

Pengaruh ENSO (*El Niño and Southern Oscillation*) terhadap transpor massa air laut di Selat Malaka

The influence of ENSO (El niño and southern oscillation) on water mass Transport in the Malacca Strait

Muhammad¹, Syamsul Rizal*¹, Junaidi M. Affan²

¹Jurusan Ilmu Kelautan, Koordinator Kelautan dan Perikanan Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111; ²Jurusan Budidaya Perairan, Koordinator Kelautan dan Perikanan universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111. *Email korespondensi: syamsul.rizal@unsyiah.net

Abstract. *This research examines the influence of ENSO (El Niño and Southern Oscillation) in the Malacca Strait with the southern oscillation index using the Pacific Ocean in determining the condition of Normal, El Niño and La Nina as the analysis of mass transpor of sea water, sea surface elevation and the density of the sea. The research methods using the Navier-Stokes equations with force generating tides, winds from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Year 1980-2007, salinity(Levitus and Boyer, 1994a) and temperature (Levitus and Boyer, 1994b). Equations of motion of the sea water were modeled with the model of Hamburg Shelf Ocean Model (HAMSOM). The results show that the transport in northwestern part of the Malacca Strait is lower, but in the southeastern part is stronger compared to that of in Normal and La Nina events. While in Sea Level Elevation at El Niño event is lower compared to that of in Normal and La Nina events. For sea surface density, the density values are 18.5 s/d 20.5 kg/m³ while for the later 30-50 m, the values are 19-21 kg/m³. Sea surface density and density for layer 30-50 m in th southeastern part of Malacca Strait for El Niño events are higher than that of in normal and La Nina event.*

Key words: *Sea level elevation, sea density and Hamsom model*

Abstrak. Penelitian ini mengkaji pengaruh ENSO (*El Niño and Southern Oscillation*) di Selat Malaka dengan memakai indek osilasi selatan Samudera Pasifik dalam menentukan kondisi Normal, El Niño dan La Nina sebagai analisis transpor massa air laut, elevasi muka laut dan densitas laut. Metode penelitian menggunakan persamaan Navier-Stokes dengan gaya pembangkit pasang surut, angin dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) Tahun 1980-2007, Salinitas (Levitus dan Boyer, 1994a) dan Temperatur (Levitus dan Boyer, 1994b). Persamaan gerak air laut tersebut dimodelkan dengan model *Hamburg Shelf Ocean Model* (HAMSOM). Hasil-hasil menunjukkan bahwa transpor di bagian barat laut Selat Malaka pergerakannya melemah dan transpor di bagian tenggara pergerakannya menguat dibandingkan pada kondisi tahun Normal dan La Nina. Sedangkan elevasi muka air di Selat Malaka pada kondisi tahun El Niño lebih rendah dibandingkan pada kondisi Normal dan La Nina. Selanjutnya densitas permukaan laut di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal, El Niño dan La Nina berkisar 18,5 s/d 20,5 kg/m³. Densitas laut lapisan 30-50 m di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal, El Niño dan La Nina berkisar 19 s/d 21 kg/m³. Densitas permukaan laut dan densitas laut kedalaman 30-50 m di bagian tenggara Selat Malaka pada kondisi El Niño lebih besar dibandingkan pada tahun Normal maupun tahun La Nina.

Kata kunci : *Elevasi muka laut, densitas laut dan model HAMSOM*

Pendahuluan

Gejala penyimpangan iklim, yang dikenal dengan El Niño, dirasakan di Indonesia lewat musim kemarau yang lebih panjang, dapat mengakibatkan kebakaran hutan, kabut asap, turunnya kualitas udara, rusaknya siklus hidrologi, berjangkitnya penyakit pernapasan, kegagalan panen dan berbagai dampak buruk lain (Susilo, 2009).

Meskipun kejadian El Niño, prosesnya di Pasifik, dampaknya bisa meluas ke berbagai belahan dunia. Berdasarkan Studi Kishore *et al.* (2000) tentang dampak El Niño 1997-98, dari 1877 sampai dengan 1997, 93% dari tahun-tahun kering selalu dihubungkan dengan El Niño. Beberapa studi menunjukkan hubungan yang jelas antara anomali curah hujan yang normal dengan *Southern Oscillation Index* (SOI). Pada tahun-tahun terjadi El Niño, datangnya monsoon lebih lambat, sehingga menyebabkan kelambatan masa tanam dan mereduksi hasil pertanian.

Dampak yang paling terasa di Indonesia dan sangat menarik perhatian internasional akibat kejadian El Niño 1997-98, adalah pada sektor kehutanan. Kebakaran hutan yang terjadi di Indonesia sangat serius dan mempunyai dampak ekonomi yang sangat signifikan. Asian Development Bank (ADB) dan BAPPENAS menduga kerugian ekonomi akibat kebakaran hutan dan musim kering yang melanda Indonesia lebih dari 9 miliar US\$ (Kishore *et al.*, 2000). Sehingga penelitian mengenai pengaruh ENSO terhadap transpor massa air laut penting untuk dikaji dengan tujuan melihat korelasi antara kondisi normal, El Niño dan La Nina yang terjadi di Pasifik dengan keadaan transpor massa air laut di Selat Malaka. Transpor massa air akan mempengaruhi pola distribusi ikan dengan demikian akan bermanfaat bagi nelayan untuk mengetahui tempat-tempat yang banyak terdapat ikan.

Bahan dan Metode

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini menggunakan persamaan gerak Navier-Stokes. Adapun persamaan dasarnya adalah persamaan gerak dinamika oseanografi dalam arah x dan y (Backhaus, 1985 ; Rizal dan Sündermann, 1994; Pohlmann, 1996; Rizal, 2000, Rizal 2002):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_V \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

Dalam arah z persamaan hidrostatika disederhanakan dalam bentuk:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad (3)$$

Persamaan keadaan air laut:

$$\rho = \rho(S, T, p) = \rho_0 + \rho' \quad (4)$$

Persamaan konservasi temperatur:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = K_H \nabla^2 T + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_V \frac{\partial T}{\partial z} \right) + S_T \quad (5)$$

Persamaan konservasi salinitas:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_H \nabla^2 S + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_V \frac{\partial S}{\partial z} \right) + S_S \quad (6)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\zeta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\zeta} v dz = 0, \quad (7)$$

di mana $u(x, y, z, t)$, $v(x, y, z, t)$ and $w(x, y, z, t)$ merupakan kecepatan arus dalam arah x, y dan z. $f = 2\omega \sin \phi$ adalah parameter Coriolis, ω adalah kecepatan sudut rotasi bumi dan ϕ merupakan lintang geografi; $\zeta(x, y, t)$ merupakan elevasi permukaan air yang diukur dari permukaan air tenang, $h(x, y)$ merupakan kedalaman air juga diukur dari permukaan air tenang, g adalah konstanta percepatan gravitasi, H_{x_k} dan H_{y_k} secara bersamaan merupakan ketebalan lapisan dalam arah u dan v pada lapisan ke-k, dan ∇_H adalah operator gradient horizontal. A_H adalah koefisien pertukaran turbulensi horizontal dan A_V adalah koefisien viskositas eddy vertikal. Pers (1), (2), (3) digunakan untuk pemodelan dinamika

oseanografi melalui proses diskritisasi menggunakan metode *finite different* skema semi-implisit. Tekanan hidrostatik p (dengan mengabaikan suku $g\rho_0 z$ dan p_a , dikarenakan tidak memiliki kontribusi terhadap gradient tekanan horizontal) pada arah z ditulis dalam bentuk :

$$p = g\rho_1\zeta + p'(\zeta) + g\int_z^0 \rho' dz \equiv g\rho_1\zeta + I \quad (8)$$

Karena berhubungan dengan syarat stabilitas pada langkah waktu yang harus dipenuhi oleh simulasi numerik, tekanan pada pers. (8) dipisahkan menjadi dua suku yaitu : komponen Barotropik ($g\rho_1\zeta$) dan komponen Baroklinik (I).

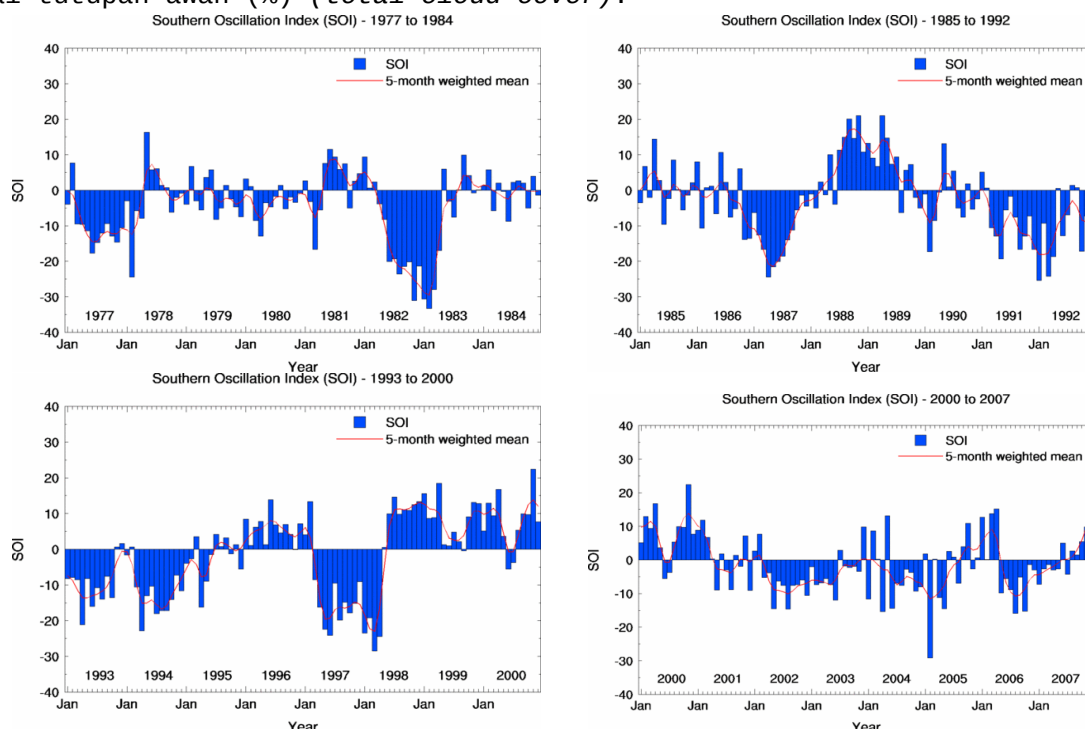
Tahapan penelitian ini terdiri atas pengumpulan data Indeks Osilasi Selatan dari situs: (1)<http://www.bom.gov.au/climate/current/soi-1977-1984.shtml>;

1. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi-1985-1992.shtml>;

2. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi-1993-2000.shtml>;

3. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soi-2000-2007.shtml> (Gambar 1), data sekunder 7 parameter meteorologi tahun 1980-2007 dari *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), data temperatur dan salinitas (Levitus dan Boyer, 1994a,b) serta data amplitudo dan phase komponen harmonik pasang surut. Data sekunder 7 parameter meteorologi NCEP yaitu:

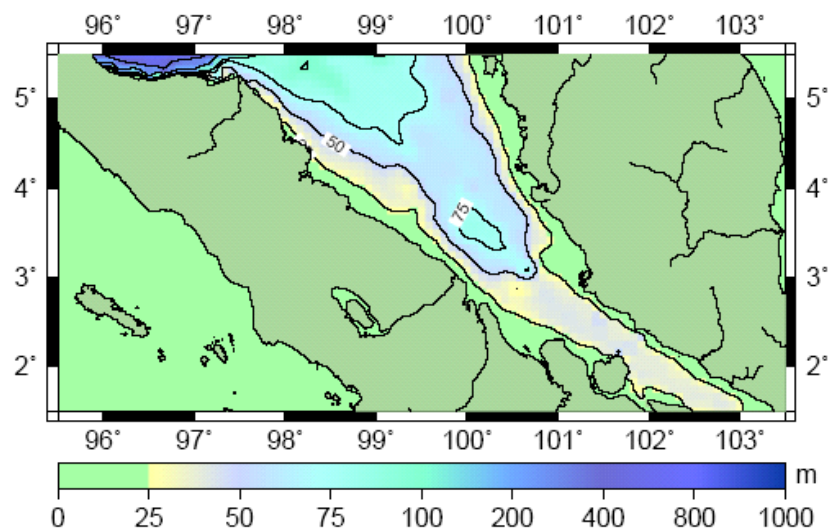
- Kecepatan angin arah U pada 10 meter (m/detik) (*U-wind at 10 m*).
- Kecepatan angin arah V pada 10 meter (m/detik) (*V-wind at 10 m*).
- Suhu udara pada 2 meter (K) (*air temperature at 2 meters*).
- Laju presipitasi ($\text{kg/m}^2/\text{detik}$) (*precipitation rate*).
- Kelembaban khusus pada 2 meter (kg/kg) (*specific humidity at 2 meters*).
- Tekanan level permukaan laut (Pa) (*sea level pressure*).
- Total tutupan awan (%) (*total cloud cover*).



Gambar 1. Indeks Osilasi Selatan tahun 1977-2007

Selanjutnya disimulasikan dengan domain $5^{\circ}30' \text{ LU} - 1^{\circ}30' \text{ LU}$ dan $95^{\circ}30' \text{ BT} - 103^{\circ}30' \text{ BT}$ (Gambar 2) dengan lebar grid horizontal $\partial x = 5'$, $\partial y = 5'$ dan grid vertikal kedalaman (z) yang didiskritisasi sebanyak 11 lapis, yaitu 0-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-75, 75-100, 100-125, 125-150, 150-200, 200-250, 250-300, 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800 dan 800-900 m. Langkah waktu $\Delta t = 600$ detik, koefisien eddy horizontal $A_H = 500 \text{ m}^2/\text{detik}$, koefisien eddy vertikal $A_V = 0,01 \text{ m}^2/\text{detik}$ dan faktor gesekan dasar laut $C_f = 0,0025$. Syarat batas elevasi pada bidang terbuka diasimilasi dari komponen harmonik dengan interpolasi $5'$.

Analisis pengaruh el Niño di Selat Malaka berupa perbandingan antara tahun normal, el Niño dan la nina dari output transpor massa air laut, elevasi muka laut dan densitas laut.



Gambar 2. Batimetri Selat Malaka (meter)

Hasil dan Pembahasan

Transpor massa air laut

Transpor massa air laut di Selat Malaka secara umum baik pada kondisi Tahun Normal, El Niño maupun La Nina bergerak ke arah Barat Laut dengan massa air yang dibawa sebesar 0,1 – 3 Sv. Namun terjadi transpor yang lebih kuat pada tahun El Nino (1982 dan 1997) dibandingkan kondisi normal maupun la nina, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Elevasi Muka Laut

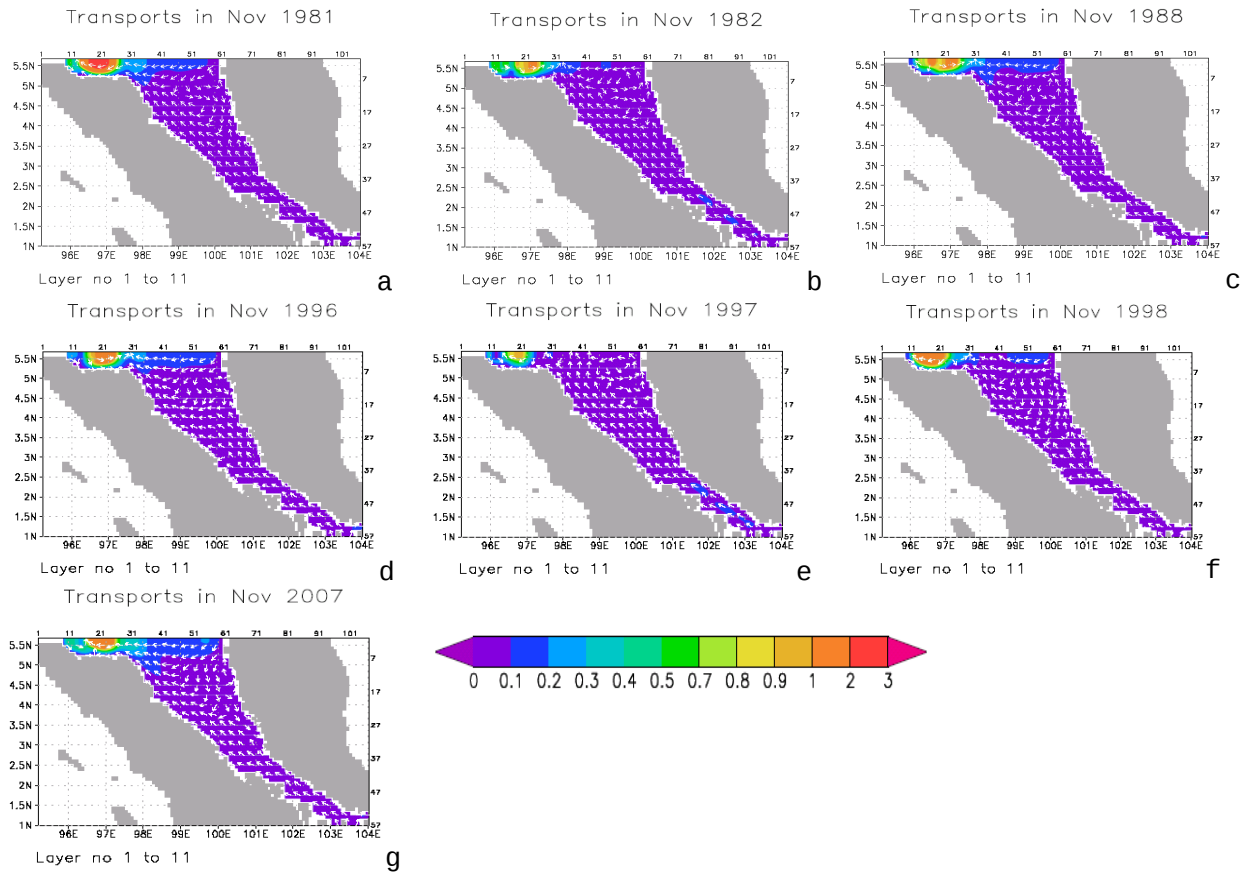
Secara umum elevasi muka laut di Selat Malaka baik pada tahun normal, el nino da la nina berkisar 0,4 sampai 1 m. Pada kondisi tahun Normal (Nov 1981 dan Nov 1996) dan La Nina (Nov 1988, Nov 1998 dan Nov 2007) elevasi muka air laut jauh lebih tinggi berkisar 0,8 m s/d 1 m, sedangkan pada kondisi El Niño (Nov 1982 dan Nov 1997) elevasi muka air laut jauh lebih rendah yaitu berkisar 0,4 m s/d 0,8 m (Gambar 4).

Densitas Air Laut

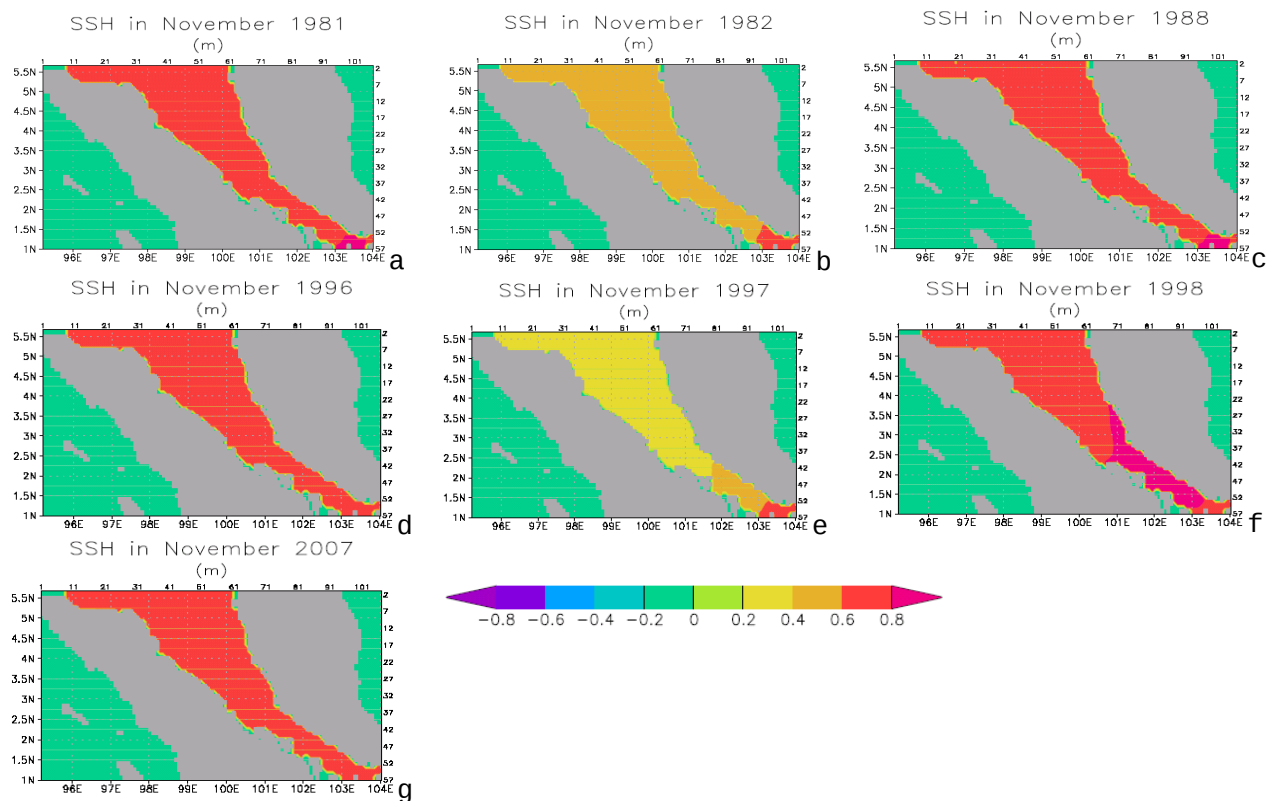
Densitas permukaan laut di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal (Nov 1981, Nov 1996), El Niño (Nov 1982, Nov 1997) dan La Nina (Nov 1988, Nov 1998, Nov 2007) berkisar 18,5 s/d 20,5 kg/m³ (Gambar 5). Sementara densitas pada lapisan kedalaman 30-50 m di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal (Nov 1981, Nov 1996), El Niño (Nov 1982, Nov 1997) dan La Nina (Nov 1988, Nov 1998, Nov 2007) berkisar 19 s/d 21 kg/m³ (Gambar 6). Tingginya densitas pada lapisan dibawah permukaan dikarenakan adanya paksaan atau tekanan dari massa air lapisan permukaan.

Keterkaitan ENSO dengan Transpor massa air laut dan parameter oseanografi

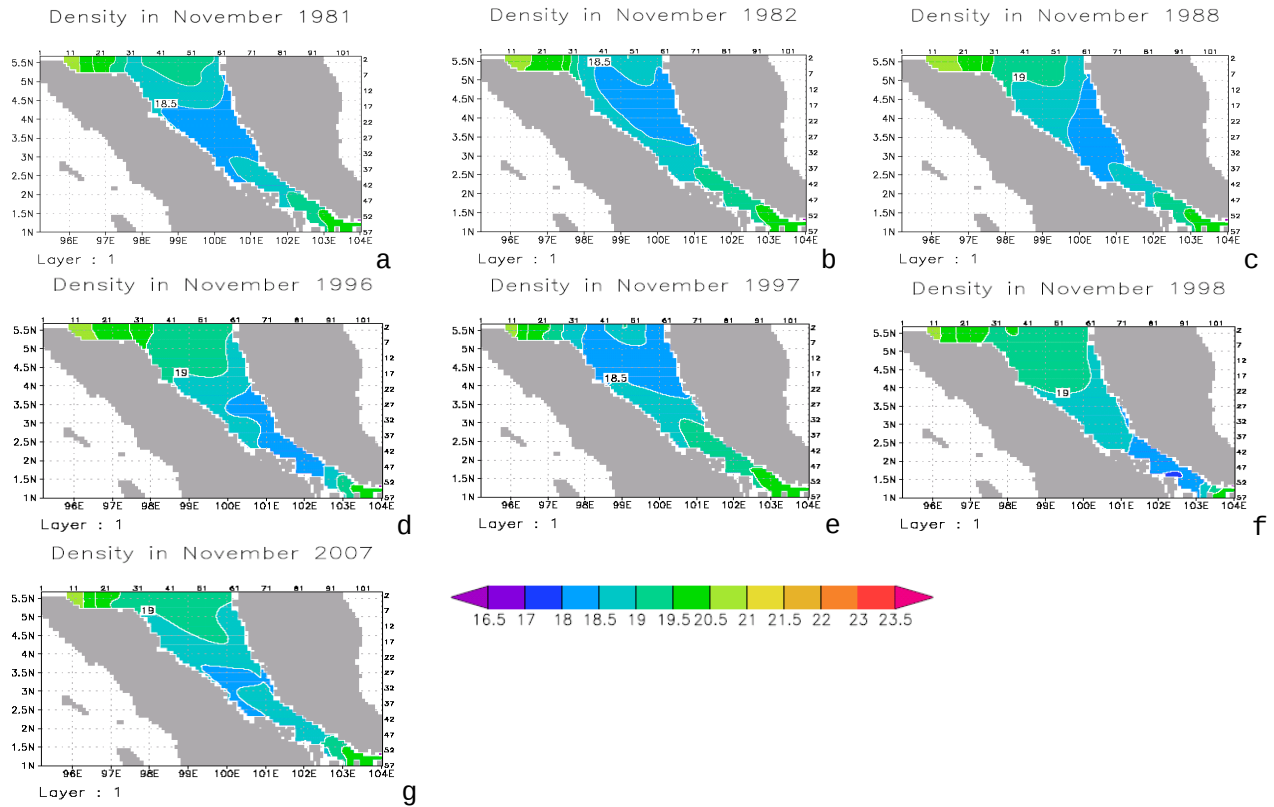
Kekuatan transpor massa air laut secara langsung sangat dipengaruhi oleh suhu, densitas dan elevasi muka air, sehingga secara tidak langsung ENSO yang terdiri atas kondisi normal, El Niño, dan La Nina mempengaruhi suhu, densitas dan elevasi muka air yang memberikan keterkaitan dengan kekuatan transpor yang bergerak. Kekuatan transpor tersebut dapat menguat ataupun melemah sesuai dengan kondisi ENSO. Dari hasil yang diperoleh dari gambar 3 di Selat Malaka menunjukkan bahwa pada kondisi El Niño menguat dibandingkan kondisi normal dan La Nina. Sedangkan kejadian sebenarnya di Samudera Pasifik bahwa pada kondisi El Niño melemah dibandingkan kondisi normal dan La Nina yang memberikan efek langsung di Indonesia bagian timur. Namun demikian ENSO juga memberikan efek ke Selat Malaka secara tak langsung melalui aliran telekoneksi dari atmosfer yang membawa efek sampai permukaan laut Selat Malaka.



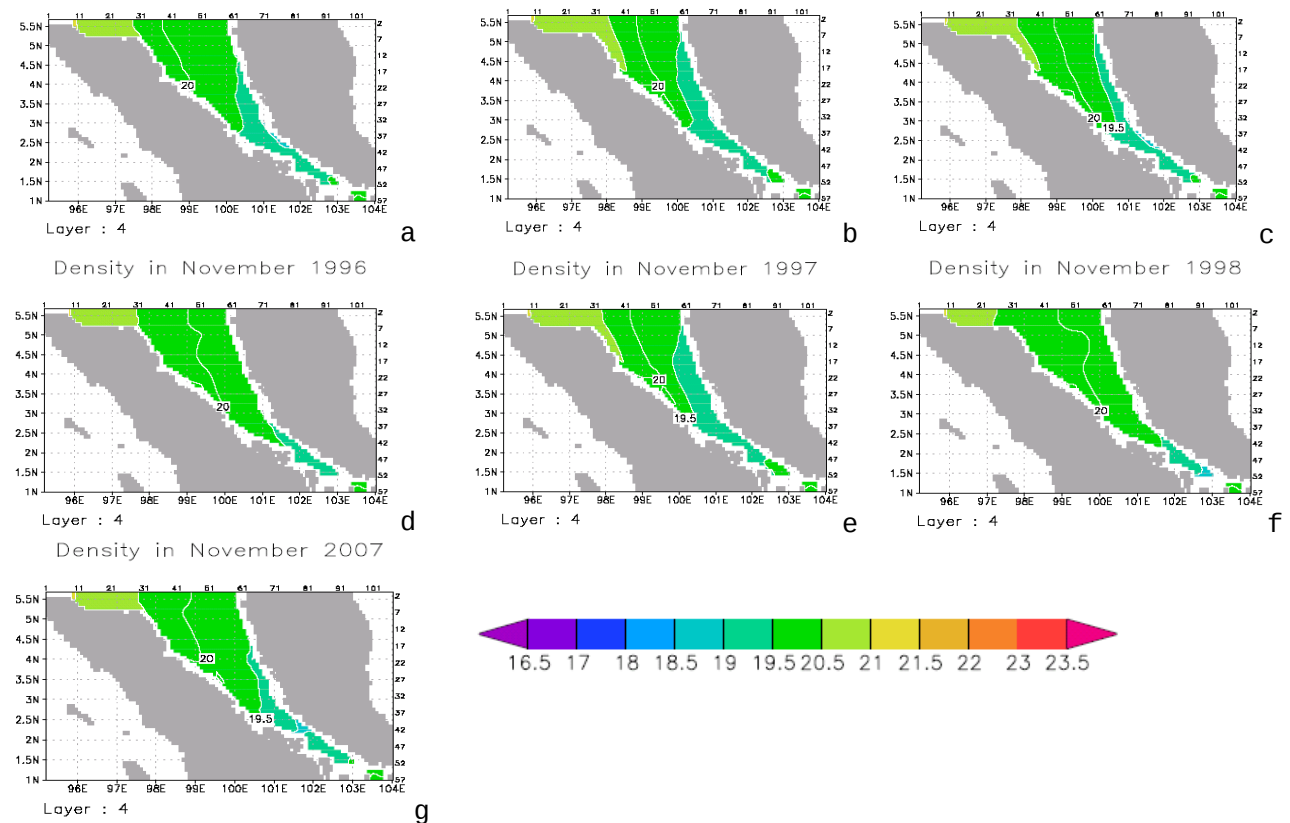
Gambar 3. Transpor Massa Air Laut di Selat Malaka a. Normal (Nov 1981), b. El Niño Kuat (Nov 1982), c. La Nina Kuat (Nov, 1988), d. Normal (Nov 1996), e. El Niño Kuat (Nov 1997), f. La Nina Kuat (Nov, 1998), g. La Nina Sedang (Nov, 2007).



Gambar 4. Elevasi muka air di Selat Malaka a. Normal (Nov 1981), b. El Niño Kuat (Nov 1982), c. La Nina Kuat (Nov, 1988), d. Normal (Nov 1996), e. El Niño Kuat (Nov 1997), f. La Nina Kuat (Nov, 1998), g. La Nina Sedang (Nov, 2007).



Gambar 5. Densitas Permukaan Laut di Selat Malaka a. Normal (Nov 1981), b. El Niño Kuat (Nov 1982), c. La Nina Kuat (Nov, 1988), d. Normal (Nov 1996), e. El Niño Kuat (Nov 1997), f. La Nina Kuat (Nov, 1998), g. La Nina Sedang (Nov, 2007).



Gambar 6. Densitas Laut Lapisan 30-50 m di Selat Malaka a. Normal (Nov 1981), b. El Niño Kuat (Nov 1982), c. La Nina Kuat (Nov, 1988), d. Normal (Nov 1996), e. El Niño Kuat (Nov 1997), f. La Nina Kuat (Nov, 1998), g. La Nina Sedang (Nov, 2007).

Kesimpulan

Transpor massa air laut pada kondisi El Niño menunjukkan bahwa transpor di bagian barat laut Selat Malaka pergerakannya melemah dan transpor di bagian tenggara pergerakannya menguat dibandingkan pada kondisi tahun Normal dan La Nina. Elevasi muka air di Selat Malaka pada kondisi tahun El Niño lebih rendah dibandingkan pada kondisi Normal dan La Nina. Densitas permukaan laut di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal (Nov 1981, Nov 1996), El Niño (Nov 1982, Nov 1997) dan La Nina (Nov 1988, Nov 1998, Nov 2007) berkisar 18,5 s/d 20,5 kg/m³.

Densitas laut lapisan 30-50 m di Selat Malaka pada kondisi tahun Normal (Nov 1981, Nov 1996), El Niño (Nov 1982, Nov 1997) dan La Nina (Nov 1988, Nov 1998, Nov 2007) berkisar 19 s/d 21 kg/m³. Densitas permukaan laut dan densitas laut kedalaman 30-50 m di bagian tenggara Selat Malaka pada kondisi El Niño lebih besar dibandingkan pada tahun normal.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dirjen Dikti, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Penelitian Unggulan Strategis Nasional tahun 2009 dengan nomor kontrak: 096/H11-P2T/A.01/2009 Tanggal 27 Februari 2009. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Syiah Kuala yang telah memberikan kepercayaan atas kelancaran penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Backhaus, J. O. 1985. A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift - German. Journal of Hydrography*, 38: 165-187.
- Kishore, K., A. Setiana, A.R. Subbiah, T. Sribimawati, S. Diharto, S. Alimoeso, P. Rogers. 2000. Indonesia Country Case Study: Impacts and Responses to the 1997-98 El Niño Event, supported by the US Office of Foreign Disaster Assistance and Office of Global Programs, National Oceanic and Atmospheric Administration as a contribution to the UNEP/NCAR/WMO/UNU/ISDR study for the UN Foundation.
- Levitus, S., T. Boyer. 1994a. World Ocean Atlas 1994, Vol 3: Salinity. NOAA Atlas NESDIS 3, U. S. Government Printing Office, Washington D.C. 93 pp.
- Levitus, S., T. Boyer. 1994b. World Ocean Atlas 1994, Vol 4: Temperature. NOAA Atlas NESDIS 4, U. S. Government Printing Office. Washinton D.C. 117 pp.
- Pohlmann, T. 1996. Calculating the annual cycle of the vertical eddy viscosity in the North Sea with a three-dimensional baroclinic shelf sea circulation model. *Cont. Shelf Res.* Vol., 16(2): 147 - 161.
- Rizal, S., J. Sündermann. 1994. On the M₂ tide of the Malacca Strait: a numerical investigation, *Deutsche Hydrographische Zeitschrift - German. Journal of Hydrography*, 46(1): 61 - 80.
- Rizal, S. 2000. The role of nonlinear terms in the shallow water equations with the application in the three-dimensional tidal model of Malacca Strait and Taylor's problem in low geographical latitude. *Continental Shelf Research*, 20(15): 1965 - 1991.
- Rizal, S. 2002. Taylor's problem - influences on the spatial distribution of real and virtual amphidromes. *Continental Shelf Research*, 22(15): 2147-2158.
- Susilo, I. 2009. Cuaca: Dari El Niño 1997 ke El Niño 2009, *Harian Nasional Kompas*, tanggal 10 Oktober 2009.