ. Press. UK. 500p.

- McKee, D., and A. Cunningham. 2006. Identification and characterisation of two optical water types in the Irish Sea from in situ inherent optical properties and seawater constituents.
- Mobley, C.D. 1994. Light and water: radiative transfer in natural waters. Academic Press, Inc., Sacramento. 579p
- Morel, A., B. Gentili, H. Claustre, M. Babin, A. Bricaud, J.P. Ras, and F. Tieche. 2007. Optical properties of the “clearest” natural waters. *Laboratoire Oceanographie de Villefranche*.
- Muller-Karger, F.E., J.J. Walsh, R.H. Evans, and M.B. Meyers. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *J. Geophys. Res.*, 96(C7): 12645-12665.
- Muller-Karger, F.E. 2000. The spring 1998 Northeastern Gulf of Mexico (NEGOM) cold water event: remote sensing evidence for upwelling and for eastward advection of Mississippi water (or: how an errant Loop Current Anticyclone took the NEGOM for a spin). *Gulf of Mex. Sci.*, 18(1): 55-67.
- Nababan, B. 2005. Bio-optical variability of surface waters in the northeastern Gulf of Mexico. Dissertation. University of South Florida. St. Petersburg. 159p.
- Nababan, B., F.E. Muller-Karger, C. Hu, and D.C. Biggs. 2011. Chlorophyll variability in the northeastern gulf of Mexico. *International J. of Remote Sensing*, 32:1-19.
- Newall, E.J.R., and T.R. Fisher. 2002. Production of chromophoric dissolved organic matter fluorescence in marine and estuarine environments. An investigation into the role of phytoplankton. 7-21pp.
- Pegau, W.S., J.R.V. Zaneveld, and J.L. Mueller. 2003. Inherent optical property measurement concepts: physical principles and instruments. College of Oceanographic and Atmospheric Sciences.
- Pennock, J.R., J.N. Boyer, J.A. Herrera-Silveira, R.L. Iverson, T.E. Whitledge, B. Mortazavi, and F.A. Comin. 1999. Nutrient behavior and phytoplankton production in Gulf of Mexico estuaries. *In: T.S. Bianchi, J.R. Pennock, and R.R. Twilley (eds.). Biogeochemistry of Gulf of Mexico estuaries.* John Wiley and Sons, Inc. New York. 109-162pp.
- Son, Y.B., W.D. Gardner, M.J. Richardson, J. Ishizaka, J.H. Ryu, S.H. Kim, and S.H. Lee. 2012. Tracing offshore low-salinity plumes in the Northeastern Gulf of Mexico during the summer season by use of multispectral remote-sensing data. *Oceanographic Society of Japan and Springer*.
- Sullivan, J.M., M.S Twardowski, J.R.V. Zaneveld, C.M. Moore, A.H. Barnard, P.L. Donaghay, and B. Rhoades. 2006. Hyperspectral temperature and salt dependencies of absorption by water and heavy water in the 400 - 750 nm spectral range. *Appl. Opt.*, 45:5294-5309.
- Turner, R. E. and N. N. Rabalais. 1991. Changes in Mississippi River quality this century. *Bioscience*, 3:140-147.
- Walpole, R.E. 1993. Pengantar Statistika. Edisi ke-3. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 507hlm.

- Walsh, J.J., R.H. Weisberg, D.A. Dieterle, R. He, B.P. Darrow, J.K. Jolliff, K.M. Lester, G.A. Vargo, G.J. Kirkpatrick, K.A. Fanning, T.T. Sutton, A.E. Jochens, D.C. Biggs, B. Nababan, C. Hu, and F.E. Muller-Karger. 2003. Phytoplankton response to intrusions of slope water on the West Florida Shelf: Models and observations, *J. Geophys. Res.*, 108(C6):3190-3212.
- Weisberg, R. H., B. D. Black, and Z. Li. 2000. An upwelling case study of Florida's west coast, *J. Geophys. Res.*, 105(C5):11,459-11,469.
- Diterima : 25 Juli 2013*
Direview : 26 Desember 2013
Disetujui : 30 Desember 2013