

# Suhu dan Salinitas Permukaan Merupakan Indikator Upwelling Sebagai Respon Terhadap Angin Muson Tenggara di Perairan Bagian Utara Laut Sawu

Simon Tubalawony<sup>1</sup>, Edl Kusmanto<sup>2\*</sup>, Muhadjirin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura. Jl. Mr. Chr. Soplanit, Poka-Ambon, E-mail: simon\_tubalawony@yahoo.com

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara, Telp. (021)64713850/Fax 64711948 /E-mail: edikusmanto@gmail.com

## Abstrak

Laut Sawu merupakan bagian perairan Indonesia yang secara langsung berbatasan dengan Samudera Hindia. Di bagian utara, terutama perairan selatan Selat Flores, Selat Lamakera dan Selat Alor merupakan perairan dinamik dengan perubahan suhu dan salinitas permukaan yang signifikan pada musim angin muson tenggara. Dinamika perairan tersebut terutama di lapisan permukaan sangat dipengaruhi pola tiupan angin muson. Pada bulan Juni-Juli angin muson tenggara bertiup dengan kekuatan maksimum di sebagian wilayah Indonesia termasuk di bagian utara Laut Sawu. Tiupan angin tersebut menyebabkan pergerakan massa air permukaan cenderung bergerak ke arah barat. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya pengangkatan massa air lapisan dalam ke permukaan di bagian utara Laut Sawu. Suhu permukaan laut di laut Flores berkisar antara 27,45-27,79 °C dengan rerata 27,62±0,14 °C, sedangkan pada stasiun pengamatan di bagian selatan dan berhubungan langsung dengan Laut Sawu, suhu perairan berkisar 25,25-26,75 °C dengan rerata 25,90±0,43°C. Secara umum sebaran suhu pada lapisan permukaan laut pada kedalaman 0-5 m menunjukkan semakin ke selatan massa air permukaan laut semakin dingin. Pusat konsentrasi massa air dengan suhu terendah di selatan Selat Alor berkisar antara 25,25-25,89°C. Dinginnya massa air perairan bagian utara Laut Sawu mengindikasikan kemungkinan terjadi pengangkatan massa air dalam ke permukaan pada perairan tersebut.

**Kata kunci:** Laut Sawu, upwelling, salinitas, suhu permukaan laut, termoklin

## Abstract

### Surface Temperature and Salinity are Indicators of Upwelling In Response to the Southeast Monsoon in the Waters of Northern Savu Sea

Savu Sea waters are part of Indonesia waters which is located directly adjacent to Indian Ocean. The northern part of Savu Sea particularly in the south of Flores Strait, Lamakera Strait and the Strait of Alor waters are dynamic with changes in temperature and salinity of the surface which is significant at southeast monsoon season. The dynamics of these waters, especially in the surface layer is strongly influenced by the monsoon wind patterns. In June-July, the monsoon winds blowing from southeast with maximum strength in parts of Indonesia, including in the waters of the northern Sea Savu. The wind causes the movement of surface water masses tend to move westward. These circumstances would to bring deeper and colder waters to the surface layer in the northern part of Savu Sea. Sea surface temperature in the Flores Sea ranged from 27.45 to 27.79 °C with a mean 27.62 ± 0.14 °C, whereas the observation stations located in the south and deal directly with the Savu Sea, water temperatures in the range 25.25 to 26.75 °C with a mean 25.90 ± 0.43 °C. In general, the temperature distribution on the surface layer of the ocean at a depth of 0-5 m to the south indicates that the mass of sea water gets colder. Central mass concentration of water with the lowest temperature in the southern Strait of Alor range from 25.25 to 25.89°C. The cold waters of the northern part of the Savu Sea water mass indicates the possibility upwelling of water mass in the Savu waters.

**Key words:** Savu sea, upwelling, salinity, sea surface temperature, thermocline

## Pendahuluan

Perairan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu merupakan bagian dari perairan Indonesia yang letaknya secara langsung berbatasan

dengan Samudera Hindia. Dinamika perairan tersebut terutama pada lapisan permukaan sangat dipengaruhi oleh pola tiupan angin muson disamping pengaruh

pasang surut. Perubahan arah dan kekuatan angin yang bertiup di atas perairan tersebut dapat menyebabkan terjadinya perubahan dinamika perairan. Angin muson yang bertiup di bagian selatan katulistiwa wilayah Indonesia termasuk perairan Laut Flores, Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu dicirikan oleh pembalikan arah angin permukaan secara musiman. Angin muson barat laut terjadi bulan Desember hingga Februari (musim barat) dan angin muson tenggara selama bulan Juni hingga Agustus (musim timur) (Wyrcki, 1961; Tchernia, 1980; Robert, 1985 dalam Tomascik *et. al.*, 1997).

Pada bulan Juni-Juli angin muson tenggara bertiup dengan kekuatan maksimum di sebagian wilayah Indonesia termasuk di perairan Lamalera. Berdasarkan data dari [www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int), angin muson tenggara bertiup secara terus menerus sepanjang bulan Juni, Juli dan Agustus 2011 dari arah tenggara dengan kecepatan rata-rata bulanan masing-masing 4,5; 4,1 dan 3,66 m/detik. Tiupan angin tersebut menyebabkan pergerakan massa air permukaan cenderung bergerak ke arah barat. Keadaan tersebut akan mempengaruhi karakteristik massa air karena pergerakan massa air dapat menyebabkan terjadinya pengangkatan massa air lapisan dalam pada wilayah tertentu dan pada akhirnya berdampak terhadap kesuburan suatu perairan. Menurut Clark *et al.* (1999), kuatnya angin muson mengakibatkan meningkatnya transpor Ekman, pencampuran vertikal, dan tingginya bahang yang hilang akibat evaporasi sepanjang musim panas, sehingga mengakibatkan terjadinya pendinginan suhu permukaan perairan, dan sebaliknya bila angin menjadi lemah dimana pencampuran vertikal massa air akan lemah dan bahang yang hilang melalui evaporasi menjadi berkurang. Keadaan ini berdampak terhadap tingginya suhu permukaan perairan. Selama Muson Tenggara (Juni-Oktober), massa air permukaan di sepanjang pantai selatan Jawa menjadi lebih dingin sebagai respon terhadap Ekman upwelling (Susanto *et al.*, 2001; Hendiarti *et al.*, 2005).

Angin muson Asia memiliki pengaruh sangat dominan terhadap variasi suhu permukaan di perairan Laut Sawu. Pada bulan Agustus ketika bertiup angin muson tenggara, suhu permukaan laut pada area sepanjang lintang 5 LS mencapai nilai minimum akibat terjadinya upwelling di perairan selatan Jawa dan paparan Arafura (Qu *et al.*, 2005). Wyrcki (1961) mengatakan bahwa pada saat bertiup angin muson tenggara, massa air dingin pada permukaan Laut Banda dan Laut Flores mengalir masuk ke perairan timur Laut Jawa selanjutnya mengalir ke Laut Cina Selatan melalui Selat Karimata.

Perairan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu juga merupakan bagian dari lintasan sirkulasi Arus Lintas Indonesia (Arlindo).

Menurut Gordon (2005) Arlindo yang mengalir melalui Selat Makassar selanjutnya mengalami percabangan dimana sebagian masuk ke Samudera Hindia melalui Selat Lombok dan sebagian lagi dibelokkan ke arah timur menuju Laut Flores dan Laut Banda sebelum masuk ke Samudera Hindia melalui Laut Timor dan Selat Ombai. Namun demikian sirkulasi tersebut semakin unik dan kompleks karena ketiga perairan selat tersebut memiliki keragaman topografi cukup tinggi dan memungkinkan terjadinya pencampuran dan pembelokkan arah pergerakan massa air. Selain itu karena berbatasan dengan Samudera Hindia maka karakteristik massa air di bagian selatan juga dipengaruhi massa air Samudera Hindia.

Secara musiman, Arlindo berdampak terhadap sebaran suhu permukaan laut perairan Indonesia terutama jika terjadi gradien tekanan yang cukup besar antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia (Wyrcki, 1987; Meyers *et al.*, 1995). Selanjutnya Qu *et al.*, (2005) mengatakan bahwa kedalaman termoklin dan suhu permukaan laut juga dipengaruhi angin yang bertiup di Samudera Pasifik dan Samudera Hindia.

Kajian tentang fenomena massa air di perairan Laut Sawu bagian utara, terutama di selatan Selat Flores, Selat Lamakera dan Selat Alor telah dilakukan pada kegiatan Joint Research LIPI-DIKTI pada bulan Juli 2011 menggunakan kapal riset Baruna Jaya VIII. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik massa air dan fenomena upwelling sebagai respon terhadap angin muson tenggara di perairan Laut Sawu bagian utara.

## Materi dan Metode

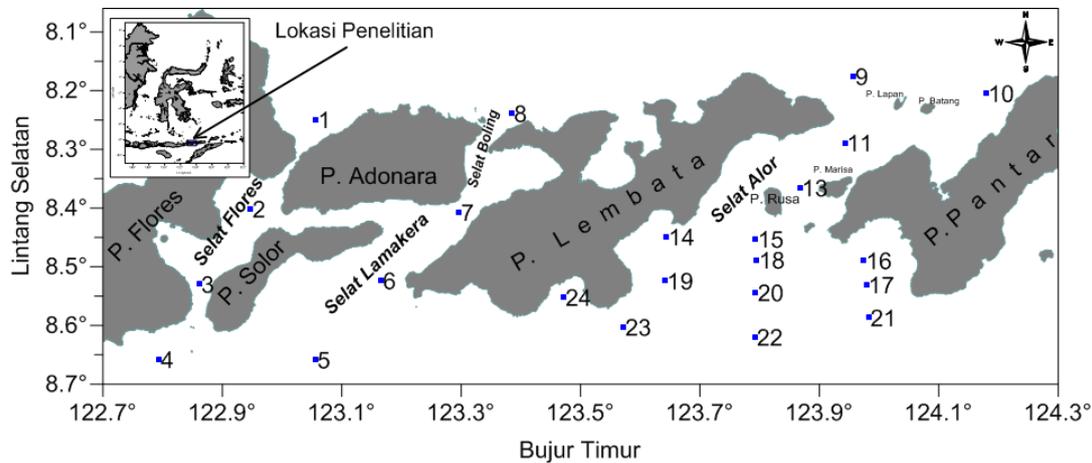
Penelitian dilaksanakan di perairan sekitar Laut Flores hingga Laut Sawu Nusa Tenggara Timur yang terdiri atas 24 stasiun pengamatan yang berlangsung dari tanggal 20-30 Juli 2011. Ke-24 stasiun pengamatan terdiri dari 4 stasiun di Selat Flores, 4 stasiun berlokasi di Selat Lamalera dan 16 stasiun di Selat Alor hingga Laut Sawu (Gambar 1).

### Data suhu, salinitas dan sigma-t

Penelitian ini menggunakan KR. Baruna Jaya VIII. Data suhu, salinitas dan sigma-t (densitas - 1000) pada setiap stasiun pengamatan untuk setiap kedalaman diukur secara kontinyu dengan menggunakan *Conductivity Temperature Depth* (CTD) tipe SBE 911+ dari Seabird Electronic Inc.

### Analisa data

Data suhu, salinitas dan densitas selanjutnya ditampilkan dalam bentuk profil sebaran vertikal dan horisontal pada permukaan kedalaman 0, 25, 50, dan 75 dengan menggunakan bantuan perangkat lunak



Gambar 1. Lokasi penelitian (●) posisi 24 stasiun pengamatan.

Excell 2007 dan Surfer 10. Berdasarkan profil sebaran suhu, salinitas, dan densitas tersebut selanjutnya dilakukan pengkajian karakteristik dan stratifikasi massa air perairan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan perairan Laut Sawu bagian utara. Dari informasi karakteristik dan stratifikasi massa air selanjutnya dilakukan pengkajian untuk mengidentifikasi massa air dan fenomena upwelling yang kemungkinan terjadi di perairan tersebut.

Pola pergerakan massa air dari Laut Flores ke Laut Sawu yang melalui Selat Flores (Stasiun 1-4), Selat Lamakera (Stasiun 5-8) dan Selat Alor (Stasiun 11, 13, 14, 15, 19 dan 23) maupun pergerakan massa air di perairan bagian utara Laut Sawu (Stasiun 4-6, 16, 17, 19-24) diamati dengan mengkaji karakteristik suatu massa air yang meliputi suhu, salinitas, densitas serta lapisan massa air dengan salinitas maksimum pada berbagai kedalaman di setiap stasiun pengamatan. Untuk membandingkan pola pergerakan massa air pada ketiga selat perairan tersebut dilakukan dengan menganalisis perubahan karakteristik massa air Laut Flores dan sebaran lapisan termoklin. Analisis pergerakan massa air laut dalam di perairan bagian selatan Selat Flores (Stasiun 4), Selat Lamakera (Stasiun 5), Selat Alor (Stasiun 15, dan 16) dan Laut Sawu (Stasiun 17-20, 24) sebagai indikasi terjadinya upwelling dilakukan dengan mengkaji sebaran kedalaman termoklin dan salinitas maksimum pada lapisan gumar.

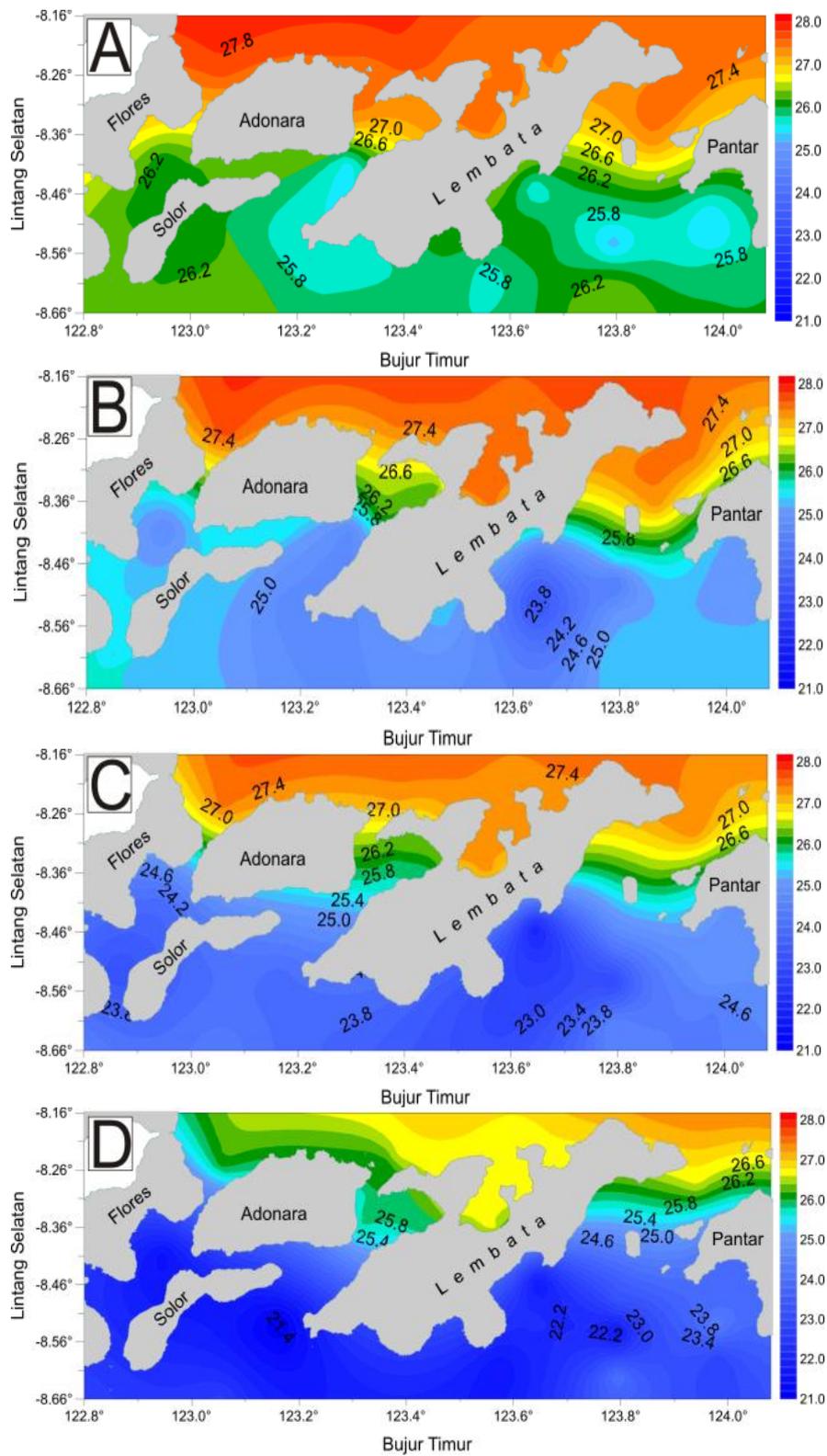
## Hasil dan Pembahasan

### Sebaran Suhu

Suhu permukaan laut (0-5 m) pada lokasi penelitian selama pengamatan berkisar antara 25,25-27,79°C dengan rerata 26,28±0,77°C. Secara spasial, suhu permukaan laut pada bagian utara

perairan Selat Flores, Lamakera dan Alor (Stasiun 1, 8, 9 dan 10) cenderung lebih tinggi bila dibandingkan dengan bagian selatan perairan. Suhu permukaan laut pada Stasiun 1, 8, 9 dan 10 berkisar antara 27,45-27,79°C dengan rerata 27,62±0,14°C, sedangkan pada stasiun-stasiun pengamatan yang terletak di bagian selatan dan berhubungan langsung dengan Laut Sawu (Stasiun 4-5, 14-24), suhu perairan berada pada kisaran 25,25-26,75°C dengan rerata 25,90±0,43°C. Secara umum sebaran suhu pada lapisan permukaan laut (kedalaman 0-5 m) menunjukkan semakin ke selatan massa air permukaan semakin dingin. Pusat konsentrasi massa air dengan suhu terendah terlihat pada Stasiun 18 dan 20 berkisar antara 25,25-25,89°C (Gambar 2). Dinginnya massa air di bagian selatan perairan mengindikasikan kemungkinan terjadi pengangkatan massa air dalam pada perairan tersebut. Secara musiman, suhu permukaan laut perairan Indonesia selama muson tenggara (Juli-September) ditentukan oleh Ekman upwelling di sepanjang perairan selatan kepulauan Nusa Tenggara hingga Laut Banda. Upwelling tersebut menyebabkan suhu permukaan laut menjadi rendah (Gordon, 2005). Berkurangnya bahang pada permukaan laut dan terjadinya upwelling akibat Ekman pumping menyebabkan suhu permukaan laut dan suhu pada lapisan subsurface mencapai nilai mimum bulan Juli-Agustus di perairan Laut Sawu (Potemra et al, 2003).

Suhu permukaan perairan yang berada pada kisaran 27,45-27,79 °C di Stasiun 1, 8, 9 dan 10 mencirikan massa air permukaan dari Laut Banda yang bergerak ke arah barat akibat bertiupnya angin Muson Tenggara. Saat bertiupnya angin Muson Tenggara, massa air permukaan perairan Indonesia umumnya bergerak ke arah barat dimana pusat alirannya terlihat bergerak dari Laut Banda ke Laut Flores terus ke Laut Jawa (Wyrтки, 1961). Menurut



**Gambar 2.** Sebaran mendatar suhu perairan ( $^{\circ}\text{C}$ ) pada permukaan laut A) kedalaman 0, B) kedalaman 25 m, C) kedalaman 50 m, dan D) kedalaman 75 m.

Illahude dan Gordon (1996), selama Muson Tenggara suhu permukaan Laut Flores menurun hingga berada di bawah 28 °C dan semakin menurun lagi ke Laut Banda yakni berada pada kisaran 26,1-27,4°C. Selama periode muson tenggara, gesekan angin ke arah barat lebih kuat dan suhu permukaan di Laut Banda lebih dingin dibandingkan dengan Laut Jawa dan Flores (Sprintal dan Liu, 2005). Suhu permukaan laut terendah di Laut Banda terjadi pada bulan Juli dan Agustus. Gordon dan Susanto (2001), rendahnya suhu permukaan Laut Banda selama muson tenggara disebabkan terjadinya Ekman pumping.

Berbeda dengan sebaran suhu pada bagian utara dan selat perairan, sebaran suhu pada Stasiun 2 dan 7 yang terletak pada pertengahan Selat Flores dan Selat Lamakera memperlihatkan suhu yang lebih rendah bila dengan stasiun-stasiun lain di sekitarnya. Rendahnya suhu kemungkinan disebabkan karena terjadinya pencampuran massa air baik secara horisontal maupun vertikal sebagai akibat dari kuatnya arus, sempit dan dangkalnya perairan. Selain itu, karakteristik massa air hangat dari Laut Banda turut berpengaruh terhadap karakteristik massa pada lapisan permukaan (0-5 m) di Selat Alor, khususnya pada Stasiun 11 dan 12. Pada Stasiun 11 dan 13 suhu permukaan perairan berkisar antara 27,32-27,42 °C. Menurut Qu *et al.* (2005), suhu permukaan laut bervariasi secara spasial maupun temporal dan faktor yang mempengaruhi sangat kompleks, namun pada perairan Kepulauan Indonesia, faktor-faktor yang dominan berpengaruh adalah angin muson lokal dan pencampuran massa air akibat pasang surut.

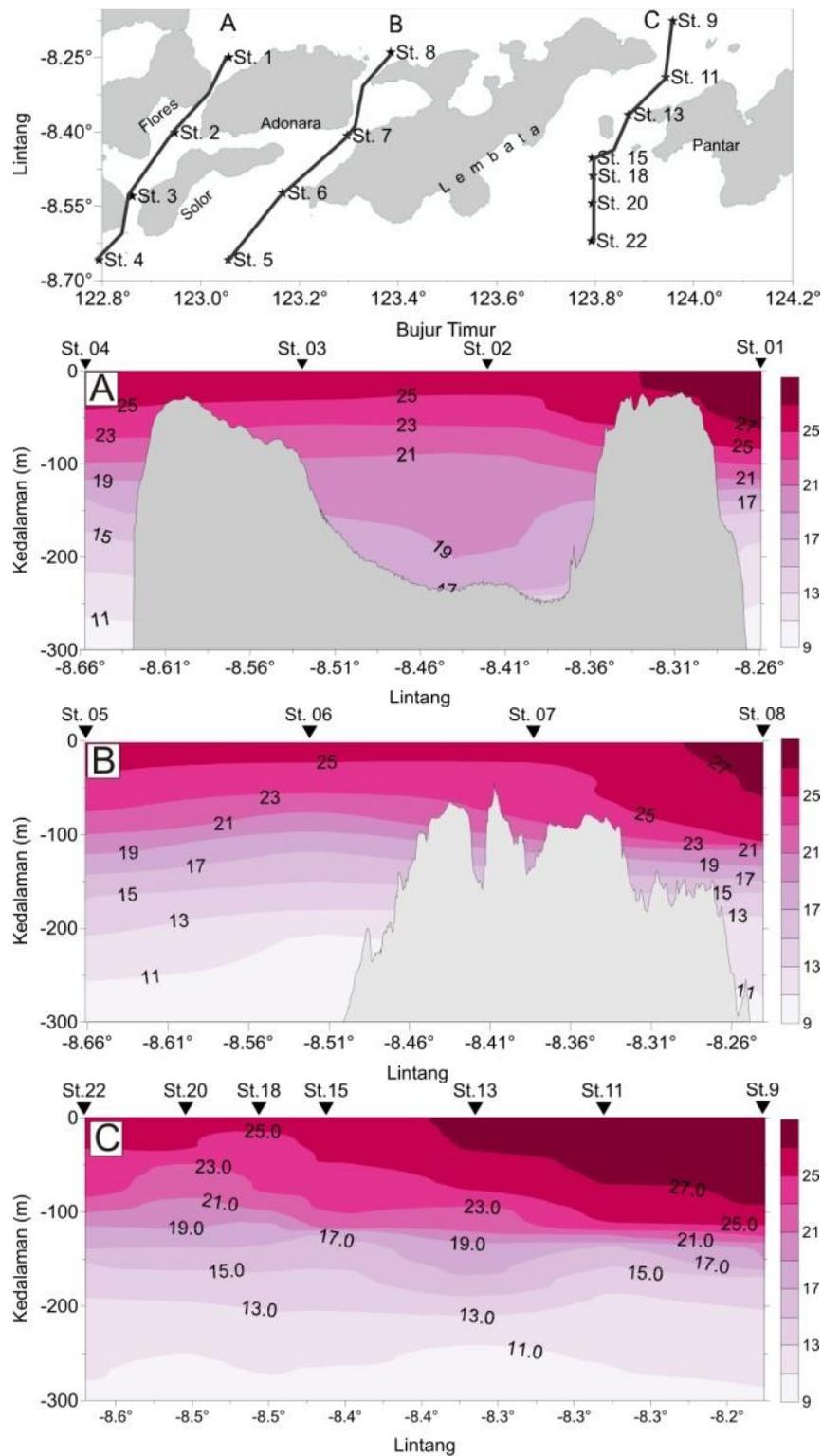
Seperti halnya dengan lapisan permukaan perairan (0-5 m), pola sebaran suhu perairan pada permukaan kedalaman 25 dan 50m, juga memperlihatkan hangatnya massa air pada bagian utara perairan dan semakin rendah pada bagian selatan perairan terutama pada stasiun-stasiun dekat pantai. Pada bagian utara perairan (Stasiun 1, 8-10) dan bagian utara Selat Alor (Stasiun 11 dan 13) suhu pada permukaan kedalaman 25 m berkisar antara 27,30-27,73°C sedangkan pada permukaan kedalaman 50 m, suhu berkisar antara 27,22-27,44 °C. Di bagian selatan perairan, suhu pada permukaan kedalaman 25 m berkisar antara 24,19-24,72°C sedangkan pada permukaan kedalaman 50m suhu berkisar antara 21,97-25,01°C, Gambar 2. Dengan demikian terjadi perbedaan suhu antara bagian utara perairan dengan bagian selatan perairan pada permukaan kedalaman 25 m sekitar 1,52-4,46°C dengan rerata penurunan sebesar 2,48°C, sedangkan pada permukaan kedalaman 50 m terjadi penurunan suhu sekitar 1,26-5,47°C dengan rerata penurunan sebesar 3,24 °C. Pola sebaran suhu juga memperlihatkan adanya konsentrasi massa air dingin yang ditemukan pada Stasiun 14, 18, 19 dan 20.

Sebaran mendatar suhu pada permukaan kedalaman 75 m memperlihatkan konsentrasi massa air dingin mendominasi bagian selatan perairan terutama pada perairan selatan Selat Lamakera hingga selatan Selat Alor. Pusat konsentrasi massa air dingin umumnya terdapat pada stasiun-stasiun dekat pantai seperti pada Stasiun 14 dengan suhu 21,75°C, Stasiun 20 dengan suhu 21,59°C, dan Stasiun 23 dengan suhu 21,61°C. Di bagian utara perairan (Stasiun 1, 8-11) suhu perairan masih berada pada kisaran 26,14-27,36°C. Pada Stasiun 13, karakteristik massa air hangat yang bersumber dari Laut Banda terlihat mulai mengalami perubahan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena terjadinya pencampuran massa air.

Selama pengamatan pola sebaran suhu vertikal pada perairan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor menunjukkan perbedaan karakteristik massa air perairan bagian utara dan selatan. Sebaran termoklin pada stasiun pengamatan menunjukkan bahwa kedalaman lapisan termoklin di bagian utara perairan lebih dalam bila dibandingkan dengan bagian selatan perairan. Di bagian utara perairan (Stasiun 1, 8-11 dan 13) lapisan termoklin berada pada kedalaman sekitar 60-90m hingga kedalaman 150-250 m, Gambar 3. Suhu pada bagian atas lapisan termoklin berkisar antara 27,00-27,18°C. Di bagian perairan ini, lapisan termoklin terlihat semakin lebih dalam ke arah timur (Stasiun 9 dan 10).

Pada Stasiun 1 lapisan termoklin berada pada kedalaman 63-157m dengan suhu pada batas atas lapisan termoklin sekitar 27,08°C dan pada batas bawah lapisan termoklin sekitar 14,04°C, sedangkan pada Stasiun 10 lapisan termoklin berada pada kedalaman sekitar 71-194 m dengan suhu pada batas atas lapisan termoklin sekitar 27,10°C dan pada bagian bawah lapisan termoklin sekitar 13,08°C. Menurut Illahude dan Gordon (1996), selama muson tenggara lapisan termoklin di Laut Flores ditemukan pada kedalaman antara 80 dan 300 dbar dengan suhu pada batas atas lapisan termoklin sekitar 26 °C sedangkan pada bagian barat Laut Banda lapisan termoklin pada isotherm 25°C.

Sebaran termoklin di bagian utara perairan Laut Sawu yang berbatasan dengan Pulau Solor, Pulau Lembata, Pulau Pantar selama pengamatan menunjukkan bahwa batas atas lapisan termoklin berada pada kedalaman 12-76 m sedangkan batas bawahnya pada kedalaman sekitar 88-250 m. Suhu perairan pada batas atas lapisan termoklin berkisar antara 25,25 dan 26,75°C sedangkan pada batas bawah lapisan termoklin berkisar antara 11,00-20,27 °C. Secara umum, stasiun-stasiun dengan lapisan termoklin lebih dangkal, letaknya lebih mendekati pantai (Stasiun 6, 14, 19, 21, 23 dan 24) yakni



**Gambar 3.** Sebaran vertikal suhu selama pengamatan A) Lintasan Selat Flores, B) Lintasan Selat Boling dan Lamakera, C) Lintasan Selat Alor.

berada pada kisaran kedalaman 12-27 m dengan suhu perairan pada permukaan termoklin berkisar antara 24,81 dan 25,78°C. Dangkalnya lapisan termoklin menunjukkan terjadi pengangkatan massa air dalam. Pengangkatan massa air dalam menyebabkan massa air permukaan menjadi lebih dingin bila dibandingkan dengan perairan sekitarnya. Menurut Qu *et al.* (2005) pembalikan arah tiupan angin muson secara musiman menyebabkan terjadinya upwelling pada beberapa wilayah Indonesia. Perairan dimana intensif terjadi upwelling adalah perairan selatan Jawa, Laut Flores, bagian selatan pantai Papua, dan bagian timur Laut Banda.

Perairan dekat pantai, yang diwakili oleh stasiun 14, 16 dan 23 mempunyai nilai suhu permukaan terendah selama penelitian. Suhu permukaan yang terukur masing masing adalah 25,7; 25,7; dan 25,4°C. Salah satu pemicu upwelling adalah morfologi dasar perairan. Massa air yang terdorong oleh angin muson tenggara akan menyebabkan kekosongan di perairan pesisir sehingga wilayah ini akan tergantikan oleh massa air dari bawahnya terlebih dahulu.

Penyebab terjadinya pengangkatan massa air di bagian perairan ini disebabkan oleh bertiupnya angin muson tenggara. Tiupan angin muson tenggara menyebabkan terjadi transpor Ekman dimana massa air lapisan permukaan akan bergerak menjauhi pantai (ke arah barat daya). Pergerakan tersebut bila terjadi secara terus-menerus akan menyebabkan terbentuknya 'ruang kosong' di sisi pantai dan terbentuk gradien tekanan. Menurut Pond dan Pickard (1983) akibat adanya gradien tekanan tersebut maka massa air akan berupaya menuju keseimbangan, sehingga massa air dari lapisan dalam ini bergerak ke arah pantai dan selanjutnya bergerak ke arah pantai mengikuti lereng dasar laut menuju ke arah permukaan dan menimbulkan upwelling. Menurut Sprintal dan Liu (2005), kuatnya angin muson tenggara menyebabkan tinggi paras laut di sepanjang pantai selatan pulau-pulau di Nusa Tenggara menjadi lebih rendah sebagai respon terhadap transport Ekman yang terjadi di perairan tersebut. Potemra *et al.* (2003) mengatakan di Laut Sawu pada bulan Juni dan Juli terjadi upwelling Ekman dengan kecepatan maksimum 0,35 m/hari.

### Sebaran salinitas

Salinitas pada lapisan permukaan laut (0-5m) perairan Selar Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Suwu selama pengamatan bervariasi antara 33,62-33,97 PSU dengan rerata 33,86±0,10 PSU. Pola sebaran salinitas pada lapisan permukaan laut secara spasial memperlihatkan bahwa bagian utara perairan Selat Flores, Lamakera dan Alor (Stasiun 1, 8, 9, dan 10) memiliki salinitas yang lebih rendah bila

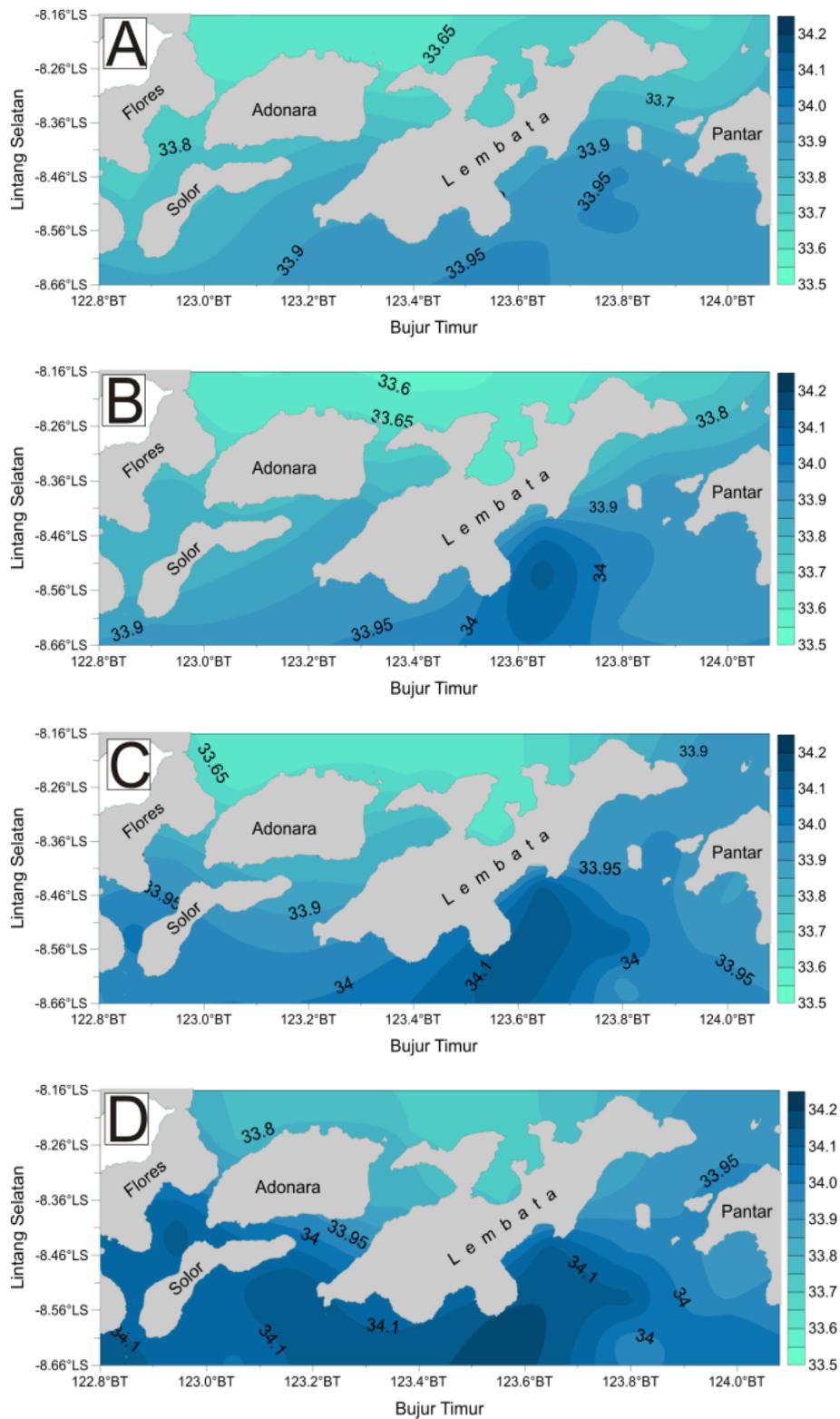
dibandingkan dengan bagian selatan perairan. Salinitas lapisan permukaan laut pada Stasiun 1, 8, 9 dan 10 bervariasi antara 33,62-33,86 PSU dengan rerata 33,86±0,11 PSU, sedangkan pada bagian selatan perairan (Stasiun 4-5, 14-24), salinitas berada pada kisaran 33,38-33,97 PSU dengan rerata 33,93±0,03 PSU.

Secara umum pola sebaran salinitas pada lapisan permukaan laut (kedalaman 0-5 m) lebih homogen pada bagian selatan perairan bila dibandingkan dengan bagian utara perairan (Gambar 4). Perbedaan salinitas pada bagian utara dan selatan perairan mengindikasikan bahwa massa air pada kedua bagian perairan tersebut berasal dari sumber yang berbeda. Di bagian utara perairan, salinitas massa air lapisan permukaan lebih banyak ditentukan oleh karakteristik massa air Laut Banda yang cenderung bergerak ke arah barat pada bulan Juli. Hal ini terlihat dari pola sebaran salinitas yang menunjukkan peningkatan ke arah timur perairan. Pada Stasiun 1, 8, 9, dan 10 salinitas perairan masing-masing sekitar 33,617, 33,618, 33,693, 33,855 PSU. Kondisi tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil yang dikemukakan oleh Ilaude dan Gordon (1996) bahwa selama muson tenggara salinitas permukaan Laut Flores berkisar antara 34,1 dan 34,4.

Di bagian selatan perairan, tingginya salinitas diindikasikan berasal dari massa air lapisan dalam Laut Sawu yang mengalami pengangkatan. Berdasarkan Gambar 6 juga terlihat bahwa, massa air dari bagian utara perairan bergerak ke Selat Flores, Selat Lamakera, dan Selat Alor dan mengalami pertemuan dengan massa air dari bagian selatan perairan yang memiliki salinitas yang lebih tinggi.

Pada kedalaman 25 dan 50 m (Gambar 4), pola sebaran salinitas secara horisontal memperlihatkan pola yang hampir sama dimana salinitas terendah pada Stasiun 1 dan konsentrasi massa air dengan salinitas tinggi terdapat pada perairan selatan Pulau Lembata hingga bagian selatan Selat Alor. Salinitas pada permukaan kedalaman 25 m berkisar antara 33,62-34,13 PSU dengan rerata salinitas 33,90±0,12 PSU sedangkan pada permukaan kedalaman 50 m, salinitas perairan berkisar 33,63-34,13 PSU dengan rerata salinitas 33,95±0,13 PSU. Pada bagian utara perairan (Stasiun 1, 8, 9, dan 10) baik pada permukaan kedalaman 25 maupun 50 m, sebaran salinitas juga memiliki pola yang sama yaitu salinitas di bagian barat perairan (Stasiun 1 dan 8) lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian timur perairan (Stasiun 9 dan 10).

Pada kedalaman 75 m (Gambar 4), sebaran salinitas pada memperlihatkan semakin meluasnya konsentrasi massa air dengan salinitas yang lebih



**Gambar 4.** Sebaran mendatar salinitas perairan pada permukaan laut A) kedalaman 0 m, B) kedalaman 25m, C) kedalaman 50m, dan D) kedalaman 75 m.

tinggi di perairan selatan Pulau Lembata dan Selat Alor yang merupakan bagian dari Laut Sawu. Pada permukaan kedalaman 75 m, salinitas berkisar antara 33,75-34,19 PSU dengan rerata salinitas  $34,02 \pm 0,12$  PSU. Variasi salinitas pada stasiun-stasiun dengan nilai salinitas tinggi (Stasiun 6, 14, 15, 18, 19, 21, 23, dan 24) berkisar antara 34,06-34,19 PSU. Pada bagian utara perairan, sebaran salinitas memiliki pola yang sama dengan permukaan kedalaman 0, 25, dan 50 m yaitu salinitas semakin meningkat ke arah timur

Sebaran vertikal salinitas perairan Selat Flores, Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu pada saat pengamatan (Gambar 5) menunjukkan bahwa massa air pada lapisan permukaan perairan memiliki beberapa karakteristik yaitu massa air dengan salinitas rendah yang terdapat pada bagian utara perairan (Stasiun 1, 8, dan 9), massa air dengan salinitas tinggi yang terdapat pada bagian selatan perairan dan massa air yang terbentuk akibat terjadi pencampuran massa air baik secara horisontal maupun vertikal (Stasiun 2, 3, 11, 13). Pada kedalaman sekitar 50 m dijumpai salinitas tinggi pada Stasiun 19 yakni sebesar 34,13 PSU.

Sebaran vertikal salinitas juga memperlihatkan bahwa di bagian utara perairan (Stasiun 1, 8, 9, dan 10), salinitas pada bagian atas lapisan termoklin (60-90 m) berkisar antara 33,66-33,91 PSU sedangkan pada batas bawah lapisan termoklin (150-250 m) salinitas berkisar antara 34,49-34,56 PSU. Sebaran vertikal salinitas juga memperlihatkan salinitas maksimum pada beberapa kedalaman. Pada Stasiun 1 salinitas maksimum 34,57 PSU pada kedalaman 137 m dan 34,58 PSU pada kedalaman 144 m. Lapisan massa air yang mengalami peningkatan salinitas secara tajam terlihat pada Stasiun 1 dan Stasiun 8. Pada Stasiun 1, peningkatan salinitas secara tajam (33,66 hingga 34,55 PSU) terdapat pada kedalaman 66-126 m sedangkan pada Stasiun 8 peningkatan salinitas tajam terdapat pada kedalaman 106-114 m yakni dari 33,92-34,31 PSU. Sebaran vertikal salinitas pada Stasiun 9 dan 10 memperlihatkan bahwa antara kedalaman 100-200 m terdapat 2 lapisan massa salinitas maksimum. Pada Stasiun 9, salinitas maksimum 34,57 PSU terdapat pada kedalaman 131 m dan salinitas maksimum 34,55 PSU pada kedalaman 199 m, sedangkan pada Stasiun 10, salinitas maksimum 34,44 PSU ditemukan pada kedalaman 127 m dan salinitas maksimum 34,49 PSU ditemukan pada kedalaman 152 m.

Sebaran vertikal salinitas di bagian selatan perairan Pulau Solor, Pulau Lembata, Pulau Pantar selama pengamatan menunjukkan bahwa salinitas pada batas atas lapisan termoklin (12-76 m) berkisar antara 33,86-34,00 PSU sedangkan salinitas pada

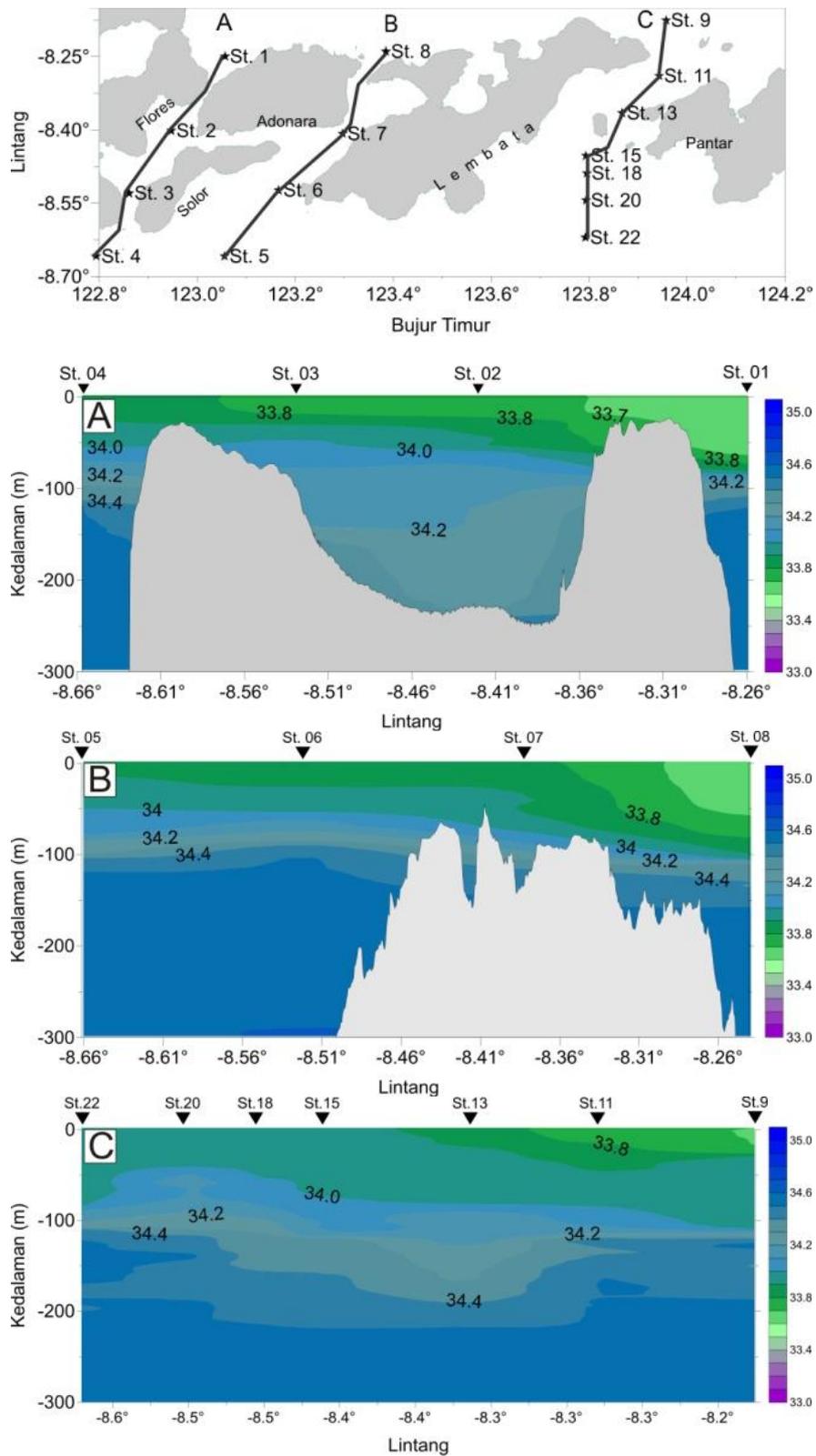
batas bawah lapisan termoklin (88-250 m) salinitas berkisar antara 34,17-34,56 PSU. Secara umum lapisan permukaan dengan pola sebaran vertikal salinitas homogen kurang dari 45 m bahkan sebagian besar kurang dari 15 m. Stasiun dengan lapisan permukaan yang homogen kurang dari 15 m leraknya dekat pantai atau pada bagian selatan Selat Alor.

Sebaran salinitas untuk setiap lokasi pengamatan (Gambar 5 dan Tabel 1) menunjukkan bahwa secara vertikal di perairan bagian selatan Selat Flores dan Selat Lamakera (Stasiun 4 dan 5) hanya ditemukan satu lapisan massa air dengan salinitas maksimum. Lapisan massa air tersebut berada pada kedalaman 549-571 m untuk Stasiun 4 dengan salinitas maksimum 34,670-34,672 m sedangkan pada Stasiun 5, massa air dengan salinitas maksimum 34,660-34,672 PSU dijumpai pada kedalaman 525-588 m. Untuk stasiun-stasiun yang terletak di perairan selatan Pulau Lembata dan selatan Selat Alor, umumnya dijumpai dua lapisan massa air yang memiliki salinitas maksimum. Lapisan massa air tersebut dijumpai pada kedalaman antara 125-200 m dengan kisaran salinitas antara 34,450-34,679 PSU dan pada kedalaman antara 420-575 m dengan kisaran salinitas maksimum berkisar antara 34,600-34,704 PSU.

Dari sebaran lapisan massa air bersalinitas maksimum diperoleh bahwa kedalaman lapisan tersebut baik lapisan pertama maupun kedua mengalami pengangkatan menuju ke utara maupun mendekati pantai. Hal ini menggambarkan bahwa massa air dari Samudera Hindia (Laut Suwu) bergerak ke utara selanjutnya merambat masuk ke Selat Flores, Selat Lamakera dan Selat Alor. Massa air yang bergerak ke selat tersebut kemudian akan merambat naik mengikuti kontur dasar perairan dan selanjutnya mengantikan massa air permukaan yang bergerak meninggalkan pantai yang ditimbulkan oleh transport Ekman. Dengan demikian kondisi tersebut mengindikasikan terjadinya upwelling pada perairan bagian selatan kepulauan Nusa Tenggara (Pulau Flores dan Pantar).

#### **Densitas massa air, $\sigma_t$**

Sebaran horisontal densitas massa air yang dicirikan oleh  $\sigma_t$  pada lapisan permukaan (0-5 m) selama penelitian berkisar antara 21,43-22,51  $\text{kg/m}^3$  dengan rerata  $22,07 \pm 0,30$   $\text{kg/m}^3$ . Pada lapisan permukaan, densitas massa air lebih tinggi dijumpai pada perairan bagian selatan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu jika dibandingkan dengan bagian utara perairan (Laut Flores-bagian barat Laut Banda/ Stasiun 1, 8, 9, dan 10). Di bagian utara perairan,  $\sigma_t$  berkisar antara 21,43-21,72  $\text{kg/m}^3$  dengan rerata  $21,56 \pm 0,12$   $\text{kg/m}^3$  dimana densitas massa air di bagian barat (Stasiun 1



**Gambar 5.** Sebaran vertikal salinitas selama pengamatan A) Lintasan Selat Flores, B) Lintasan Selat Boling dan Lamakera, C) Lintasan Selat Alor.

**Tabel 1.** Lapisan massa air dengan nilai salinitas maksimum pada stasiun-stasiun yang terletak pada bagian selatan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor dan Laut Sawu

Stasiun	Lapisan I		Lapisan II	
	Kedalaman (m)	Salinitas maksimum	Kedalaman (m)	Salinitas maksimum
4	-	-	549-571	34,6700-34,6722
5	-	-	525-588	34,6601-34,6718
15	-	-	424-dasar	34,6004-34,6272
16	169-180	34,5082-34,6222	450-493	34,6418-34,6801
17	155-164	34,5099-34,5214	503-541	34,6700-34,6851
18	228-249	34,5320-34,5411	441-571	34,6006-34,6473
19	163-188	34,4727-34,5151	490-514	34,6479-34,6520
20	135-146	34,6618-34,6789	452-517	34,6618-34,6789
21	183-198	34,4503-34,5002	480-545	34,6710-34,7027
22	148-167	34,5536-34,5638	508-531	34,6927-34,7039
23	173-198	34,5535-34,5690	426-510	34,646-34,6587
24	131-176	34,5267-34,5409	-	-

dan 8) lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian timur perairan (Stasiun 9 dan 10). Pola sebaran densitas massa air di perairan bagian selatan bervariasi antara 21,98-22,51 kg/m<sup>3</sup> dengan rerata 22,28±0,14 kg/m<sup>3</sup> (Gambar 6). Daerah-daerah dengan densitas tinggi umumnya terdapat di perairan selatan Pulau Lembata hingga Pulau Pantar.

Pada permukaan kedalaman 25 m, sebaran sigma-t massa air berkisar antara 21,55-23,30 kg/m<sup>3</sup> dengan rerata 22,43±0,46 kg/m<sup>3</sup>. Pada permukaan kedalaman 25 m, densitas maksimum dijumpai pada Stasiun 19 dan secara keseluruhan densitas di bagian selatan perairan lebih tinggi daripada bagian utara perairan. Di bagian utara perairan, sigma-t massa air berkisar antara 21,55-21,88 kg/m<sup>3</sup> sedangkan di bagian selatan perairan sigma-t berkisar antara 22,39-23,30 kg/m<sup>3</sup>. Pola sebaran sigma-t juga memperlihatkan bahwa bagian pertengahan selat (Stasiun 2, 3, 6, 13, 15) memiliki sigma-t yang cukup tinggi. Hal ini menggambarkan terjadi perambatan dan pencampuran massa air berdensitas tinggi dari bagian selatan perairan dan massa air berdensitas lebih rendah dari bagian utara perairan. Peningkatan densitas juga disebabkan terjadi pencampuran massa air secara vertikal seperti pada Stasiun 7.

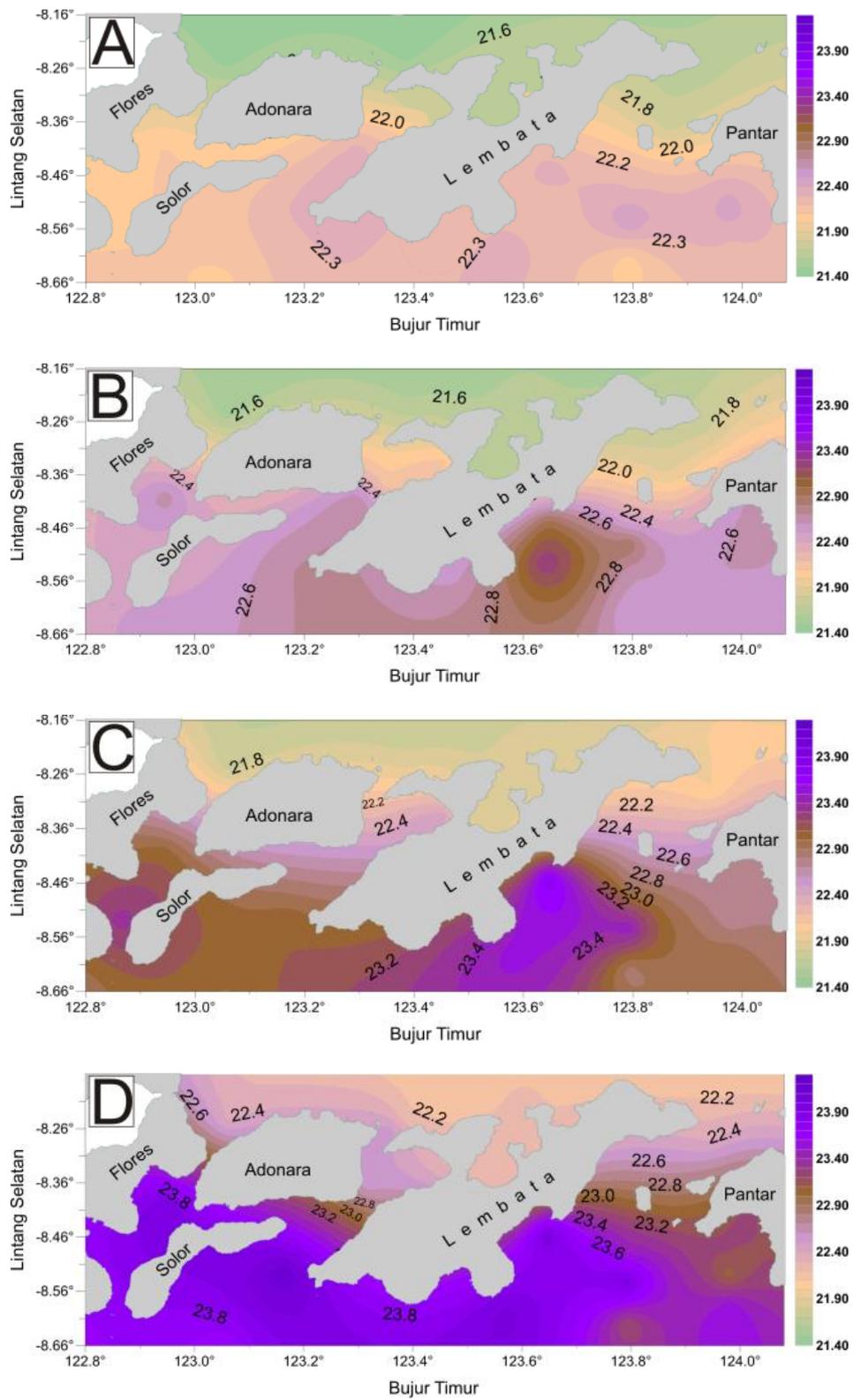
Pada permukaan kedalaman 50 dan 75m, densitas massa air di bagian selatan perairan terlihat semakin meningkat dengan konsentrasi massa air dengan densitas tinggi umumnya terdapat di perairan bagian selatan Pulau Lembata dan bagian selatan Selat Alor. Sigma-t pada permukaan kedalaman 50 m selama pengamatan berkisar antara 21,76-23,78

bagian selatan Pulau Lembata dan bagian selatan Selat Alor. Sigma-t pada permukaan kedalaman 50 m selama pengamatan berkisar antara 21,76-23,78 kg/m<sup>3</sup> dengan rerata 22,83±0,59 kg/m<sup>3</sup> sedangkan pada permukaan kedalaman 75 m, densitas massa air berkisar antara 22,12-24,18 kg/m<sup>3</sup> dengan rerata 23,31±0,67 kg/m<sup>3</sup>. Secara umum, sebaran sigma-t dari permukaan laut hingga permukaan kedalaman 50 m memperlihatkan kemiripan dengan pola sebaran suhu. Sehingga densitas massa air di perairan Selat Flores, Selat Lamakera, Selat Alor, dan Laut Sawu lebih dipengaruhi suhu daripada salinitas.

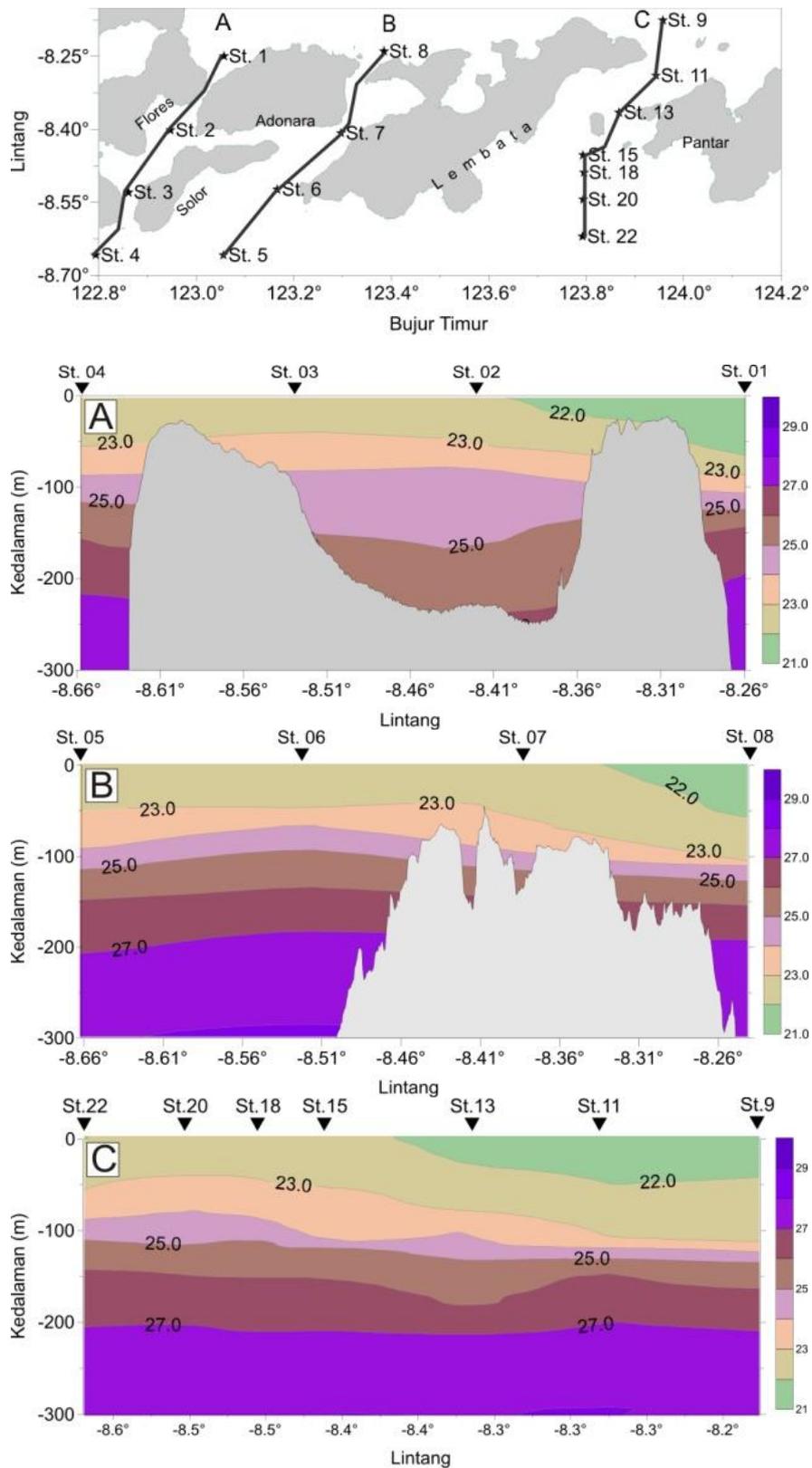
Sebaran vertikal sigma-t selama pengamatan memperlihatkan adanya stratifikasi kolom perairan, Gambar 7. Lapisan permukaan tercampur di bagian utara perairan terlihat lebih dalam bila dibandingkan dengan bagian selatan perairan. Densitas di bagian utara perairan umumnya lebih rendah bila dibandingkan dengan bagian selatan perairan.

### Kesimpulan

Perairan bagian utara Selat Flores, Selat Lamakera, dan Selat Alor memiliki karakteristik massa air yang berbeda dengan perairan bagian selatan. Suhu permukaan bagian utara yang berhubungan langsung dengan Laut Flores berkisar antara 27,45-27,79°C dengan rerata 27,62±0,14°C, sedangkan pada stasiun-stasiun pengamatan yang terletak di bagian selatan yang berhubungan langsung dengan Laut Sawu, suhu perairan berada pada kisaran 25,25-26,75°C dengan rerata 25,90±0,43°C. Secara umum sebaran suhu pada lapisan permukaan laut pada kedalaman 0-5 m menunjukkan bahwa



**Gambar 6.** Sebaran mendatar sigma-t perairan ( $\text{kg/m}^3$ ) pada permukaan laut A) kedalaman 0 m, B) kedalaman 25m, C) kedalaman 50m, dan D) kedalaman 75 m.



**Gambar 7.** Sebaran vertikal sigma-t ( $\text{kg/m}^3$ ) selama pengamatan A) Lintasan Selat Flores, B) Lintasan Selat Boling dan Lamakera, C) Lintasan Selat Alor.

bahwa semakin ke selatan massa air permukaan laut semakin dingin. Pusat konsentrasi massa air dengan suhu terendah di selatan Selat Alor berkisar antara 25,25-25,89°C. Dinginnya massa air perairan bagian selatan mengindikasikan kemungkinan terjadi pengangkatan massa air dalam ke permukaan.

Kedalaman lapisan termoklin pada bagian utara perairan lebih dalam jika dibandingkan dengan bagian selatan perairan. Pada bagian selatan perairan Selat Flores dan Lamakera (Stasiun 4 dan 5) dijumpai lapisan dengan salinitas maksimum (34,660-34,672 PSU) pada kisaran kedalaman 525-588 m, sedangkan pada bagian selatan Selat Alor ditemukan 2 lapisan massa air dengan salinitas maksimum yakni pada kedalaman antara 125-200 m dengan kisaran salinitas antara 34,450-34,679 PSU dan pada kedalaman antara 420-575m dengan kisaran salinitas maksimum berkisar antara 34,600-34,704 PSU.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI sebagai lembaga pemerintah yang membawahi Perguruan Tinggi bekerja sama dengan LIPI sebagai lembaga ilmu pengetahuan di Indonesia untuk melakukan kajian tentang perairan Laut Sawu bagian utara, terutama di selatan Selat Flores, Selat Lamakera dan Selat Alor dalam rangka kegiatan Joint Research dengan tema Ekspedisi Lamakera. Pada kesempatan ini pula penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh awak Kapal RV Baruna Jaya VIII atas bantuan dan kerjasama yang diberikan selama pengambilan data lapangan.

### Daftar Pustaka

Clark, Christina Oelfke, Julia E. Cole, Peter J. Webster, 2000: Indian Ocean SST and Indian Summer Rainfall: Predictive Relationships and Their Decadal Variability. *J. Climate*, 13: 2503-2519

Fieux, M., C. Andrie, E. Charriaud, A.G. Ilahude, N. Metzl, R. Molcard, & J.C. Swallow. 1996. Hydrological and Chlorofluoromethane Measurements of the Indonesian Throughflow Entering the Indian Ocean. *J. Geophys. Res.*, 101(C5): 12.433- 12.454.

Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. *Oceanography*, 18 (4): 14-27

Gordon, A.L., & R.D. Susanto. 2001. Banda Sea

surface-layer divergence. *Ocean Dynamics*, 52: 2-10.

Hendiarti, N., E. Suwarso, Aldrian, K. Amri, R. Andiastuti, S. Sachoemar, & I.B. Wahyono. 2005. Seasonal Variation of Palgis Fish Catch Around Java. *Oceanography*, 18(4): 112-123.

Ilahude, A.G., & A.L. Gordon, 1996. Thermocline Stratification within the Indonesian Seas. *J. Geophys. Res.*, 101(C5): 12.401-12.420.

Meyers, G., R.J. Bailey, & A.P. Worby. 1995. Geostrophic transport of Indonesian throughflow. *Deep-Sea Research Part I*, 42: 1.163-1.174.

Pond, S. & G.L. Pickard, 1983. Introductory dynamical oceanography. 2<sup>nd</sup> ed. Pergamon Press, Oxford, UK., 349p

Potemra, J. T., J. Sprintall, S. L. Hautala, W. Pandoe. 2003. Observed estimates of convergence in the Save Sea, Indonesia. *J. Geophys. Res.*, 108(C13): 3001, doi:10.1029/2002JC 0015 07

Qu T., Y. Du, J. Strachan, G. Meyers, & J. Slingo. 2005. Sea surface Temperature and Its variability In the Indonesian Region. *Oceanography*, 18 (4): 50-61

Sprintall & Liu. 2005. Ekman Mass and Heat Transport in The Indonesian Seas. *Oceanography*. 18(4): 88-97

Susanto, R.D., A.L. Gordon, & Q. Zheng. 2001. Upwelling Along The Coast of Java and Sumatera and Its Relation to ENSO. *Geophys Res. Lett.*, 28(8): 1599-1602

Tchernia, P., 1980. Descriptive regional oceanography. Pergamon Marine Series, Edited by J.C. Swallow, Pergamon Press., Oxford, 253p

Tomascik, T., A. J. Mah, A. Nontji & M.K. Moosa. 1997. The Ecology of Indonesian Seas. The Ecology of Indonesian Series. Vol. VII. Periplus Eds. (HK) Ltd., p1074

Wyrtki, K., 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters. NAGA Rep. 2. Scripps Inst. of Oceanography, La jolla, Calif., 195p.

Wyrtki, K. 1987. Indonesian throughflow and the associated pressure gradient. *J. Geophys. Res.* 92: 12.941-12.946.s