

## Studi Variabilitas Lapisan Atas Perairan Samudera Hindia Berbasis Model Laut

Oleh :

Martono, Halimurrahman, Rudy Komarudin,  
Syarief, Slamet Priyanto dan Dita Nugraha

Interaksi laut-atmosfer mempunyai peranan yang sangat penting terhadap dinamika dan kondisi baik perairan laut maupun lingkungan atmosfer. Interaksi ini meliputi pertukaran momentum, energi dan massa. Perubahan kondisi atmosfer akan dapat mempengaruhi kondisi laut dan sebaliknya. Angin misalnya dapat menyebabkan terjadinya gelombang laut dan arus permukaan laut, curah hujan dapat mempengaruhi kadar salinitas air laut. Sebaliknya proses fisis di laut seperti upwelling dapat mempengaruhi kondisi atmosfer setempat.

Perairan Samudera Hindia mempunyai sifat yang unik dan kompleks. Bersifat unik dan kompleks karena dinamika perairan ini sangat dipengaruhi oleh sistem angin musim dan sistem angin pasat yang bergerak di atasnya tidak seperti perairan Samudera Pasifik dan Atlantik yang hanya dipengaruhi oleh sistem angin pasat saja. Di perairan ini terdapat beberapa fenomena oseanografi yang mempunyai pengaruh penting tidak hanya dalam masalah oseanografi tetapi juga dalam masalah atmosfer. Fenomena ini antara lain Indian Ocean Dipole (Saji et al, 1999), upwelling (Wrytki, 1961) dan eddies (Robinson, 1983).

Indian Ocean Dipole adalah suatu mode iklim yang terjadi antar tahunan di Samudera Hindia bagian tropis yang ditemukan pada tahun 1999 oleh Prof. Yamagata, Dr. Saji dan beberapa peneliti dari the Climate Variations Program of Frontier Research System for Global Change. IOD direpresentasikan dengan anomaly gradien suhu permukaan laut antara bagian barat ekuator Samudera Hindia ( $50^{\circ}\text{E} - 70^{\circ}\text{E}$  dan  $10^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{N}$ ) dan bagian timur ekuator Samudera Hindia ( $90^{\circ}\text{E} - 110^{\circ}\text{E}$  dan  $10^{\circ}\text{S} - 0^{\circ}$ ). Anomali gradien suhu permukaan laut ini dikenal dengan Dipole Mode Index (DMI). IOD mempunyai dua fase yaitu fase positif dan fase negatif.

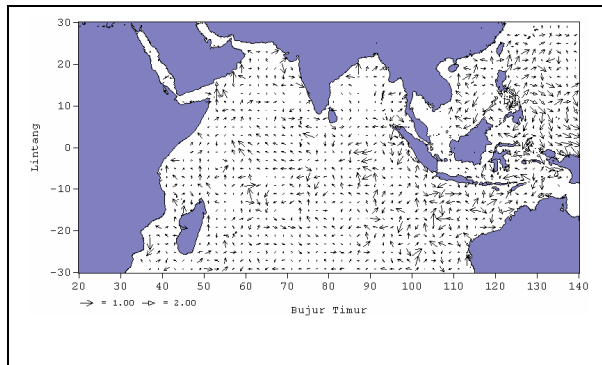
Fenomena IOD memberikan dampak yang besar terhadap kondisi lingkungan laut dan atmosfer. Dampak IOD dapat positif maupun negatif. Dampak positif terjadi pada saat IOD fase positif yang menyebabkan perairan pantai barat Sumatera dan selatan Jawa terjadi proses upwelling. Sedangkan dampak negatif terjadi pada saat IOD fase positif yang menyebabkan terjadinya kekeringan dan sebaliknya pada saat IOD fase negatif akan meningkatkan intensitas curah hujan di beberapa wilayah Indonesia terutama kawasan bagian barat.

Upwelling adalah proses kenaikan massa air dari bawah ke permukaan laut. Massa air yang naik ini mempunyai salinitas yang tinggi, suhu yang rendah dan kaya nutrisi sehingga memberikan dampak positif terhadap tingkat kesuburan perairan. Kondisi ini memicu peningkatan produktivitas primer. Sebagai akibat adanya perbedaan suhu yang relatif besar antara daerah upwelling dan sekitarnya maka kondisi ini akan mempengaruhi kondisi atmosfer di atasnya.

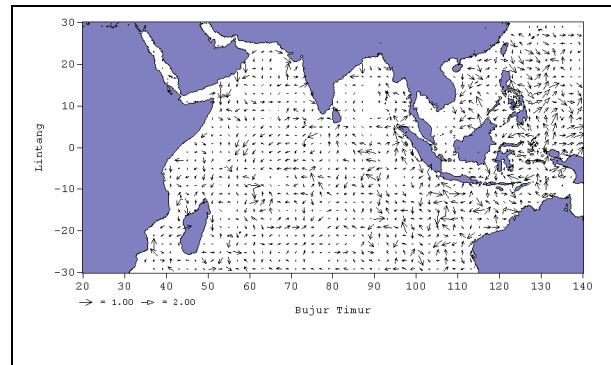
Di beberapa wilayah perairan Samudera Hindia telah diketahui adanya eddies yang terbentuk. Wilayah ini yaitu antara lain Laut Arab, sistem Arus Somali, pantai Barat Australia, selatan Jawa dan Sumatera dan beberapa tempat lainnya. Eddies merupakan salah satu fenomena oseanografi yang belakangan banyak menarik perhatian para ahli oseanografi. Hal ini disebabkan eddies mempunyai peranan yang penting terhadap fisika laut, biologi laut maupun dinamika atmosfer. Eddies ini mempunyai distribusi spasial dan temporal yang heterogen. Skala spasial berkisar antara puluhan sampai ratusan kilometer dan skala temporal berkisar antara mingguan sampai bulanan. Gerakan eddies ada dua macam yaitu secara siklonik maupun antisiklonik.

Dalam penelitian ini digunakan model tiga dimensi baroklinik POM yang dikembangkan oleh George L. Mellor dari Program in Atmospheric and Oceanic Science, Princeton University. Model ini terdiri dari dua (2) program yaitu program pertama untuk mensetting nilai awal dengan input data angin, suhu, salinitas dan batimetri yang diberi nama GRID.f. Hasil dari program ini akan digunakan sebagai nilai awal untuk program utama yaitu program kedua dengan nama POM2K.f.

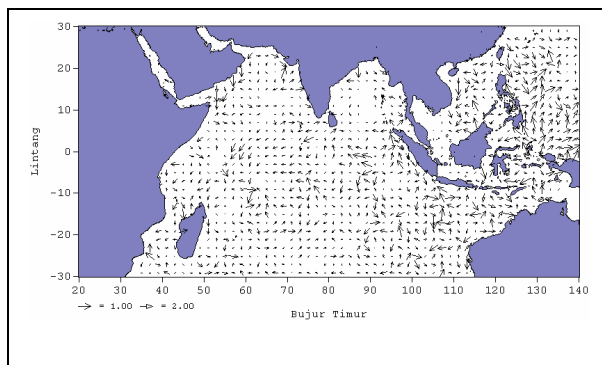
Simulasi dilakukan dengan menggunakan data angin permukaan tahun 2007 dari NCEP/NCAR. Daerah simulasi model meliputi wilayah perairan Samudera Hindia ( $30^{\circ}$  LU –  $30^{\circ}$  LS dan  $20^{\circ}$  BT –  $140^{\circ}$  BT). Secara horizontal daerah simulasi dibagi menjadi beberapa grid ( $120 \times 60$ ) dengan ukuran setiap grid  $\Delta x = \Delta y = 1^{\circ}$  (110 km) dan secara vertikal daerah simulasi dibagi menjadi 20 lapisan (dalam koordinat sigma). Model POM menggunakan teknik mode pemisah (*mode-splitting*) untuk mempercepat waktu simulasi. Metode ini menggunakan 2 langkah waktu yaitu mode eksternal ( $\Delta t_e$ ) untuk perhitungan dua dimensi (2D) dan mode internal ( $\Delta t_i$ ) untuk perhitungan tiga dimensi (3D). Simulasi ini menggunakan langkah waktu mode eksternal ( $\Delta t_e$ ) = 20 detik dan langkah waktu mode internal ( $\Delta t_i$ ) = 200 detik. Secara umum hasil simulasi belum menunjukkan pola yang baik karena belum bisa menunjukkan pola arus utama seperti arus ekuator utara, arus balik ekuator dan arus ekuator selatan seperti diperlihatkan pada Gambar 1 – 4. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelusuran subrutin program utama yang berkaitan dengan tekanan angin.



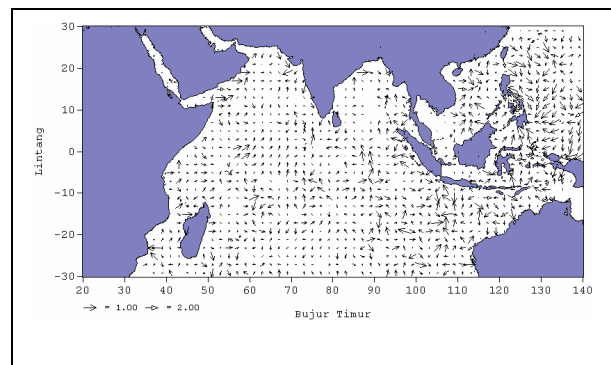
Gaambar 1. Arus permukaan hasil simulasi bulan Januari 2007



Gaambar 2. Arus permukaan hasil simulasi bulan Februari 2007



Gaambar 3. Arus permukaan hasil simulasi bulan Maret 2007

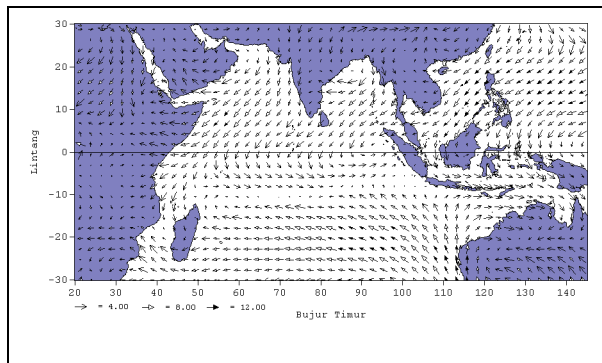


Gaambar 4. Arus permukaan hasil simulasi bulan April 2007

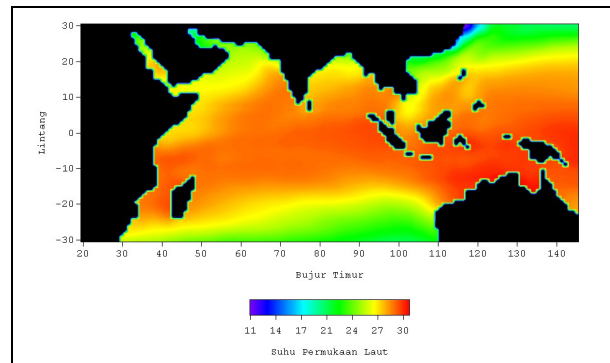
Pada saat musim barat yang merupakan perata-rataan bulan Desember, Januari dan Februari pola angin, suhu dan arus permukaan laut diperlihatkan pada Gambar 5 – 7.

Sirkulasi angin permukaan di belahan bumi bagian utara secara umum mempunyai pola yang sama yaitu bergerak ke barat laut dan di belahan bumi bagian selatan sirkulasi angin menunjukkan pola yang berbeda. Pada musim barat ini sebaran suhu permukaan di Samudera Hindia tropis antara 10° LU – 10° LS dan 40° BT – 100° BT relatif hangat dengan kisaran nilai rata-rata sekitar 28,62 °C. Di bagian timur Samudera Hindia tropis relatif lebih hangat daripada bagian barat. Sementara itu, di bagian selatan sebaran suhu permukaan laut lebih dingin. Arus ekuator utara dan arus ekuator selatan yang bergerak ke barat menguat. Sementara itu, luasan arus balik ekuator yang bergerak ke arah timur terletak terdapat dalam wilayah yang sempit.

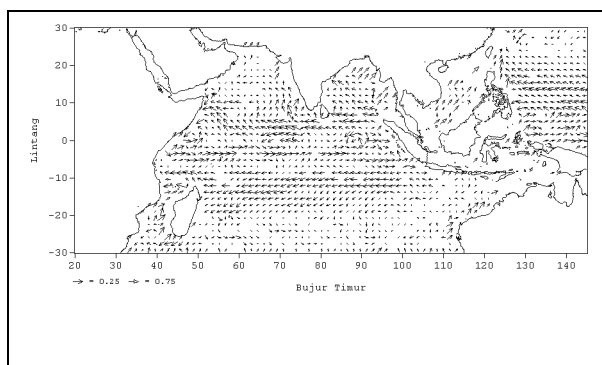
Pada saat musim peralihan pertama yang merupakan perata-rataan bulan Maret, April dan Mei pola angin, suhu dan arus permukaan laut diperlihatkan pada Gambar 8 – 10. Pola sirkulasi angin permukaan, suhu permukaan laut dan arus permukaan laut mengalami perubahan. Sirkulasi angin permukaan mengalami pelemahan. Secara umum pola sirkulasi angin permukaan di belahan bumi bagian utara menunjukkan pola yang tidak teratur dan makin melemah mendekati ekuator. Sedangkan di belahan bumi bagian selatan sirkulasi angin menunjukkan pola yang teratur bergerak ke arah barat dan ke barat laut. Pola sebaran suhu permukaan laut di Samudera Hindia tropis antara 10° LU – 10° LS dan 40° BT – 100° BT makin hangat dengan kisaran nilai rata-rata sekitar 29,63 °C. Dan di bagian timur Samudera Hindia tropis relatif lebih hangat daripada bagian barat. Sementara itu, di bagian selatan sebaran suhu permukaan laut lebih dingin makin melebar ke utara. Pada musim peralihan pertama terlihat bahwa arus ekuator utara melemah dan menyempit yang terletak di bagian tengah hingga barat Samudera Hindia tetapi intensitas arus balik ekuator semakin kuat dan melebar ke arah utara dan selatan. Sementara itu, arus ekuator selatan melemah.



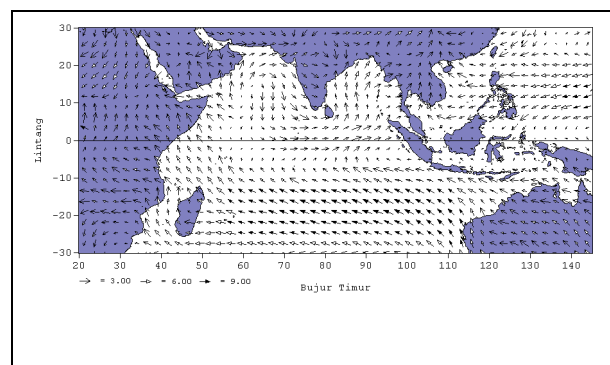
Gaambar 5. Angin permukaan musim barat



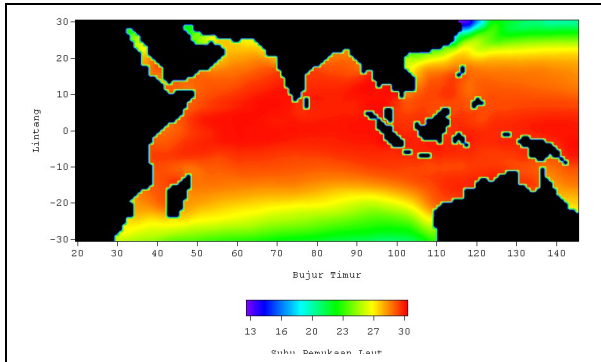
Gaambar 6. Suhu permukaan musim barat



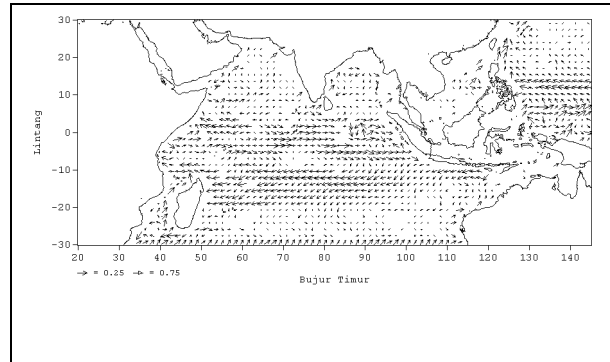
Gaambar 7. Arus permukaan musim barat



Gaambar 8. Angin permukaan musim peralihan ke-1



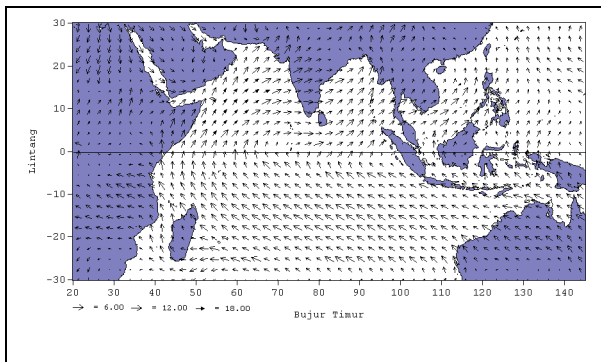
Gaambar 9. Suhu permukaan musim peralihan ke-1



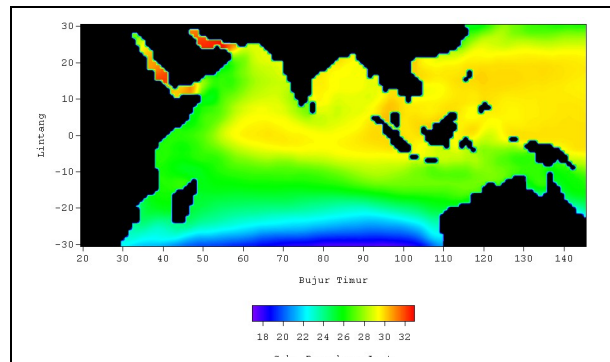
Gaambar 10. Arus permukaan musim peralihan ke-1

Pada musim timur yang merupakan perata-rataan bulan Juni, Juli dan Agustus pola angin, suhu dan arus permukaan laut diperlihatkan pada Gambar 11 – 13. Pola sirkulasi angin permukaan, suhu permukaan laut dan arus permukaan laut juga mengalami perubahan. Pada musim timur pola sirkulasi angin permukaan baik di belahan bumi bagian utara maupun belahan bumi bagian selatan menunjukkan pola yang teratur. Di belahan bumi bagian utara sirkulasi angin bergerak ke timur dan timur laut dan di belahan bumi bagian selatan bergerak ke barat dan barat laut. Pada musim timur sebaran suhu permukaan di Samudera Hindia secara umum lebih dingin daripada musim barat dan musim peralihan pertama. Di bagian timur Samudera Hindia tropis relatif lebih hangat daripada bagian barat. Sementara itu, di bagian selatan sebaran suhu permukaan laut makin lebih dingin. Pola arus permukaan pada musim timur arus ekuator utara tidak terbentuk tetapi sebaliknya arus balik ekuator mencapai puncaknya dan makin melebar ke utara. Sementara itu, arus ekuator selatan semakin melebar.

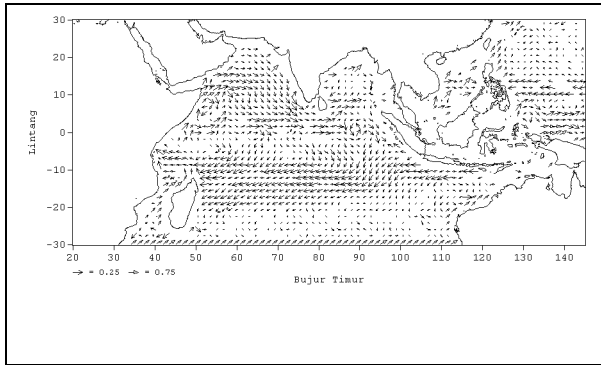
Pola sirkulasi angin permukaan, suhu permukaan laut dan arus permukaan laut di atas perairan Samudera Hindia pada musim peralihan kedua yang merupakan perata-rataan bulan September, Oktober dan Nopember juga mengalami perubahan diperlihatkan pada Gambar 14 – 16. Pada musim peralihan kedua kekuatan sirkulasi angin melemah lagi. Sirkulasi angin permukaan di belahan bumi bagian selatan menunjukkan pola yang sama bergerak ke arah barat dan mendekati ekuator bergerak ke arah barat. Sementara itu, sirkulasi di belahan bumi bagian utara menunjukkan pola yang tidak teratur dan di atas perairan Teluk Benggala terjadi putaran angin yang bergerak berlawanan arah dengan jarum jam. Sebaran suhu permukaan laut pada musim peralihan di belahan bumi bagian utara Samudera Hindia mulai menghangat. Sebaran suhu permukaan di Samudera Hindia tropis antara  $10^{\circ}$  LU –  $10^{\circ}$  LS dan  $40^{\circ}$  BT –  $100^{\circ}$  BT relatif hangat. Di bagian timur Samudera Hindia tropis relatif lebih hangat daripada bagian barat. Sementara itu, di bagian selatan sebaran suhu permukaan laut lebih dingin. Pada musim peralihan kedua terlihat bahwa arus ekuator utara masih belum terbentuk. Arus balik ekuator melemah dan menyempit. Intensitas arus ekuator selatan menguat dan melebar.



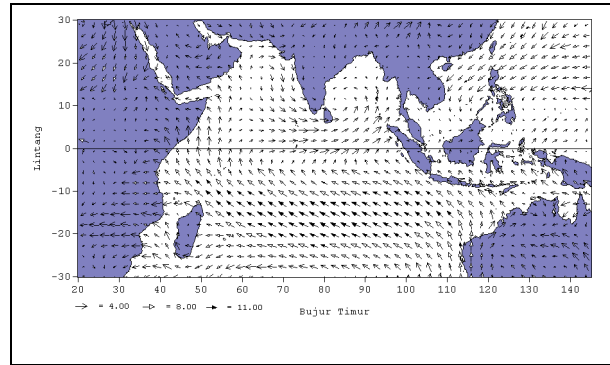
Gaambar 11. Angin permukaan musim timur



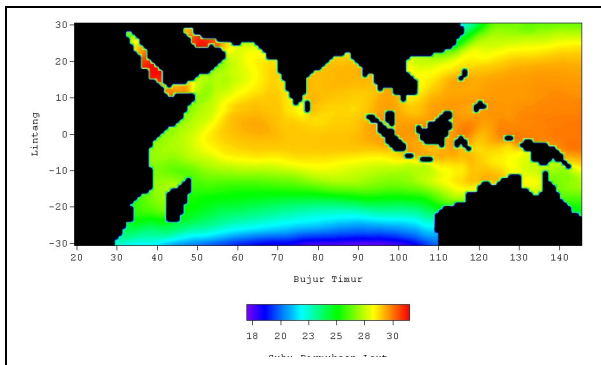
Gaambar 12. Suhu permukaan musim timur



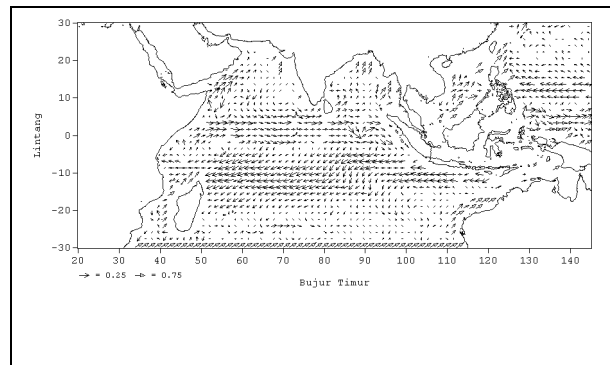
Gaambar 13. Arus permukaan musim timur



Gaambar 14. Angin permukaan musim peralihan ke-2



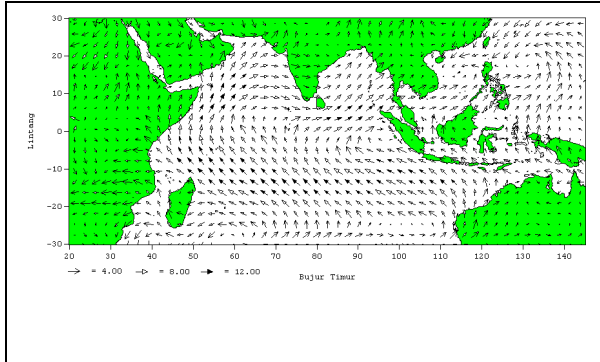
Gaambar 15. Suhu permukaan musim peralihan ke-2



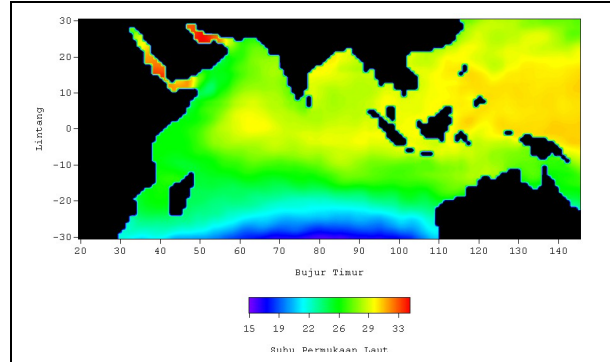
Gaambar 16. Arus permukaan musim peralihan ke-2

Pada saat terjadi Indian Ocean Dipole fase negatif pola angin, suhu dan arus permukaan diperlihatkan pada Gambar 17 – 19. Secara umum pola sirkulasi angin permukaan menunjukkan pola yang sama dengan kondisi normal namun mempunyai kekuatan yang berbeda. Pola sebaran suhu permukaan laut di atas secara rata-rata di bagian timur Samudera Hindia tropis lebih hangat dan di bagian barat lebih dingin daripada kondisi normal. Intensitas arus balik ekuator semakin menguat dan melebar dan sebaliknya arus ekuator selatan menyempit. Sementara itu pola sirkulasi angin permukaan, suhu permukaan laut dan arus permukaan laut pada saat terjadi Indian Ocean Dipole juga mengalami perubahan pola seperti diperlihatkan pada Gambar 20 - 22. Secara umum sirkulasinya angin permukaan menunjukkan pola yang sama dengan bulan dengan kondisi normal tetapi mempunyai kekuatan yang berbeda. Pada kondisi seperti ini suhu permukaan laut di bagian timur Samudera Hindia tropis lebih dingin dan di bagian barat lebih hangat daripada kondisi normal. Intensitas arus balik ekuator semakin melemah dan menyempit dan sebaliknya arus ekuator selatan makin menguat dan melebar.

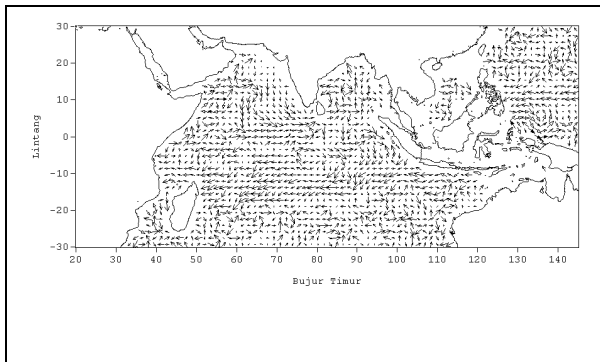
Berdasarkan data reanalisis diketahui bahwa variabilitas antar musim dan tahunan sirkulasi angin permukaan, suhu permukaan laut dan arus permukaan laut di wilayah perairan Samudera Hindia sangat dipengaruhi oleh sistem angin musim dan fenomena Indian Ocean Dipole. Perubahan pola angin, arus dan distribusi suhu permukaan laut terutama terjadi di belahan bumi bagian utara dan sebaliknya di belahan bumi bagian selatan mempunyai pola yang lebih teratur dan relatif kecil perubahannya. Hal ini dimungkinkan karena di bagian utara Samudera Hindia dibatasi oleh Benua Asia sehingga pengaruh daratan sangat kuat, sedangkan di bagian selatan merupakan laut terbuka.



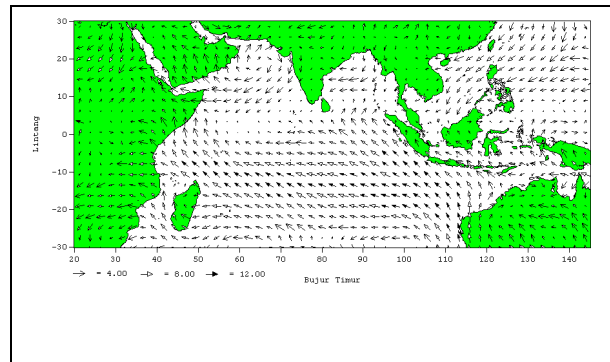
Gaambar 17. Angin permukaan September 1996



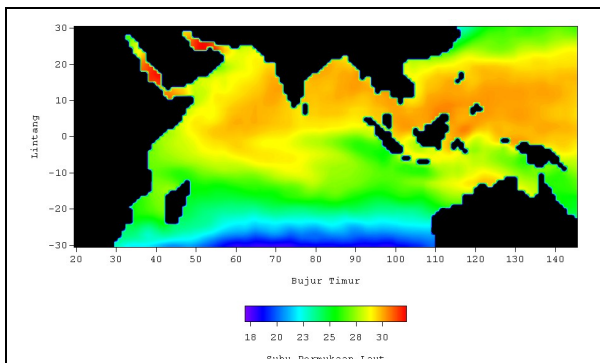
Gaambar 18. Suhu permukaan September 1996



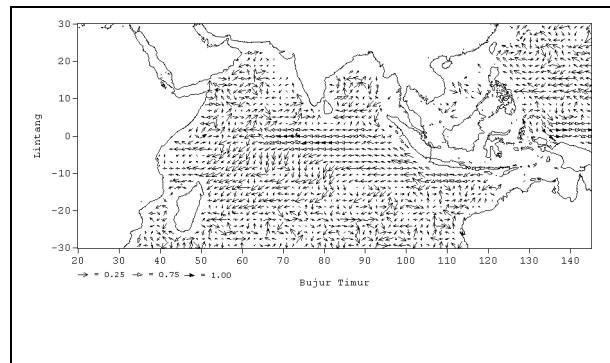
Gambar 19. Arus permukaan September 1996



Gambar 20. Angin permukaan Oktober 1997



Gambar 21. Suhu permukaan Oktober 1997



Gambar 22. Arus permukaan Oktober 1997

Berikut adalah makalah-makalah hasil penelitian.

#### A. MAKALAH PENELITIAN

1. Martono, Karakteristik dan Variabilitas Angin Permukaan di Atas Perairan Samudera Hindia. Akan dipublikasikan di Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara LAPAN
2. Martono, Karakteristik dan Variabilitas Suhu Permukaan Laut di Samudera Hindia. Akan dipublikasikan di Majalah Ilmiah Pembangunan dan Pengembangan Kelautan "NEPTUNUS", Universitas Hang Tuah Surabaya.
3. Martono, Karakteristik dan Variabilitas Arus Permukaan Laut di Atas Perairan Samudera Hindia. Akan dipublikasikan di Majalah Ilmiah Pembangunan dan Pengembangan Kelautan "NEPTUNUS", Universitas Hang Tuah Surabaya.

## B. MAKALAH REVIEW

1. Martono, Hubungan antara ENSO dengan Indian Ocean Dipole, Akan dipublikasikan di Berita Dirgantara LAPAN.

## C. LAYANAN INFORMASI

1. Kondisi Suhu dan Arus Permukaan Perairan Samudera Hindia;

D. Makalah tidak terkait langsung dengan penelitian ini, tetapi mendukung kegiatan Satklm secara keseluruhan;

1. Martono, Safwan Hadi dan Nining Sari Ningsih, Studi Eddy Mindanao dan Eddy Halmahera. Telah dipresentasikan di Seminar Nasional Hasil Riset Kelautan dan Perikanan, tanggal 8 Nopember 2008 di Universitas Brawijaya;
2. Martono, Simulasi Pengaruh Angin Terhadap Sirkulasi Permukaan Laut Berbasis Model (Studi Kasus : Laut Jawa). Telah diterbitkan di Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi;