

MASSA AIR SUBTROPICAL DI PERAIRAN HALMAHERA

SUBTROPICAL WATER MASSES IN HALMAHERA WATERS

Hadikusumah

Bidang Dinamika Laut – Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI
Jl. Pasir Putih No.1, Ancol Timur, P.O. Box 480 /JKTF. 14430
E-mail: hadi_kusumah@yahoo.com

ABSTRACT

Research of water masses by using conductivity temperature depth (CTD), are conducted in the eastern path of the Indonesia Throughflow (ITF) in the Halmahera, Seram and Banda seas during March-April 2007 under the Expedition of Widya Nusantara (EWIN). The objective of this research is to see maximum salinity spread of South Pacific Subtropical Water (SPSW) water masses enter the eastern Indonesia Waters. The temperature and salinity profiles show the presence of the presence of SPSW have been very much confined to the Halmahera Sea only. Little of this water masses have been detected in the eastern Seram Sea, but none in Banda Sea. Early data of Arlindo Mixing (ARMIX) experiment in southeast monsoon 1993 indicated that this water masses SPSW may entered the southern most part of the Moluccas Sea. Type of South Pacific Subtropical Water (SPSW) water masses appears in the Halmahera Sea at an average depth of 200m and the dominant flows between Halmahera and Obi Islands (Moluccas Sea continues to the east). Type of South Pacific Intermediate Water (SPIW) water mass appeared on average Halmahera Sea at a depth of 750m and the dominant flows between Halmahera and Obi Islands (Moluccas Sea continues to the east). Type of North Pacific Subtropical Water (NPSW) water masses at an average depth of ~ 150m found in the northern part of Halmahera, the dominant flow to the Celebes Sea, Makassar Strait, Flores Sea and partly flows into Lombok Straits. Type of minimum salinity water mass of North Pacific Intermediate Water (NPIW) obtained at an average depth of ~ 400m dominant flow towards the Celebes Sea, Makassar Strait and Flores Sea.

Keywords: maximum salinity, SPSW, Halmahera, Seram, and Banda Seas

ABSTRAK

Penelitian massa air dengan menggunakan conductivity temperature depth (CTD), dilakukan di bagian timur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO – ITF) di Laut Halmahera, Laut Seram dan Laut Banda dari bulan Maret - April 2007 pada pelayaran Ekspedisi Widya Nusantara (EWIN). Tujuan penelitian ini untuk melihat penyebaran salinitas maksimum dari massa air South Pacific Subtropical Water (SPSW) masuk ke bagian timur Indonesia. Profil suhu dan salinitas menunjukkan adanya kehadiran SPSW sudah sangat terbatas ke Laut Halmahera saja. Sebagian kecil massa air ini telah terdeteksi di bagian timur Laut Seram, tapi tidak ke Laut Banda. Awal data Arlindo Mixing (ARMIX) eksperimen di musim tenggara 1993 menunjukkan bahwa massa air SPSW ini dapat masuk ke bagian paling selatan Laut Maluku. Jenis masa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) muncul di Laut Halmahera pada rata-rata kedalaman 200m serta dominan mengalir di antara Pulau Halmahera dan Pulau Obi (terus ke Laut Maluku bagian timur). Jenis massa air *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) muncul di Laut Halmahera rata-rata pada kedalaman 750m serta dominan mengalir di antara Pulau Halmahera dan Pulau Obi (terus ke Laut Maluku bagian timur). Jenis massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) pada rata-rata kedalaman ~150m didapatkan di bagian utara Halmahera, dominan mengalir menuju ke Laut Sulawesi, Selat Makassar, Laut Flores dan sebagian mengalir ke Selat Lombok. Jenis massa air bersalinitas minimum *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) didapatkan pada rata-rata kedalaman ~400m dominan mengalir ke arah Laut Sulawesi, Selat Makassar, dan Laut Flores.

Kata Kunci: salinitas maksimum, SPSW, Laut Halmahera, Laut Seram dan Laut Banda

I. PENDAHULUAN

Perairan Indonesia terletak diantara Samudera Pasifik dan Hindia. Massa air dari Pasifik masuk dan menyebar di perairan Indonesia sebelum mengalir keluar Indonesia (Wyrski, 1956). Empat jenis massa air telah diketahui dan menyebar pada lapisan termoklin dan lapisan dalam, yaitu massa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) yang merupakan massa air yang dibawa oleh arus *Mindanao Eddy* dan arus *North Equatorial Current* (NEQ), massa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) dan *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) yang merupakan massa air yang dibawa oleh arus *New Guinea Coastal Current* (NGCC) dan arus *South Equatorial Current* (SEQ) (Tomczak & Godfrey, 1994). NPSW adalah massa air dari Pasifik utara yang bergerak ke arah selatan dan masuk ke Laut Sulawesi pada lapisan dangkal (lapisan termoklin); SPSW yaitu massa air dari Pasifik Selatan yang bergerak ke arah Laut Halmahera lewat perairan pantai utara Pulau Papua di lapisan dangkal (lapisan termoklin). Keberadaan massa air tersebut diindikasikan oleh salinitas maksimum (S_{maks}). Di bawah lapisan salinitas maksimum (NPSW) terdapat lapisan massa air NPIW yaitu massa air dari Pasifik utara yang bergerak ke arah selatan dan masuk ke Laut Sulawesi pada lapisan dalam; SPIW adalah massa air dari Pasifik selatan yang bergerak ke arah Laut Halmahera lewat utara Pulau Papua terletak di lapisan dalam (Wyrski, 1962) dan (Ffield, 1994). Keberadaan massa air tersebut diindikasikan oleh salinitas minimum (S_{min}).

Pada lapisan pycnocline (100 sampai 300 m) ada lapisan salinitas maksimum dari utara dan selatan Samudera Pasifik. Massa air ini disebut

Northern/Southern Subtropical Lower Waters (Wyrski, 1961) atau *North/South Pacific Tropical Waters* (Fine *et al.*, 1994) dalam (Yuji *et al.*, 1996). Gambaran umum dari sirkulasi di perairan lautan Indonesia yang menunjukkan dengan jelas pembalikan aliran musiman pola arus permukaan dan distribusi massa air laut dalam yang lebih jelas berasal dari berbagai lokasi Samudra Pasifik bagian utara atau bagian barat Samudera Pasifik. Lautan Indonesia merupakan satu-satunya penghubung antar samudera antara Pasifik bagian barat dengan Samudra Hindia bagian timur (Birowo 1990).

South Pacific Central Water (SPCW) melewati *Halmahera Sea* (HS) ke *South Banda* (BS) dan *Timor Sea* (TS). *North Pacific Central Water* (NPCW) melewati *Makassar Strait* (MS) ke *Timor Sea* (TS). Keduanya kemudian diubah menjadi *Indian Central Water* (ICW) (Ffield *et al.*, 1992). Air bersalinitas asal Pasifik Selatan (*South Pacific*) diamati di bawah lapisan termoklin di Laut Seram dan Laut Maluku bagian selatan terutama pada musim barat laut (Ilahude dan Gordon, 1996). Di dalam perairan Indonesia, massa air berstratifikasi dari Samudera Pasifik secara nyata diubah oleh pencampuran vertikal seperti maksimum salinitas yang berbeda yang berasal dari *North Pacific* (salinitas 34,8psu pada 100m) dan *South Pacific* (salinitas 35,4psu pada 150m) akhirnya hilang. Akibatnya, pada saat air throughflow meninggalkan Indonesia untuk memasuki Samudra Hindia mereka membawa salinitas homogen (34,6psu) melalui termoklin bagian atas, dinyatakan oleh (Ffield *et al.*, 2005). Air subtropical Samudera Pasifik bagian selatan bersalinitas tinggi tidak menyebar ke bagian atas termoklin di Laut Banda dari pintu masuknya di Laut Halmahera (Gordon 2005). Air bagian atas *South Pacific* mengalir menuju searah jarum

jam sekitar *Halmahera eddy* (HE) dan kembali untuk menggabungkan dengan arus ke arah timur dari *Midanau Current* (MC). Sejumlah kecil air massa air South Pacific memasuki Laut Seram dan terbagi menjadi dua cabang. Cabang ke arah utara kembali ke Samudera Pasifik dan ke arah selatan mengalir memasuki Laut Banda (Liu *et al.*, 2005).

Tujuan penelitian EWIN Ambon 2007 salah satunya ialah untuk melihat sebaran salinitas maksimum masa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) dan *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) dan sebaran salinitas minimum masa air *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) dan *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) di perairan Indonesia Timur.

II. METODE PENELITIAN

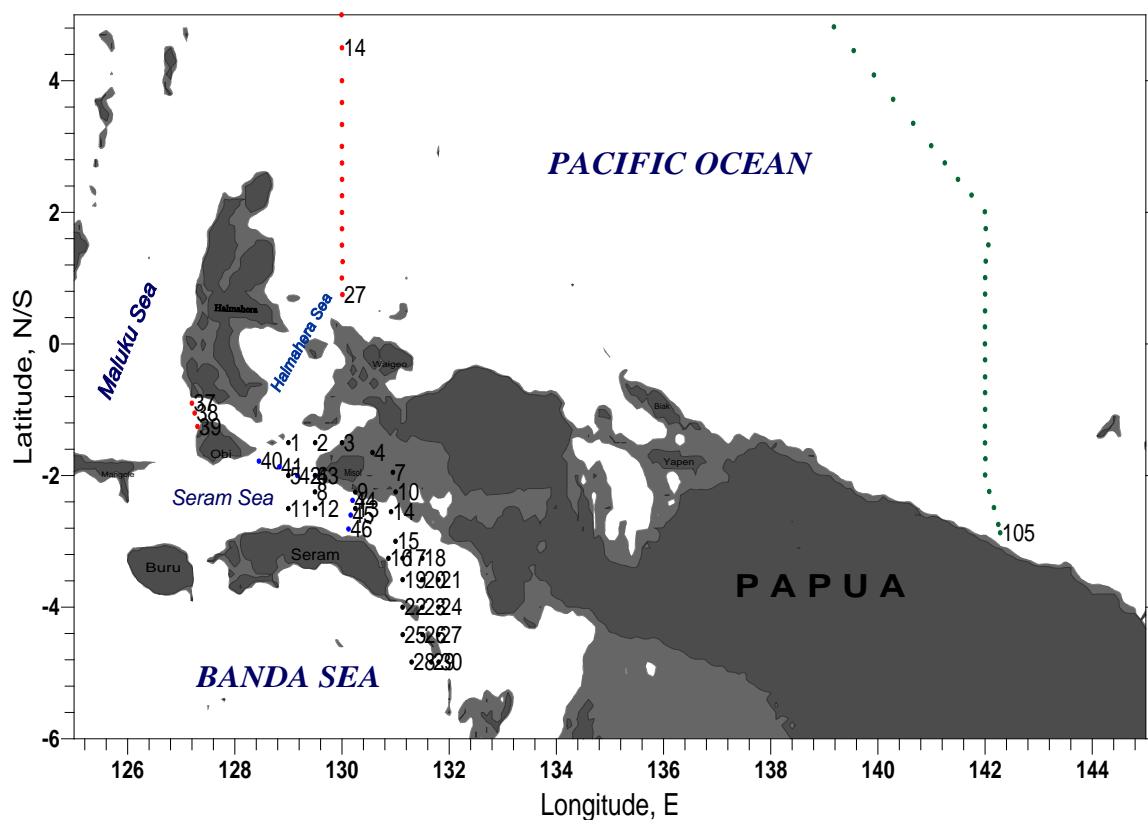
Pengukuran parameter Oseanografi fisika di sekitar perairan Laut Halmahera, Laut Seram, Laut Banda dan Teluk Ambon telah dilakukan dari tanggal 8 Maret s.d 3 April 2007 dengan menggunakan KR. Baruna Jaya VII dalam program Ekspedisi Widya Nusantara (EWIN). Jumlah stasiun oseanografi CTD yaitu 30 stasiun (Gambar 1). Parameter fisika yang diukur adalah suhu, salinitas dan turbiditas dengan menggunakan instrumen CTD Model SBE-91. Profil data pengukuran CTD dengan interval kedalaman 0.5

meter di stasiun-stasiun perairan dangkal (stasiun biologi) dan 1 meter di stasiun laut dalam. Stasiun CTD di bagian selatan Halmahera dan bagian tengah Laut Seram hampir berimpit dengan program *Arlindo Mixing* (ARMIX) 1993 pada musim tenggara (Ilahude & Gordon 1996). Untuk melengkapi analisa massa air Pacific bagian selatan ke perairan Laut Halmahera bagian selatan dan Laut Seram telah ditambah data WOCE Line 08 dan 09. Analisa data suhu dan salinitas yaitu dengan membuat distribusi salinitas penampang vertikal dan korelasi antara salinitas dan suhu dalam diagram T-S.

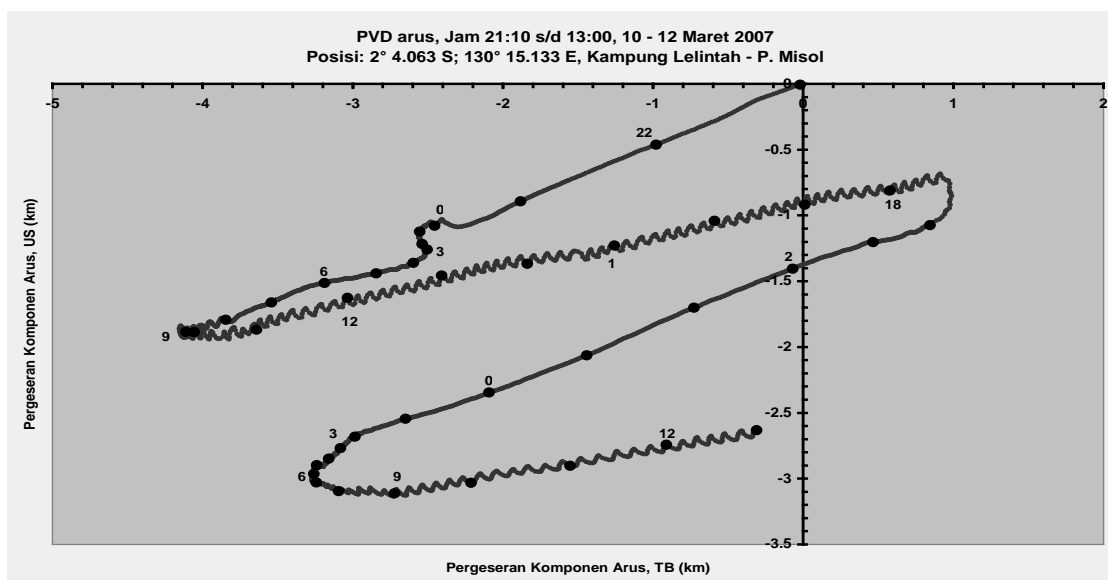
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Arus

Arus di stasiun MBIO-2A di bagian timur Pulau Misol pada kedalaman 5m diperoleh kecepatan arus bervariasi dari 0,18 – 74,34 cm/dt dan hasil analisis didapatkan rata-rata komponen arus timur barat (TB) ialah 0,96 cm/dt dan komponen arus utara selatan (US) ialah -1,99 cm/dt. Hasil analisis progressive vector diagram (PVD) didapatkan mampu menempuh jarak 3,37 km dalam waktu 42 jam 22 menit dan resultante arahnya (*current direction*) ialah 154,22° atau arus bergerak ke arah tenggara, serta arus sisanya (*residual current*) sebesar 2,21 cm/dt (Gambar 2).



Gambar 1. Peta dan stasiun oseanografi Ekspedisi Widya Nusantara (EWIN) pada tahun 2007 di stasiun bertanda lingkaran hitam dan Arlindo mixing (ARMIX) pada ekspedisi selama musim tenggara tahun 1993 di stasiun bertanda lingkaran biru dan merah dan WOCE di stasiun bertanda hijau



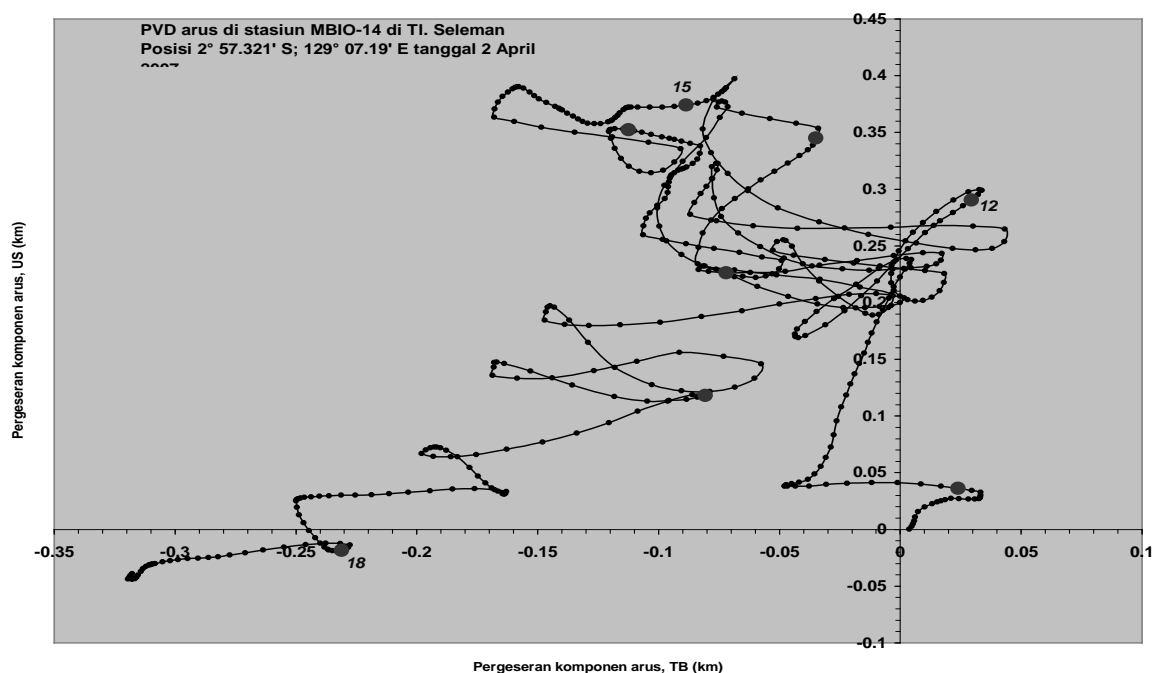
Gambar 2. Proressive Vector Diagram arus di stasiun MBIO-1, Jam 21:10 s/d 13:00, 10 - 12 Maret 200, Posisi: 2° 4.063 S; 130° 15.133 E, Kampung Lelintah - P. Misol

Arus di stasiun MBIO-13 di bagian timur Pulau Seram pada kedalaman 5m didapatkan kecepatan arus bervariasi dari 0,6 – 31,9 cm/dt dan rata-rata komponen arus TB ialah 5,5 cm/dt dan komponen arus utara selatan (US) ialah -2.2 cm/dt. Hasil analisis arus PVD didapatkan mampu menempuh jarak 5,84 km dalam waktu 27 jam 20 menit dan resultante arahnya (*current direction*) ialah 111,7° atau arus menuju ke arah tenggara, serta arus sisanya (*residual current*) ialah 5,92 cm/dt.

Arus di stasiun MBIO-14 diperoleh kecepatan arus bervariasi dari 0.30 – 43.80 cm/dt dan hasil analisa diperoleh rata-rata komponen arus TB ialah -1.11 cm/dt dan komponen arus US ialah -0.13 cm/dt. Hasil analisa progressive vector diagram diperoleh bahwa PVD arus dapat menempuh jarak 0.32 km dalam waktu 7 jam 55 menit dan resultante arahnya (*current direction*) ialah 262.95 ° atau arus ke arah barat daya, serta arus sisanya (*residual current*) ialah 1.12 cm/dt (Gambar 3). Pola arus di stasiun MBIO-

2A, MBIO-13 dan MBIO-14 menandakan bahwa masa air tersebut bergerak ke arah tenggara sampai barat daya dan ini merupakan masa air ARLINDO di bagian permukaan.

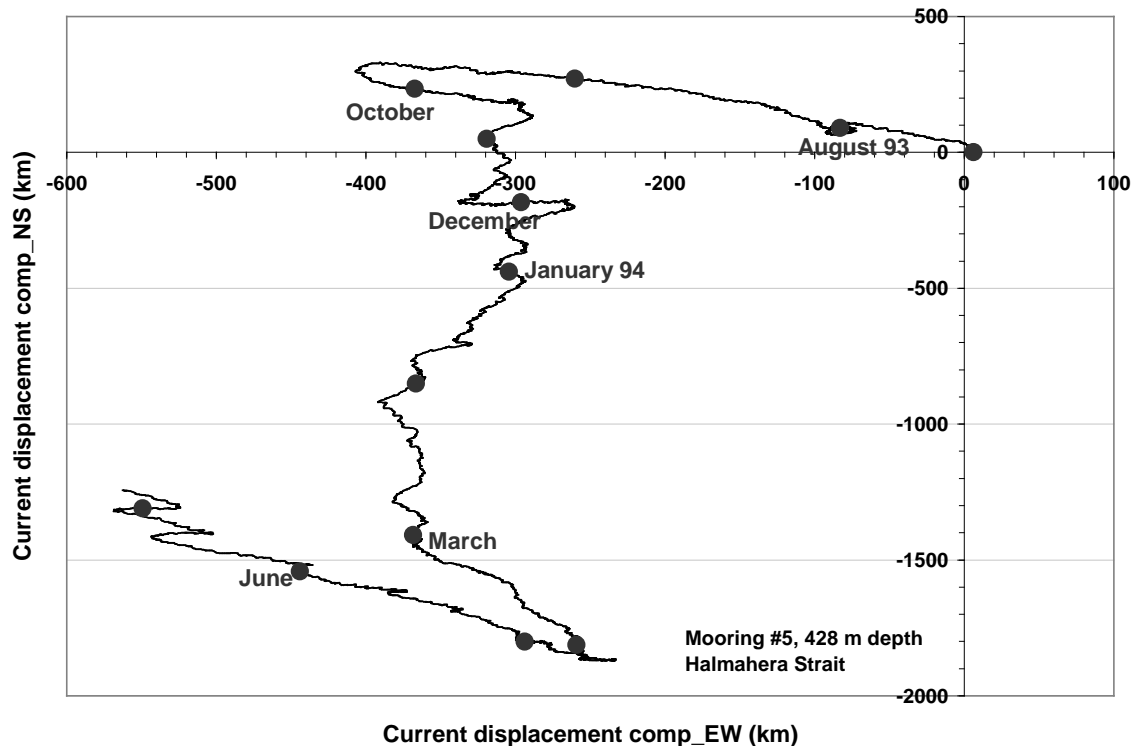
Berdasarkan data arus mooring 1993-1994 selama setahun pada stasiun 29; dari Program Kerjasama antara ASEAN dan Australia di Laut Halmahera bahwa kecepatan arus rata-rata maksimum pada kedalaman 428m didapatkan tertinggi (25,95cm/dt) pada bulan Februari, jika dibandingkan kecepatan arus pada kedalaman 720m (19,42 cm/dt) pada bulan Desember dan kecepatan arus paling rendah pada kedalaman 912m (16,90cm/dt) bulan Desember. Hasil analisis progressive vector diagram (PVD) menunjukkan bahwa pergeseran arus selama satu tahun pada kedalaman 720 m didapatkan terbesar (2875,6km) dengan arah arus dominan bergerak ke selatan (188°) atau masuk ke perairan Indonesia (ARLINDO), dibandingkan dengan kedalaman 428m, pergeseran arusnya



Gambar 3. Proressive Vector Diagram arus di stasiun MBIO-14 di Teluk Seleman Posisi: 2° 57.321' S; 129° 07.19' E tanggal 2 April 2007

(556,86km) dengan arah arus dominan ke barat daya (204°) serta kedalaman 912m, pergeseran arusnya paling rendah (453km) dengan dominan arah arus bergerak ke barat daya (264°) atau ke perairan Indonesia. Pola arus antara

bulan Mei s.d September arah arus dominan menuju ke arah barat laut, sebaliknya antara bulan Oktober s.d April arah arus dominan menuju ke arah dominan ke arah selatan (Gambar 4).



Gambar 4. Proressive Vector Diagram arus di stasiun mooring di Laut Halmahera pada kedalaman 428m dari tahun 1993/1994

3.2. Karakteristik dan Distribusi Tegak massa Air

Salinitas maksimum 34,988psu (St.1) pada profil salinitas didapatkan pada kedalaman 236m yaitu pada lapisan termoklin. Dari perairan yang diobservasi ternyata didapatkan ada dua massa air yang berbeda dari permukaan sampai kedalaman ~700 m, yaitu masa air besalintas rendah di Laut Banda Seram timur dan salinitas tinggi di Laut Halmahera sampai Laut Seram bagian barat. Sedangkan massa air permukaan bersalinitas rendah (kedalaman <185m) di St.15 didapatkan sama dengan salinitas Laut Banda, sedangkan di kedalaman >185m didapatkan masa air bersalinitas

tinggi, demikian pula salinitas maksimum masih didapatkan di St-16 (34,65psu) di kedalaman >164m. Ini menandakan bahwa pertemuan atau front masa air besalinitas tinggi dan rendah ada di antara St.15 sampai 16.

Distribusi horizontal salinitas di bagian permukaan (1m) didapatkan antara 32 s.d 34psu, dimana salinitas Selat Halmahera dan Laut Seram didapatkan lebih tinggi dibandingkan salinitas Laut Banda atau perairan Seram timur. Distribusi horizontal salinitas pada kedalaman 50m didapatkan antara 33,5 s.d 34,3psu, di mana salinitas lepas pantai Selat Halmahera (>34,2psu) dan salinitas perairan lepas pantai Laut Seram

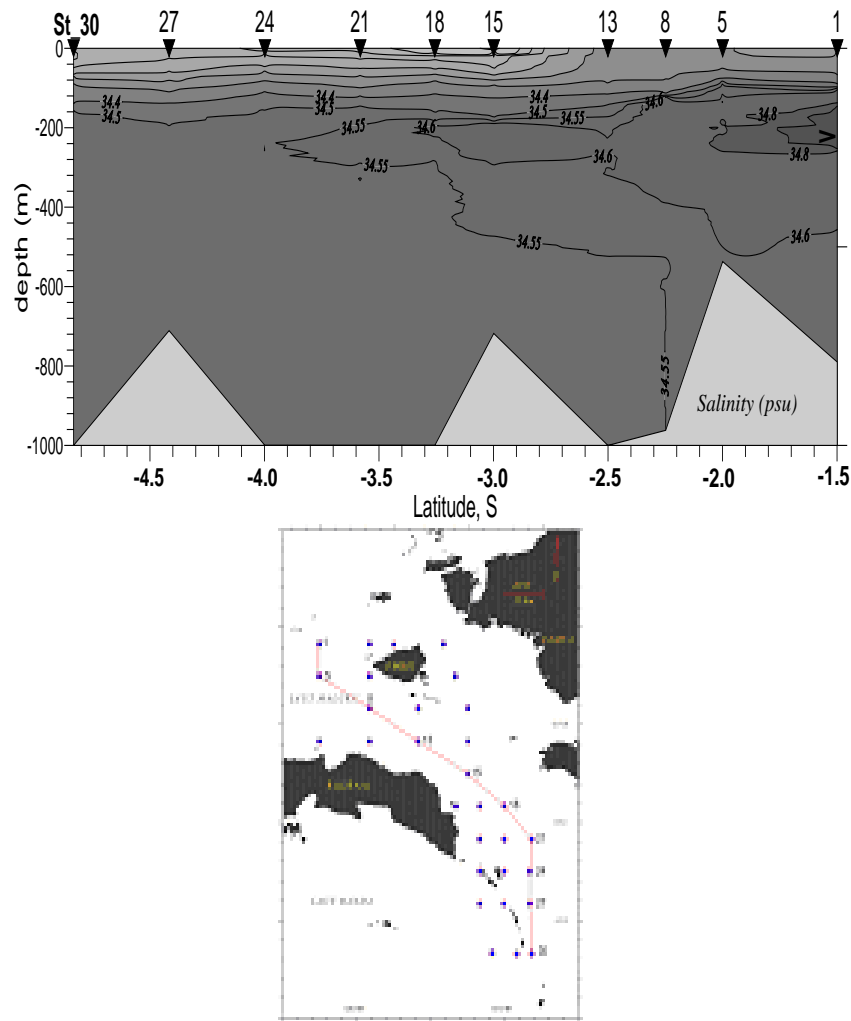
(>34,1psu) didapkatann lebih tinggi dibandingkan salinitas Laut Banda (<34psu) atau perairan Seram timur, sedangkan salinitas perairan pantai lebih rendah (<33,5 psu).

Distribusi tegak salinitas antara St.1 sampai 4 bahwa antara St.1 sampai 2 didapatkan inti (core) salinitas <34,9psu pada kedalaman 200m dengan ketebalan inti salinitas makin ke arah timur makin berkurang. Salinitas minimum (<34,6psu) juga didapatkan di laut dalam pada kedalaman >465m dan diduga sampai dasar. Distribusi salinitas vertikal antara St.1 sampai 11 didapatkan bahwa core salinitas maksimum di St.1 (<34,9psu) dengan ketebalan ~120m dan makin ke arah selatan (St.11) core salinitasnya makin berkurang (>34,8psu) dengan ketebalan <70m. Sedangkan salinitas minimum (<34,6psu) didapatkan pada kedalaman >440m dan diduga sampai dasar.

Distribusi tegak salinitas antara St.2 sampai 12 didapatkan bahwa core salinitas (>34,9 psu) di St.2 dengan ketebalan ~ 60m dan makin ke arah selatan nilai salinitasnya makin berkurang atau mengecil (>34,7) yaitu antara St.8 s.d (di Laut Seram) dengan ketebalan ~60m. Sedangkan salinitas minimum di laut dalam didapatkan pada kedalaman ~ 460m (St.2) dan makin ke arah selatan (dangkal sampai kedalaman ~360m). Distribusi tegak salinitas antara

St.11 sampai 14 (di Laut Seram) bahwa core salinitas (>34,8 psu) didapatkan pada kedalaman 200m dengan ketebalan ~ 65m. Core salinitas makin ke arah timur didapatkan nilai salinitasnya makin berkurang dan sampai di St.14 (>34,6psu) dengan ketebalan <20m. Salinitas <34,6psu didapatkan di laut dalam di St.11 dikedalaman ~ 400m dan makin ke arah timur salinitas (<34,6psu) didapatkan di kedalaman ~ 240m (makin dangkal atau naik).

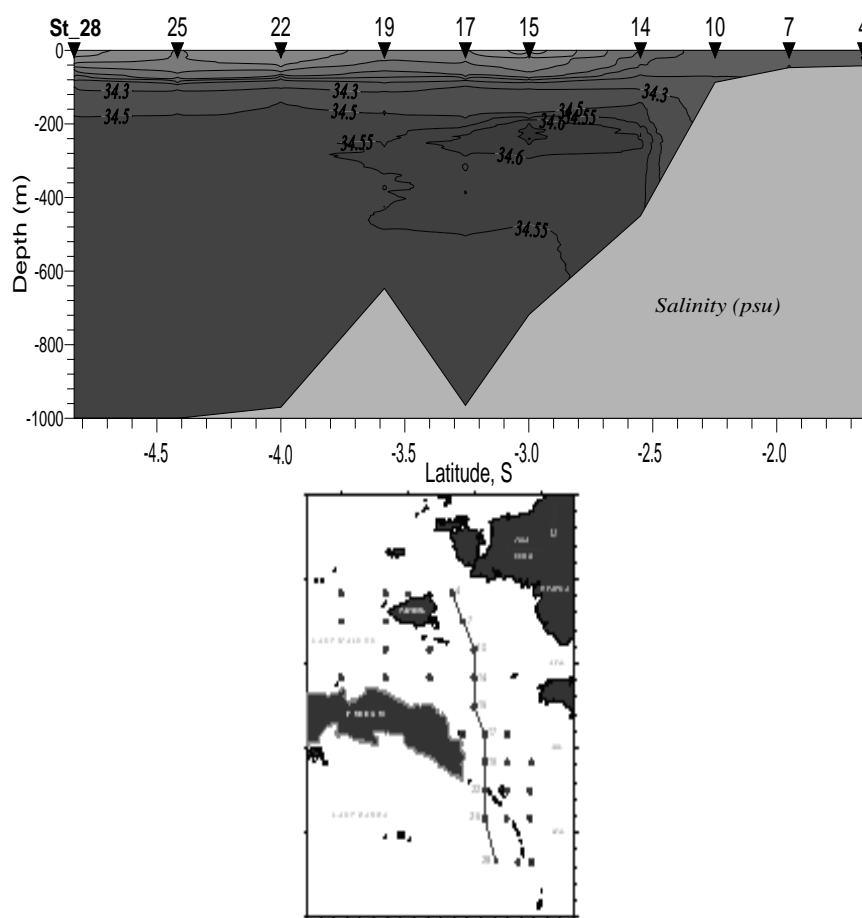
Distribusi salinitas vertikal antara St.1 sampai 30 yaitu dari Selat Hamahera, Laut Seram dan Laut Banda bahwa salinitas di bagian lapisan permukaan antara St.1 sampai St.13 didapatkan salinitas lebih besar (>34 psu) dibandingkan salinitas di bagian permukaan ke arah selatan Laut Banda (<34psu). Inti salinitas di St.1 adalah sama seperti pembahasan di atas, didapatkan bahwa salinitas makin ke arah selatan core salinitas Selat Halmahera sudah tidak muncul lagi. Core salinitas >34,6 psu masih muncul di St.15 pada kedalaman 200m. Ini artinya bahwa salinitas maksimum tersebut tidak mengalir secara kuat ke arah timur ke arah Laut Banda. Karena di St.24 sampai 27 dan 30 nilai salinitas >34,6psu sudah tidak muncul lagi, sehingga yang disebut lapisan minimum salinitas (<34,6 psu) di lapisan dalam sudah tidak terstatifikasi lagi (Gambar 5).



Gambar 5. Distribusi tegak salinitas antara St.1 sampai 30 dari Laut Halmahera, Laut Seram dan Laut Banda.

Distribusi tegak salinitas antara St.4 sampai 28 bahwa salinitas perairan dangkal di lapisan permukaan (mixed layer depth) bagian timur Pulau Misol didapatkan salinitas (>34 psu) yaitu antara St.4 sampai St.14. Sedangkan salinitas makin ke arah selatan, salinitas makin berkurang (<34 psu). Demikian juga bahwa core salinitas ($>34,6$ psu) masih muncul didapatkan di St.15 pada

kedalaman ~ 200 m. Ini menandakan bahwa salinitas ($>34,6$ psu) masih menyebar ke arah timur, meskipun core salinitas tersebut sudah berkurang 0,3psu dari St.1. Demikian salinitas $<34,6$ psu didapatkan salinitas minimum di kedalaman laut dalam sudah tidak terstatifikasi lagi, sama seperti pada distribusi tegak salinitas antara St.1 sampai St.30 (Gambar 6).



Gambar 6. Distribusi tegak salinitas antara St.4 sampai 28 di Laut Seram sampai Laut Banda

Distribusi tegak salinitas Line 08 bahwa inti salinitas maksimum $>35,3$ psu didapatkan pada kedalaman rata-rata 110m ($\sim 100 - 175$ m) antara St.23 sampai St.27. Salinitas maksimum tersebut berada dibagian mulut Laut Halmahera antara Pulau Halmahera dan Pulau Papua, dan makin ke arah utara nilai salinitas makin berkurang. Salinitas $>35,2$ psu, posisi penyebarannya bergerak naik ke arah permukaan antara kedalaman 90m s.d 100m (St.23 sampai St.19) yang disebut masa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW). Salinitas 35,1psu didapatkan di St.27 berada antara kedalaman 90m s.d 220m dan makin ke arah utara ketebalan lapisan salinitas makin menipis (80m sampai 100m) di St.13. Salinitas 35,0psu

didapatkan di St.27 terletak antara kedalaman 90m s.d 225m. Gradasi sebaran salinitas 35,0 didapatkan makin ke arah utara ketebalan lapisan salinitas makin menipis (100m s.d 200m) atau disebut masa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW).

Inti salinitas minimum $<34,5$ psu didapatkan rata-rata pada kedalaman 360m antara St.23 sampai St.13 (5° N). Di bagian selatan antara St.27 s.d 24 inti salinitas minimum $<34,5$ psu tidak muncul lagi. Inti salinitas $<34,6$ psu didapatkan pada lapisan atas yaitu antara kedalaman ~ 520 m (St.27) dan ~ 250 m (St.25 sampai St.13), dan pada lapisan bawah rata-rata pada kedalaman ~ 1500 m (antara suhu 3°C s.d 8°C). Masa air bersalinitas rendah di lapisan bawah tersebut disebut

dengan masa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW). Selanjutnya makin kebawah didapatkan salinitas $>34,6\text{psu}$ dengan suhu $<3^{\circ}\text{C}$ s.d $<1^{\circ}\text{C}$.

Distribusi tegak salinitas Line 09 bahwa inti salinitas maksimum lebih besar $35,5\text{psu}$ didapatkan antara kedalaman 150m s.d 180m antara St.105 s.d St.103. Salinitas $>35,3\text{psu}$ didapatkan antara kedalaman 125m s.d 140m antara St.105 s.d St.92 dan salinitas $>35,0\text{psu}$ didapatkan antara kedalaman 60m s.d 300m (St.105), dan makin ke arah utara ketebalan sebaran salinitas makin menipis antara kedalaman 95m s.d 140m (St.79), makin ke arah utara lagi (St.76) nilai salinitas didapatkan makin mengecil ($>34,8\text{psu}$). Nilai salinitas $34,6\text{psu}$ didapatkan antara kedalaman 70m s.d 520m (St.105), dan makin ke arah utara ketebalan lapisan salinitas $34,6\text{psu}$ makin menipis dari kedalaman $\sim 140\text{ m}$ s.d 75m (St.76). Sedangkan inti salinitas $<35,5\text{psu}$ secara ruang baik memanjang maupun vertikal di Line 08 pada kedalaman yang sama tidak muncul lagi. Sedangkan salinitas $<34,6\text{psu}$ didapatkan antara kedalaman $\sim 500\text{m}$ s.d 1500m dan makin ke arah utara lapisannya makin menebal antara $\sim 150\text{m}$ s.d 1500m (St.76). Masa air bersalinitas demikian disebut dengan massa air *South Pacific Intermediate Water* (SPIW). Massa air SPSW dan SPIW di Selat Damper, Raja Empat sudah didapatkan oleh Hadikusumah (2009).

Penampang tegak salinitas Line 09 di utara Papua dapat disimpulkan bahwa inti salinitas ($>35,5\text{psu}$) yang paling tinggi berada di pantai utara Papua, dan makin ke arah utara (5°N), inti salinitas $>35,5\text{psu}$ makin berkurang atau menurun. Ketebalan lapisan salinitas ($>35\text{psu}$) di bagian selatan (St.105) sampai mencapai 240m dan dibagian utara (5°N) didapatkan hanya 45m (St.79). Salinitas maksimum demikian disebut dengan

massa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) dari Samudera Hindia.

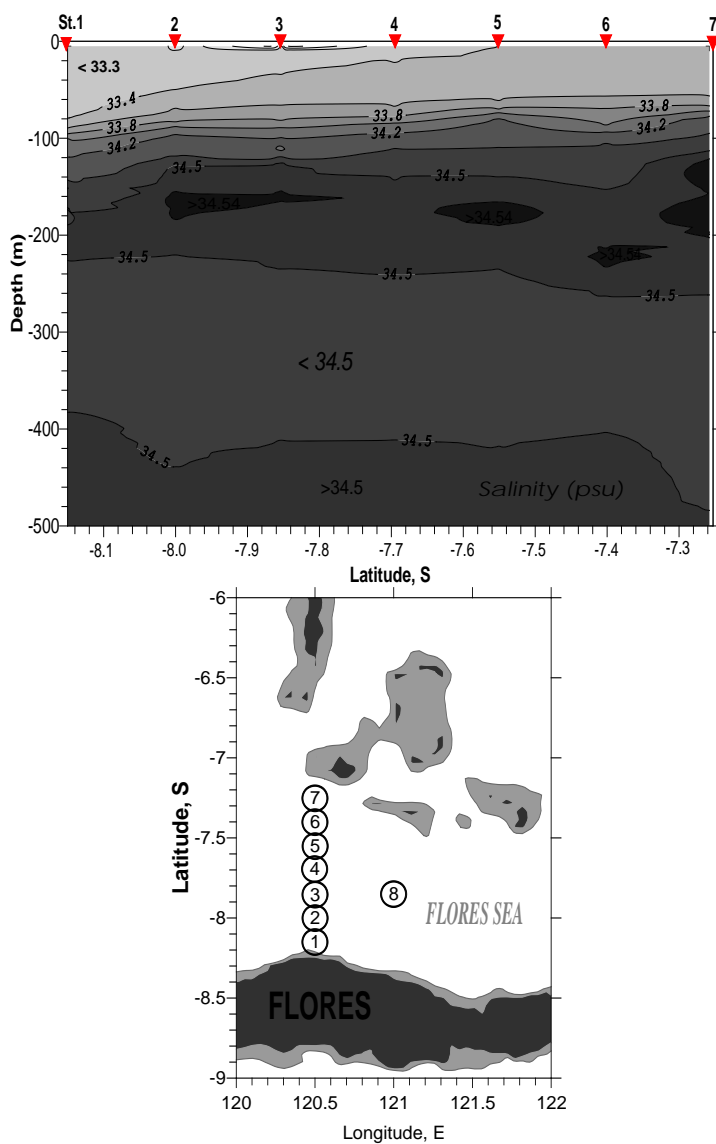
Penampang tegak salinitas di Laut Flores antara St.1 sampai St.7 dapat disimpulkan bahwa inti salinitas ($34,551\text{psu}$) adalah massa air yang sudah terencerkan oleh masa air Laut Jawa, dibandingkan dengan salinitas maksimum Selat Makassar ($34,862\text{psu}$) disebut dengan masa air *North Pacific Subtropical Water* (NPSW). Salinitas minimum ($<34,5$) pada kedalaman $\sim 400\text{m}$ yang mempunyai pola kedalaman yang sama dengan salinitas minimum laut dalam Selat Makassar disebut dengan masa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) (Gambar 7) seperti diuraikan oleh Hadikusumah (2008).

3.3. Diagram T-S

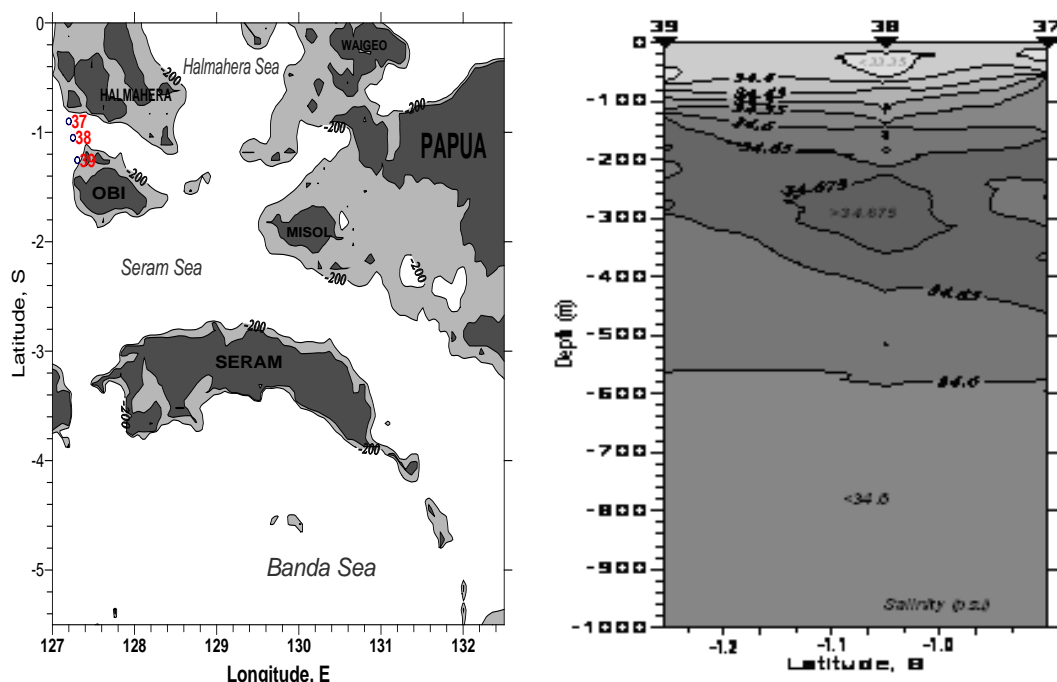
Dalam membahas TS-diagram sekaligus dibandingkan dengan data ARMIX 93 dan WOCE, didapatkan ada enam jenis masa air yaitu: (1). Jenis masa air campuran antara Laut Banda dan Laut Seram yaitu antara sigma-t <21 s.d <22 pada lapisan antara permukaan sampai kedalaman $<100\text{m}$ dengan suhu antara $29,24^{\circ}\text{C}$ s.d $28,56^{\circ}\text{C}$ dan salinitas antara $33,068\text{ psu}$ a/d $33,942\text{ psu}$ disebut masa air lokal Laut Banda dan Seram (BSW); (2). Jenis masa air campuran antara Selat Halmahera dan perairan Misol dengan sigma-t >21 s.d 23 yaitu dari permukaan s.d $<100\text{m}$, dengan suhu antara $29,26$ s.d $27,00^{\circ}\text{C}$ dan salinitas antara $33,901$ s.d $34,213\text{psu}$; (3). Jenis massa air Laut Banda antara sigma-t $25 - 26$, dengan suhu antara $17,47$ s.d $13,10^{\circ}\text{C}$ dan salinitas antara $34,512$ s.d $34,512\text{psu}$ antara kedalaman $<200\text{ m}$ s.d 400m ; (4). Jenis masa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) merupakan masa air Laut Halmahera bagian selatan, Laut Seram antara salinitas $34,987$ s.d $34,721\text{psu}$ dalam sigma-t ~ 25 s.d ~ 26 dengan suhu $16,04$ s.d $15,95^{\circ}\text{C}$ pada rata-rata

kedalaman 200m; merupakan massa air Laut Banda bagian Seram timur pada salinitas 34,663 psu dalam sigma-t ~26 dengan suhu 14,96°C (Gambar 8),

merupakan massa air yang mengalir diantara Pulau Halmahera dan Pulau Obi dan Laut Seram tengah (ARMIX 93).



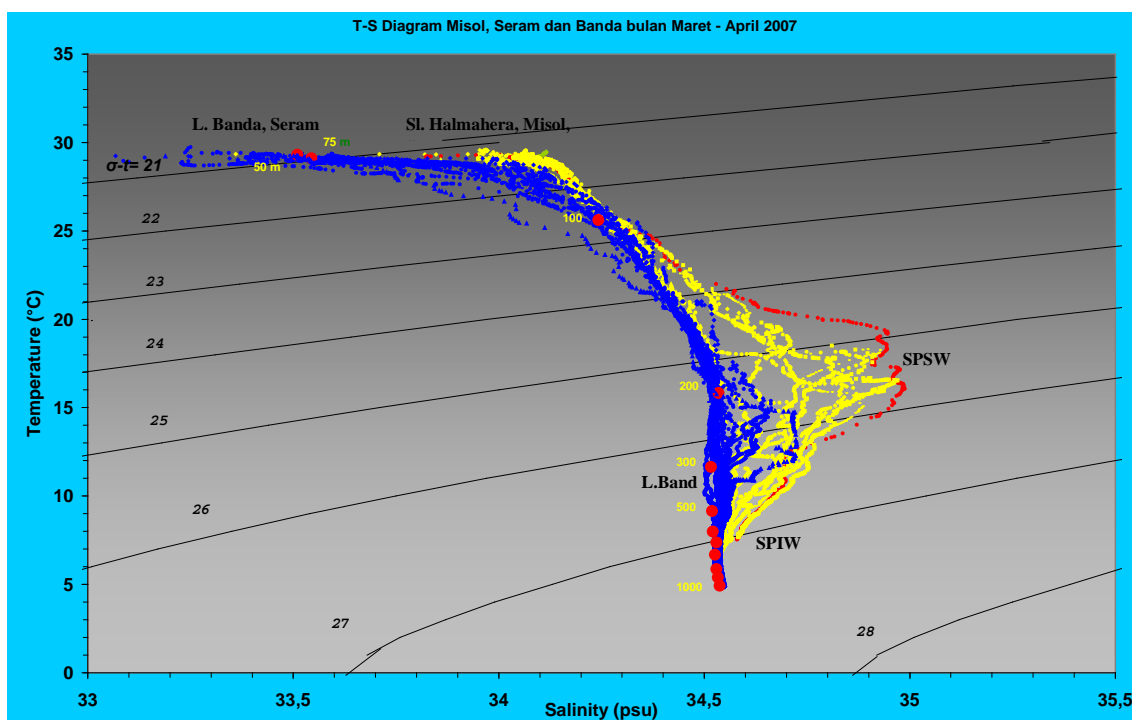
Gambar 7. Distribusi tegak salinitas di Laut Flores, bulan Mei 2005



Gambar 8. Distribusi tegak salinitas antara St.37 sampai St.39 pada program ARMIX 93

Salinitas 34,744psu s.d 34,688psu antara sigma-t ~25 s.d ~26 dengan suhu 15,15°C s.d 17,02 °C, merupakan massa air bagian utara Laut Halmahera sampai bagian utara (Line08) dengan salinitas antara 35,393 psu s.d 35,057 psu antara sigma-t ~22 - ~25 dengan suhu antara 23,54 s.d 23,71°C merupakan massa air dibagian utara Pulau Papua antara sigma-t ~22 s.d ~26 dengan suhu antara 20,61°C s.d 20,76°C dan salinitas antara 35,459psu a/d 34,813psu; (5). Jenis massa air *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) atau masa air dari Samudera Pasifik bagian selatan merupakan massa air Laut Halmahera dengan salinitas 34,538 psu dengan sigma-t ~ 27 dan suhu 6,45°C pada rata-rata kedalaman 750m, merupakan masa air antara Pulau Halmahera dan Laut

Seram bagian dibagian tengah (ARMIX 93) dengan salinitas antara 34,604 psu sampai 34,601 psu dalam sigma-t ~27 - <27,5 dan suhu 5,27 s.d 6,08°C, merupakan masa air utara Pulau Papua (Line 09) dengan salinitas antara 34,471psu s.d 34,633psu dalam sigma-t (27 s.d <72,5) antara suhu 8,27°C s.d 8,48°C pada rata-rata kedalaman 750m; (6). Jenis massa air Antarctic Intermediate Water (AAIW) untuk massa air Laut Halmahera dan Seram antara salinitas 34,167psu – 34,614 psu dalam sigma-t ~27,5 s.d <28 antara suhu 3,48°C s.d 3,28°C pada kedalaman >1500m, masa air Laut Halmahera bagian utara dan utara Pulau Papua bersalinitas antara 34,673 s.d 34,675psu dalam sigma-t ~28 antara suhu 1,57°C s.d 1,58°C pada kedalaman ~ 3200m (Gambar 9).



Gambar 9. Diagram T-S Laut Halmahera, Laut Seram (merah dan kuning) dan Laut Banda (biru) pada program EWIN 2007

Massa air bersalinitas maksimum antara 34,51psu s.d 34,981psu didapatkan pada sigma-t (24 s.d <27), dengan suhu antara 21,77 s.d 15,94°C dan kedalaman antara 150m s.d <300m. Kondisi ini sesuai dengan hasil analisa (Wyrki 1961; Fine et al., 1994) bahwa pada lapisan pycnocline (100 to 300m) ada lapisan salinitas maksimum dari South Pacific. Kondisi inipun sesuai dengan (Ffield et al., 1992) bahwa *South Pacific Central Water* (SPCW) melewati Halmahera Sea (HS) memasuki South Banda (BS) and Timor Seas (TS). Kondisi ini sesuai dengan hasil (Ilahude and Gordon 1996) bahwa air bersalinitas dari asal South Pacific telah diobservasi dibawah thermocline di Laut Seram dan bagian selatan Laut Maluku. Inti (core) salinitas 34,98 psu di St.1 makin ke arah timur sudah tidak didapatkan lagi, bahkan inti salinitas >34,6 psu hanya ditemukan di St.15 pada kedalaman 200m. Kondisi ini menggambarkan bahwa salinitas maksimum tersebut tidak mengalir secara

kuat ke arah timur ke arah Laut Banda. Karena di St.24 sampai St.27 dan St.30 nilai salinitas 34,6psu sudah tidak ditemukan lagi atau tidak muncul. Kemungkinan salinitas maksimum mengalir ke arah barat ke Selat Obi dan ke barat laut Laut Seram.

Arah transport salinitas maksimum tersebut adalah sesuai dengan (Liu, et al., 2005) bahwa air di atas South Pacific mengalir searah Halmahera eddy (HE) dan bergabung dengan arus ke arah timur dari Midanau Current (MC). Suatu jumlah yang kecil salinitas maksimum yang masuk Laut Seram dan Laut Banda dan kondisi demikian adalah sesuai dengan Ffiel et al. (2005). Hal ini pun sesuai dengan Gordon (2005) bahwa bersalinitas tinggi *South Pacific Subtropical Water* tidak menyebar kedalam lapisan thermocline di Laut Banda dari pintu gerbang Laut Halmahera. Setelah masuk perairan Indonesia bagian timur terjadi gradasi penurunan dari salinitas maksimum masa

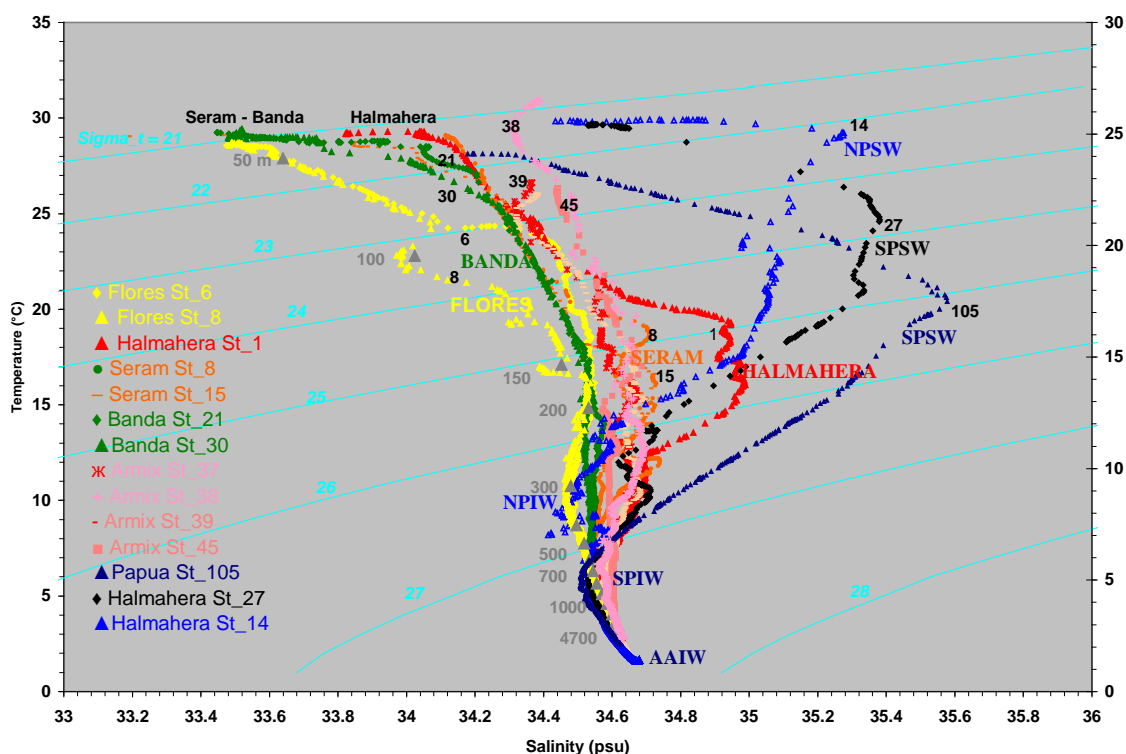
air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW) pada rata-rata kedalaman ~200m karena ada vertical mixing (Ffield, *et al.*, 2005) yaitu dimulai dari salinitas maksimum 35,459psu bagian pantai utara Pulau Papua, sampai di mulut Halmahera menjadi 35,394psu, sampai di Laut Halmahera bagian selatan menjadi 34,987psu, sampai di Halmahera bagian barat antara Pulau Halmahera dan Pulau Obi menjadi 34,744psu, sampai Laut Seram bagian tengah menjadi 34,721psu, sampai di Laut Banda menjadi 34,663 psu. Sedangkan *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) pada rata-rata kedalaman ~150m yaitu di mulai dari salinitas 35,057psu di utara Halmahera, sampai di Selat Makassar menjadi 34,863psu, sampai di Laut Flores menjadi 34,567psu dan sampai di Selat Lombok menjadi 34,555psu.

Sebaliknya salinitas minimum massa air *North Pacific Intermediate Water* (NPIW) justru ada kenaikan setelah bercampur dengan massa air laut dalam perairan Indonesia, dimulai dari Laut Hamahera bagian utara salinitas minimum pada rata-rata kedalaman ~400m yaitu salinitas 34,395psu, sampai di Selat Makassar menjadi 34,481 psu (Anonimus, 2003 and 2004), sampai di Laut Flores menjadi 34.464 psu (Anonimus, 2005) dan sampai di Selat Lombok menjadi 34.464 psu (Instant, 2003). Demikian untuk salinitas minimum massa air *South Pacific Intermediate Water* (SPIW) rata-rata pada kedalaman ~750m, dimulai dari pantai utara Pulau Papua yaitu salinitas 34.537psu, sampai di mulut Laut Halmahera salinitas menjadi 34.534 psu dan Halmahera bagian selatan 34.538 psu, sampai di Selat Obi menjadi 34.604 psu dan Seram 34.535 psu, sampai di

Laut Banda Seram bagian timur menjadi 34.547 psu.

Penurunan salinitas maksimum masa air NPSW pada kedalaman ~120m s.d 160m yaitu dimulai dari pantai utara Pulau Papua yang bersalinitas 35.576 psu dan sampai di mulut Halmahera menjadi 35.394 psu. Selajutnya salinitas masimum tersebut masuk ke perairan Indonesia bagian timur di Laut Halmahera bagian selatan menjadi 34.987 psu, sampai di Halmahera bagian barat antara Pulau Halmahera dan Pulau Obi menjadi 34.744 psu, sampai Laut Seram bagian tengah menjadi 34.721 psu, sampai di Laut Banda menjadi 34.663 psu. Sedangkan salinitas maksimum masa air NPSW pada rata-rata kedalaman ~150 m yaitu di mulai dari salinitas maksimum 35.057 psu di utara Halmahera, sampai di Selat Makassar menjadi 34.863 psu, sampai di Laut Flores menjadi 34.567 psu dan sampai di Selat Lombok menjadi 34.555 psu.

Sebaliknya salinitas minimum massa air NPIW justru didapatkan kenaikan setelah bercampur dengan massa air laut dalam perairan Indonesia, dimulai dari Laut Hamahera bagian utara salinitas minimum pada rata-rata kedalaman ~400m yaitu salinitas 34,395psu, sampai di Selat Makassar menjadi 34,481psu, sampai di Laut Flores menjadi 34.464psu dan sampai di Selat Lombok menjadi 34,464psu. Demikian untuk salinitas minimum massa air SPIW rata-rata pada kedalaman ~750m, dimulai dari pantai utara Pulau Papua (34,537psu), sampai di mulut Laut Halmahera salinitas menjadi 34,534psu dan Halmahera bagian selatan 34,538psu, sampai di Selat Obi menjadi 34,604psu dan Seram 34,535 psu, sampai di Laut Banda Seram bagian timur menjadi 34,547psu (Gambar 10).



Gambar 10. Diagram T-S bagian selatan Laut Halmahera, Laut Seram dan Laut Banda (2007), Laut Floras (2005), Selat Obi (ARMIX 1993). Bagian utara Pulau Halmahera dan Pulau Papua pada Expedisi WOCE

IV. KESIMPULAN

Arus bagian permukaan dan bagian dalam lebih dominan bergerak ke arah selatan sampai barat daya, ini menggambarkan bahwa arus tersebut adalah arus ARLINDO yaitu dari massa air Samudera Pasifik bagian selatan melalui Laut Halmahera.

Kedalaman lapisan permukaan perairan Halmahera, Seram dan Banda didapatkan berkisar antara 18m s.d 74m. Kedalaman lapisan batas atas termoklin berkisar antara 25m s.d 96m dengan rata-rata 70m, sedangkan kedalaman termoklin batas bawah berkisar antara 75m - 267m dengan rata-rata kedalaman 180m.

Suhu di lapisan permukaan (*mixed layer*) di Laut Halmahera didapatkan lebih tinggi dibandingkan suhu Laut Seram dan Laut Banda, demikian pula di lapisan termoklin pada kedalaman antara

225m – 385m. Pada kedalaman antara 545m s.d 612m didapatkan mempunyai nilai salinitas maksimum. Perairan yang diobservasi ternyata didapatkan ada dua massa air yang berbeda dari permukaan sampai kedalaman ~700m, yaitu masa air besalintas rendah di Laut Banda dekat dengan Seram bagian timur dan salinitas tinggi di Selat Halmahera sampai Laut Seram di bagian barat. Massa air bersalinitas maksimum (34,988psu) antara densitas <25 s.d >26 didapatkan pada kedalaman 236m terdapat pada lapisan termoklin, dan mengecil ke arah barat dan timur Laut Seram sampai Laut Banda.

Hasil analisa diagram T-S didapatkan ada enam jenis masa air yaitu massa air Selat Halmahera dan perairan Misol (HMW); massa air Laut Seram dan Laut Banda (SBW); masa air Laut Banda (BW); masa air South Pacific Subtropical Water (SPSW); massa air South Pacific

Intermediate Water (SPIW); massa air Antartic Intermediate Water (AAIW).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada rekan peneliti dan awak kapal KR. Baruna Jaya VII. Penulis menyampaikan penghargaan yang tinggi yaitu kepada mereka, Prof Dr Lukman Hakim, sebagai Ketua LIPI, Dr Herry Harjono, sebagai Deputy Bidang IPK - LIPI, Dr Suharsono sebagai Ketua Pusat Penelitian Oseanografi - LIPI untuk saran dan dukungan kebijakan penerapan program. Terima kasih dan penghargaan kepada Fredy Letemia sebagai Koordinator Program EWIN di Ambon.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 2003. Laporan akhir studi dinamika Selat Makassar serta interaksinya dengan daratan PULAU Kalimantan dan PULAU Sulawesi. Program kompetitif Kalimantan Timur dan Bangka – Belitung – LIPI. 105 hal.
- Anonimus. 2004. Laporan akhir studi dinamika Selat Makassar serta interaksinya dengan daratan PULAU Kalimantan dan PULAU Sulawesi. Program kompetitif Kalimantan Timur dan Bangka – Belitung - LIPI. 146 hal.
- Anonimus. 2005. Laporan akhir Penelitian Arlindo dan Efeknya pada Stratifikasi Massa Air Laut Flores dan Sekitarnya. P2O - LIPI. 36 hal.
- Birowo. 1990. Introduced the scientific knowledge of circulation in Indonesia Seas. *In*. Intergovernmental Oceanographic Commission Workshop Report No. 72.
- Ffield, A. 1994. Tidal mixing in Indonesian Seas. Paper presented at International Scientific Symp. of the IOC-WESTPAC, Intergov. Oceanogr. Comm. Bali. Indonesia.
- Ffield, A. and A.L. Gordon, 1992. Vertical mixing in the Indonesian thermocline, *J. Phys. Oceanogr.*, 22:184-195.
- Ffield, A. and R. Robertson. 2005. Indonesian seas fine structure variability. *Oceanography*, 18(4):108–111.
- Fine, R.A., R. Lukas, F.Bingham, M. Warner, and R. Gammon. The western equatorial Pacific: A water masses crossroads, *J. Geophys. Res.*, 99:25,063-25,080
- Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and their trough flow. *Oceanography*, 18(4):14–27.
- Hadikusumah. 2008. Masa Air Subtropikal dan Intermediate Melalui Selat Makassar. *J. Segara*, 4(2):111-120
- Hadikusumah. 2009. The Circulation of Raja Ampat Waters – Papua with Pacific intrusion to the East Indonesian Waters. *Jurnal Ichthyos*, 8(1):27-34.
- Ilahude, A.G. and A.L. Gordon. 1996. Thermocline Stratification Within the Indonesian seas. *Journal of Geophysical Research*, 101(C5):12,401–12,409.
- Liu Hailong, Li Wei, Yu Yongqiang, and Zhang Xuehong. 2005: Climatology and variability of the Indonesian throughflow in an Eddy-permitting Oceanic GCM, *Adv. Atmos. Sci.*, 22(4):496-508.
- Tomczak, M. and J. S. Godfrey. 1994. Regional Oceanography: An Introduction. Pergamon.
- Wyrtki, K. 1956. The subtropical lower water between the Philippines and New Guinea. *Mar. Res. Indonesia*, 1:21-45.

- Wyrski, K. 1961. Physical oceanography of the Southeast Asian Waters. Scientific results of Marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961. The University of California, Scripps Institution of Oceanography La Jolla, California: 195 pp.
- Wyrski, K. 1962. Physical oceanography of the Southeast Asian waters, Naga Report, Vol.2. Scripps Institution of Oceanography, California: 195 pp.
- Yuji, K., M., Aoyama, T., Kawano, N., Hendiarti, Syaefudin, Y., Anantasena, K. Muneyama, and H., Watanabe. 1996. The water masses between Mindanao and New Guinea. *J. Geophys. Res.*, 101(C5):12,391-12,400.