

**KENAIKAN LAPISAN TERMOKLIN AKIBAT TSUNAMI 2004
DI PERAIRAN NANGRO ACEH DARUSSALAM**

***INCREASE OF THE THERMOCLINE LAYER DUE TO TSUNAMI 2004 IN
NANGRO ACEH DARUSSALAM WATERS***

Hadikusumah¹⁾ dan J. D. Lekalet¹⁾

¹⁾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 dan aniss_dl@yahoo.com

ABSTRACT

Research of physical oceanographic conditions post-tsunami was carried out and subsequently compared with the pre-tsunami 1998. Measurement of suhu, salinity and light transmission was conducted by CTDSBE911pls Model. Results showed that the flow in the Straits of Malacca flowed into the northwest and turned back into the Strait of Bengal and the next rotation into the flow of waters along the west coast of Nangro Aceh Darussalam (NAD). The mainstream off coast NAD in the Indian Ocean flowed to the northwest. Upper thermocline layer (17 m to 50 m) moved upward in 2005 and 2006 compared with previous data 1998 (90 m to 125 m). The moving upward thermocline in 2006 was allegedly due to the influence of Indian Ocean Dipole (IOD) positive. This requires further verification through long-term data collection to determine the monthly and annual variations, which will be compared with previous research. Light transmission (Tx) in 2005 from the surface to near the bottom (water column) was found lower than the year 1998 and 2006. This result was allegedly caused by resuspension from the seabed by energy turbulent produced by the tsunami. Heat content between 5 to 65 m depth in 2005 was higher than in 1998 and 2006. The higher heat content during the year of 2005 (post tsunami) was caused by friction due to the influence of tsunami energy, which predominantly found in the mixed layer depth. Type of water masses in the study area was a mixing between the local water mass, Malacca Strait Water (MSA), Bay of Bengal Water (BBW) under the influence of Arab Waters (AW), and the Indian Deep Water (IDW).

Keywords: *current, thermocline, heat content, watermass type, and Nangro Aceh Darussalam*

ABSTRAK

Penelitian kondisi oseanografi fisika paska tsunami telah dilakukan dan selanjutnya dibandingkan dengan pra-tsunami. Pengukuran suhu, salinitas dan kecerahan menggunakan CTD Model SBE911pls. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus di Selat Malaka mengalir ke arah barat laut dan berubah kembali masuk Selat Benggala dan selanjutnya berputar menjadi arus di sepanjang pantai barat perairan Nangro Aceh Darussalam (NAD). Arus utama di lepas pantai NAD di Samudera Hindia mengalir ke arah barat laut. Lapisan termoklin bagian atas pada tahun 2005 dan 2006 didapatkan antara 17 m s.d. 50 m dibandingkan dengan data sebelumnya tahun 1998 sebesar 90 m s.d. 125 m atau telah naik ke arah permukaan. Kenaikan lapisan atas termoklin tahun 2006 diduga akibat pengaruh Indian Ocean Dipole (IOD) positif. Ini membutuhkan verifikasi lebih lanjut melalui pengumpulan data jangka panjang untuk menentukan variasi bulanan dan tahunan yang akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Kecerahan (Tx) tahun 2005 dari bagian permukaan sampai dekat dasar (kolom air) didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2006. Hal ini diduga bahwa Tx dalam kolom air dari permukaan sampai dekat dasar tersebut telah mengalami resuspensi dari dasar laut, karena turbulen oleh kekuatan energi tsunami. Kandungan panas antara 5 s.d 65 m tahun 2005 didapatkan lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2006. Kandungan panas tahun 2005 membuktikan bahwa paska tsunami telah mengalami gesekan karena pengaruh energi tsunami yang dominan didapatkan dikedalaman lapisan tercampur. Jenis massa air di daerah penelitian merupakan pencampuran antara massa air lokal, Malaka Strait Water (MSA), Benggala Bay Water (BBW) akibat pengaruh Arab Waters (AW), dan India Deep Water (IDW).

Kata kunci: arus, termoklin, kandungan panas, jenis massa air, dan Nangro Aceh Darussalam

I. PENDAHULUAN

Pola aktivitas tektonik Sumatera hasil subduksi miring lempeng Hindia di bawah lempeng Eurasia sekitar 50-70 mm per tahun (Prawirodirdjo, 2000). Lempeng subduksi telah membentuk zona subduksi di sepanjang lepas pantai barat kepulauan Mentawai, menabrak menyelinap sesar di daratan Sumatera yaitu sesaran Great Sumatera dan Mentawai sepanjang dan sejajar dengan cekungan busur Sumatera (Diament *et al.*, 1991). Partisi konvergen miring telah dibagi menjadi dua vektor menusuk (*slip*): (1) slip tegak lurus dengan sumbu parit Sumatera diakomodasi oleh zona subduksi Sumatera dan (2) slip paralel dengan itu dimanifestasikan oleh sesar Sumatera (McCaffrey, 1991). Zona subduksi Sumatera (SSZ) aktivitas ditandai dengan intensitas tinggi dan gempa besar. Puluhan gempa bumi besar telah pecah antar muka subduksi.

Gempa bumi raksasa telah tercatat di daerah ini sejak 1600 (Pulau Siberut), yaitu pada 1797 di Pulau Sipora-Pagai (8,4 Mw), pada tahun 1833 di Sipora - Pagai Pulau (8,5 - 9 Mw), di Sipora-Pagai dan Nias pada tahun 1861 (8,5 Mw) (Natawidjaja *et al.*, 2004). Sebagian besar gempa bumi besar di Sumatera Barat menghasilkan tsunami. Tsunami membanjiri Padang pada 1797 setelah gempa bumi dan juga membanjiri bagian selatan Sumatera Barat termasuk Padang dan Bengkulu pada tahun 1833 setelah gempa bumi (Newcomb & Mc Cann, 1987). Gempa bumi besar baru-baru ini terjadi di dekat Nias Barat Selatan pada tahun 1935 (7,7 Mw), dekat dengan Pulau Enggano tahun 2003, Bengkulu tahun 2000 (7,9 Mw) dan dekat Pulau Simeulue tahun 2002 (7,6 Mw) (Natawidjaja, *et al.*, 2004). Sebuah gempa besar (8,9 Mw atau lebih) terjadi pada bulan Desember 2004 diklasifikasikan sebagai gempa raksasa di

dunia pecah antar muka subduksi di bawah Pulau Simeulue.

Gempa ini diikuti oleh tsunami besar yang menghancurkan bagian barat Aceh dan bagian utara daerah Sumatera termasuk Banda Aceh, Meulaboh, Simeulue, dan Pulau Nias. Gempa ini disebabkan oleh gerakan mendadak celah aktif. Aceh bagian barat telah mereda sebagian tetap sekitar 0,5-1 m setelah gempa. Pulau Simeulue dan Nias terletak di bagian depan subduksi itu mengangkat sebagian sekitar 1-1,5 m (Natawidjaja *et al.*, 2004). Gempa bumi dan tsunami di Indonesia telah menimbulkan dampak negatif yang parah pada sumber daya laut dan pesisir dan habitat perikanan. Kerusakan habitat perikanan seperti terumbu karang, mangrove, ekosistem muara, dll menyebabkan penurunan sumber daya alam seperti stok ikan dilaporkan oleh negara-negara yang terkena dampak tsunami. Di beberapa daerah sangat dipengaruhi, citra satelit menunjukkan lebih dari 45 % dari terumbu karang rusak, dan banyak sampah dicuci ke laut menyebabkan kerusakan terumbu karang. Selain itu gempa bumi menciptakan deformasi struktur dasar laut.

Untuk menilai dampak gempa bumi dan tsunami pada sumber daya hayati dan habitatnya Nangroe Aceh Darussalam (NAD) dan bagian barat Sumatera, survei telah dilakukan sejak tahun 2005 yaitu mengumpulkan data oseanografi, geologi, biologi dan perikanan. Data referensi yang kurang karena data sebelum tsunami terjadi tidak tersedia. Data referensi hanya tersedia adalah data sumber daya ikan laut dari utara dan bagian barat Sumatera yang dikumpulkan oleh survey Nansen yang dilakukan oleh Institute of Marine Research (IMR), Norwegia pada bulan Agustus 1980. Berdasarkan kesimpulan dari hasil Pasca Tsunami Ekspedisi I bahwa tidak ada

indikasi yang jelas tentang dampak tsunami pada massa air, makrobentos (organisme mendiami dasar laut seperti crawling, boring and building tube) dan ikan pelagis. Dampak tsunami pada sedimen dan perikanan demersal menunjukkan indikasi sedikit jelas, karena ketebalan sedimen kasar di daerah dangkal dan menurunnya angka total penangkapan 3 kali lebih rendah masing-masing dari 1980-2005.

Tsunami disebabkan oleh gempa bumi yang mengganggu air di atasnya, menyebabkan muka gelombang menjalar keluar dengan kecepatan tinggi. Tsunami tidak dapat diprediksikan dan dapat menyebabkan kerusakan besar. Kedalaman termoklin didefinisikan kedalaman di kolom air dimana perubahan temperatur yang paling cepat. Kedalaman termoklin memiliki konsekuensi penting untuk biologi dan kimia. Gelombang internal (*internal wave*) merupakan fenomena menarik yang tidak dapat diamati dari atas. Internal wave menyebar di sepanjang lapisan termoklin, pembatas antara massa air permukaan berdensitas lebih rendah dibandingkan dengan dibawahnya. Mereka dapat menyebabkan gelombang bawah laut yang cukup besar.

Termoklin di pantai tenggara disajikan miring ke bawah ke arah utara. Sebuah lapisan tercampur berkedalaman (>50 m) yang berhubungan dengan salinitas rendah (<34 psu) dan air yang relatif lebih dingin adalah terlihat di wilayah Teluk Mannar dan sepanjang pantai timur India. Massa air bersalinitas rendah yang diamati ternyata dari Teluk Benggala, didorong di sepanjang pantai ke Laut Arab oleh arus utara khatulistiwa antara khatulistiwa dan 10°N, dan arus pesisir pantai India mengalir ke arah selatan. Sebuah lidah (*flume*) salinitas tertinggi (>36,0 psu) telah diidentifikasi sebagai massa air Laut Arab bersalinitas tinggi di sepanjang pantai barat India di

kedalaman sekitar 100m sampai dengan 10°N.

Perubahan kandungan panas diikuti perubahan serupa di kedalaman isotherm 20°C. Pengukuran kekeruhan menggunakan *light scattering sensor* menunjukkan adanya dua lapisan hamburan tinggi sekitar 40 m dan lainnya sekitar 250 m. Lapisan dangkal hamburan tinggi dikaitkan dengan konsentrasi klorofil yang tinggi, tetapi lapisan tinggi hamburan lebih dalam tercatat di stasiun perairan dangkal dari pantai barat dan timur India mungkin karena *resuspension* dari sedimen dasar laut akibat turbulensi yang dihasilkan oleh tsunami. Distribusi tegak suhu, salinitas, sigma-t, LSS (*light scattering sensor*), *transmissometer* dan *fluorometer* ialah dipersiapkan untuk menguji kondisi oseanografi pasca-tsunami di dibagian selatan Laut Arab dan Teluk Benggala. Dengan menggunakan data hidrografi kita mengukur perubahan termohalin dengan membandingkan profil suhu dan salinitas (selanjutnya disebut sebagai data pasca tsunami) dengan profil sampel selama tahun-tahun sebelumnya (selanjutnya disebut sebagai data pra-tsunami) seperti dijelaskan oleh (Alvarinho *et al.*, 2007). Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan kondisi massa air parameter fisika sebelum dan sesudah paska tsunami bulan Desember 2004 diperairan Nangro Aceh Darusalam (NAD).

II. METODE PENELITIAN

Penelitian oseanografi fisika telah dilakukan dimulai dari Selat Malaka sampai Samudera Hindia di bagian barat Provisi Nangro Aceh Darusalam (NAD) pada akhir musim tenggara dan awal musim peralihan kedua (Agustus-September 2006) atau pada MT. Jumlah stasiun oseanografi sebanyak 29 stasiun

(Tabel 1) dan (Gambar 1). Pengukuran parameter meteorologi laut terdiri dari kecepatan dan arah angin, suhu udara, kelembaban relatif, dan tekanan udara dengan menggunakan Meteorologi Kit System Aanderaa. Pengukuran suhu, salinitas, kecerahan, kekeruhan, klorofil-a dan oksigen sekaligus direkam, dengan menggunakan CTD Model SBE911pls. Kondisi parameter fisika tahun tersebut akan dibandingkan dengan tahun 1998 (10 – 11 Oktober untuk St. 14 s.d. 16)

ialah jatuh pada musim peralihan dua (MPD) dan tahun 2005 (1 s.d. 10 Agustus) ialah jatuh pada musim timur (MT). Menganalisis parameter fisika dalam variasi spasial dan temporal akan dilakukan dengan menggunakan software Surfer dan manajemen data menggunakan program microsoft Excel. Perbandingan dengan hasil penelitian sebelum dan sesudah tsunami akan dibahas.

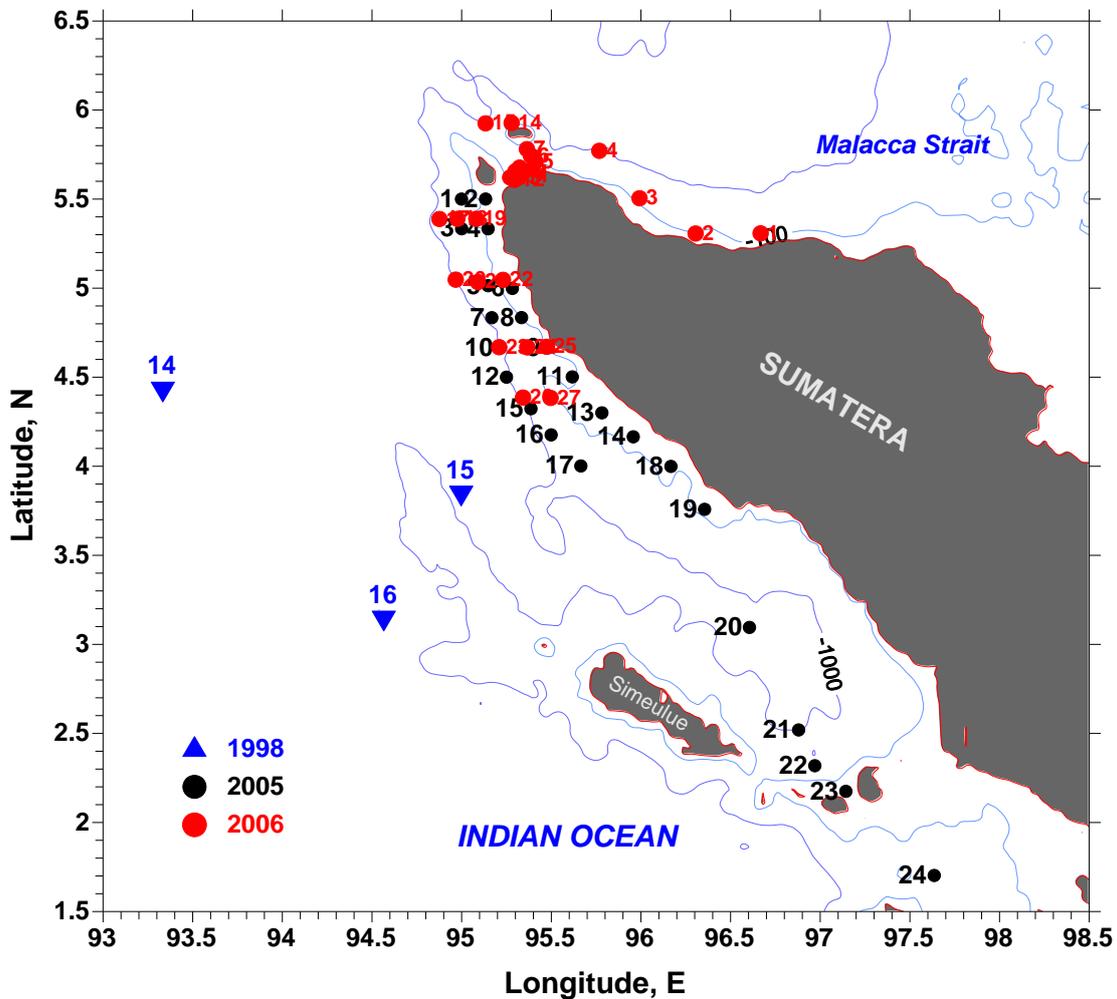
Table 1. Posisi stasiun CTD pada paska tsunami dalam program penelitian fase ke II, Agustus – September 2006 di perairan NAD

Stasiun	Tanggal	Waktu WIB	Bujur Timur, BT	Lintang Utara, LU	Kedalaman, m
st01	31-Aug	13:05	96.667367	5.3075667	-454
st02	31-Aug	23:42	96.304617	5.3066	-74
st03	1-Sep	4:20	95.992167	5.5047167	-444
st04	1-Sep	8:55	95.767833	5.771	-1135.4
st05	1-Sep	14:35	95.410733	5.7108	-219
st06	1-Sep	17:55	95.38615	5.74385	-544.7
st07	1-Sep	20:42	95.363967	5.78045	-171.1
st09	2-Sep	0:35	95.323183	5.6767333	-213
st08	2-Sep	2:57	95.34795	5.65775	-40.6
st11	2-Sep	4:35	95.32235	5.6325667	-45.4
st10	2-Sep	6:06	95.299483	5.6556167	-112.4
st13	2-Sep	8:05	95.270517	5.6214	-268.2
st12	2-Sep	9:55	95.294033	5.6083167	-38.6
st19	2-Sep	23:55	95.081967	5.38935	-54.7
st18	3-Sep	2:40	94.975717	5.3890667	-376
st17	3-Sep	6:07	94.876017	5.3881667	-722
st20	3-Sep	12:00	94.967033	5.0476667	-724
st21	3-Sep	16:15	95.090717	5.0341333	-306.2
st22	3-Sep	19:27	95.2306	5.0465667	-45.5
st15	5-Sep	1:57	95.133333	5.9252	-925
st14	5-Sep	9:20	95.278567	5.9274	-231
st23	8-Sep	3:05	95.209	4.6684667	-830
st24	8-Sep	9:44	95.365983	4.6674667	-59.6
st25	8-Sep	11:30	95.473683	4.6706	-26.5
st26	8-Sep	14:30	95.342333	4.3855667	-683
st27	8-Sep	18:40	95.495983	4.3835667	-72.8
Stmb	9-Sep	8:45	96.574267	2.5742667	-250
st28	10-Sep	3:30	96.541167	2.5411667	-391
st30	10-Sep	6:00	96.4887	2.4887	-482

Berdasarkan metode yang dipakai Anilkumar *et al.* (2006) bahwa kandungan panas (*heat content*) dapat dipergunakan sebagai pembuktian adanya perbedaan kandungan panas sebelum dan sesudah tsunami terjadi. Kandungan panas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$H = \rho C_p \left[\int_0^z \bar{T} dz \right]$$

di mana H adalah kandungan panas (Jm^{-2}), ρ densitas air laut (kgm^{-3}) dan C_p panas jenis pada tekanan konstan ($J kg^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$). ρC_p diasumsikan konstan ($0,409 \times 10^7 Jm^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$) dan \bar{T} adalah suhu pada kedalaman rata-rata seperti dijelaskan oleh Anilkumar *et al.* (2006). Namun dalam penelitian ini nilai C_p (*heat capacity*) dihitung langsung per meter menggunakan petunjuk UNESCO 1983 dan perubahan $\sum_{65}^5 H$ akan dilihat berdasarkan nilai H per 5 meter.



Gambar 1. Peta dan stasiun oseanografi di Perairan Nangro Aceh Darussalam 1998, 2005, dan 2006

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Angin, Gelombang dan Sirkulasi Arus di bagian permukaan

Kondisi muka laut (*sea state conditions*) saat penelitian bulan Agustus s.d. September 2006 didapatkan berkondisi beriak (*smoothwavelet*) dengan tinggi gelombang antara 0,1 s.d. 0,5 m; gelombang berbusa (*slight*) dengan tinggi gelombang antara 0,5 s.d. 1,25 m; dan gelombang *moderate* (1,25 s.d. 3,5 m) yang dibarengi gelombang alun (*swell*). Arah gelombang didominasi datang dari arah barat daya (240 s.d. 250°). Kondisi arus permukaan di bagian utara NAD, ujung barat laut Selat Malaka didapatkan arus menuju ke arah barat daya. Arus di bagian barat laut Selat Malaka bergerak mengalir ke arah barat daya, sesuai dengan yang digambarkan Wyrky (1961). Arus di bagian dekat pantai NAD didapatkan menuju ke arah barat daya dan di lepas pantai arus menuju ke arah barat laut. Menurut Ramage *et al.* (1972) arah angin bulan Agustus-September di Sumatera bagian barat ialah datang dari tenggara sampai barat daya, dan ini sesuai dengan hasil penelitian ini.

3.2. Suhu

Kondisi suhu di bagian permukaan di perairan dangkal (<60 m) pantai utara dan barat perairan NAD didapatkan terendah sebesar 28,33 °C (St.14) dan suhu tertinggi sebesar 29,83 °C (St.2). Kondisi suhu tertinggi adalah normal, karena dekat dengan muara Sungai Peusangan (Kabupaten Bireuen). Bahwa suhu tertinggi didapatkan di muara adalah akibat pengaruh dari daratan dan ini serupa dengan perairan Teluk Jakarta (Hadikusumah, 2008). Rata-rata suhu sebesar 29,1 °C dengan simpangan baku (SB) sebesar 0,455 °C. Suhu di kedalaman 25 m, yang sebagian besar adalah pada kedalaman tercampur,

didapatkan nilai terendah (25,94 °C) di St.19 dan nilai tertinggi (29,68°C) di St.2 dan ini sama dengan di bagian permukaan dan suhu rata-rata sebesar 28,5 °C dengan SB sebesar 0,918 °C. Suhu di kedalaman 50 m didapatkan nilai tertinggi (19,03 °C) di St.17, yang normal untuk perairan dalam lepas pantai, dan nilai maksimum 28,64 °C sementara di stasiun di dekat pantai timur NAD, nilai rata-rata suhu di Malaka Selat sebesar 24,79 °C dengan nilai SB sebesar 3,14 °C. Suhu di kedalaman 75 m didapatkan nilai terendah (16,67 °C) di St.20, hasil ini normal untuk perairan lepas pantai (dalam) dan suhu tertinggi (24,22 °C) di St.5. Nilai maksimum ini juga normal untuk perairan dekat pantai Kota Banda Aceh. Nilai rata-rata suhu 19,74 °C dengan SB sebesar 2,725 °C. Suhu pada kedalaman 100 m didapatkan nilai terendah 14,77 °C di St.15. Nilai ini adalah normal untuk perairan lepas pantai (dalam), seperti di bagian utara stasiun. Nilai suhu terendah (19,76 °C) didapatkan di St.5. Nilai ini juga normal untuk perairan dekat pantai Kota Banda Aceh dan memiliki nilai yang sama dengan yang suhu di kedalaman 75 meter. Nilai rata-ratanya didapatkan sebesar 15,75 °C dengan SB 1,604 °C (Tabel 2).

Suhu pada kedalaman 150 m didapatkan nilai terendah (12,19 °C) di St.7 dan nilai tertinggi (13,76 °C) di St.23. Kondisi ini abnormal untuk perairan lepas pantai pesisir NAD. Suhu tinggi kemungkinan dimulai dalam lapisan ini, karena pengaruh suhu massa air Laut Arab, yang juga ditandai oleh nilai salinitas tinggi. Massa air kemudian mengalir ke bagian timur laut Samudera Hindia, dan memiliki suhu rata-rata sebesar 13,03 °C dengan SB sebesar 0,517°C. Suhu di kedalaman 200 m didapatkan nilai terendah (12,19 °C) di St.7 dan nilai tertinggi (13,76 °C) di St.21. Nilai-nilai ini tidak normal untuk

perairan lepas pantai NAD. Fakta memperkuat asumsi pengaruh massa air Laut Arab. Nilai suhu rata-rata didapatkan $13,03^{\circ}\text{C}$ dengan SB sebesar $0,517^{\circ}\text{C}$. Suhu di kedalaman 300 m didapatkan nilai terendah ($10,65^{\circ}\text{C}$) di St.6, yang menunjukkan tidak didapatkan adanya pengaruh massa air barat Samudera Hindia. Nilai tertinggi didapatkan sebesar $10,55^{\circ}\text{C}$ di St.26, adalah tidak normal untuk perairan lepas pantai perairan NAD. Nilai suhu rata-rata didapatkan sebesar $9,918^{\circ}\text{C}$ dengan nilai SB sebesar $0,0^{\circ}\text{C}$. Pembahasan khusus perubahan kedalaman termoklin antara tahun 1998, 2005 dan 2006 pada beberapa stasiun, penulis menganggap dapat dibandingkan. Secara ideal hal ini dirasakan tidak tepat, namun karena kekurangan data, barangkali cara ini bisa dicoba untuk dilakukan (Gambar 1 dan Gambar 2).

Suhu antara tanggal 1 s.d 10 September 2006 digunakan untuk mengidentifikasi kedalaman lapisan tercampur dan ketebalan lapisan termoklin. Di perairan dangkal, didapatkan kedalaman lapisan tercampur (*mixed layer depth*) terdapat antara kedalaman 3 s.d. 35m, dengan kedalaman rata-rata 15 m. Sementara di perairan lebih dalam, didapatkan antara 9 s.d. 40 m, dengan kedalaman rata-rata 24 m. Lapisan kedalaman tercampur (3 m) didapatkan di St.8 dan St.12, sedangkan kedalaman maksimum (40 m) didapatkan di St.30. Lapisan tercampur di perairan dangkal didapatkan pada 4 m sampai dasar laut. Lapisan termoklin bagian atas (BA) di perairan dalam didapatkan antara 17 s.d. 60m dan lapisan batas bawah (BB) didapatkan antara 6 s.d 237 m. Jadi, ketebalan termoklin didapatkan antara kedalaman 38 s.d 107m (Gambar 3).

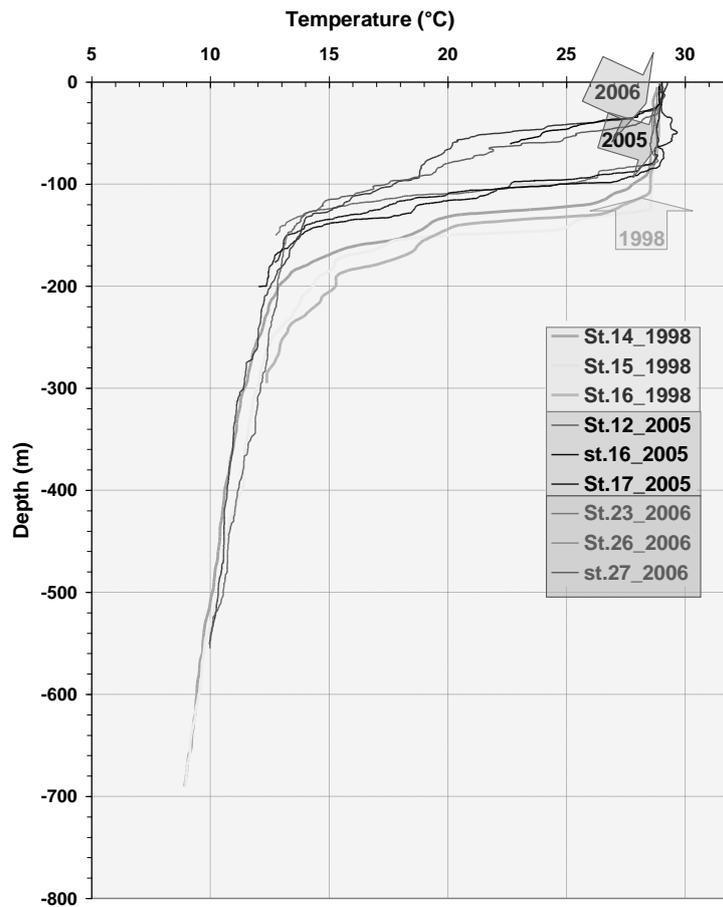
Hasil analisa profil suhu untuk St.14, 15, dan 16 (1998) bahwa kedalaman termoklin BA didapatkan lebih dalam yaitu antara 90 s.d 125 m.

Kedalaman termoklin BA St.12, 16 dan 17 (2005) didapatkan antara 78,5 m dan 84,5 m. Hasil ini menunjukkan bahwa paska tsunami kedalaman termoklin BA telah naik. Demikian kedalaman termoklin di St.23, 26 dan 27 (2006) didapatkan lebih dangkal antara 26 m dan 32 m, dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2005 (Gambar 2). Kondisi demikian menggambarkan bahwa paska tsunami (2005 dan 2006) kedalaman termoklin telah terangkat ke arah permukaan oleh energi tsunami, di mana makin ke arah darat ketinggian gelombang tersebut makin tinggi (*runup*) dan sekaligus massa air bergerak atau mengalir ke arah darat (penggenangan).

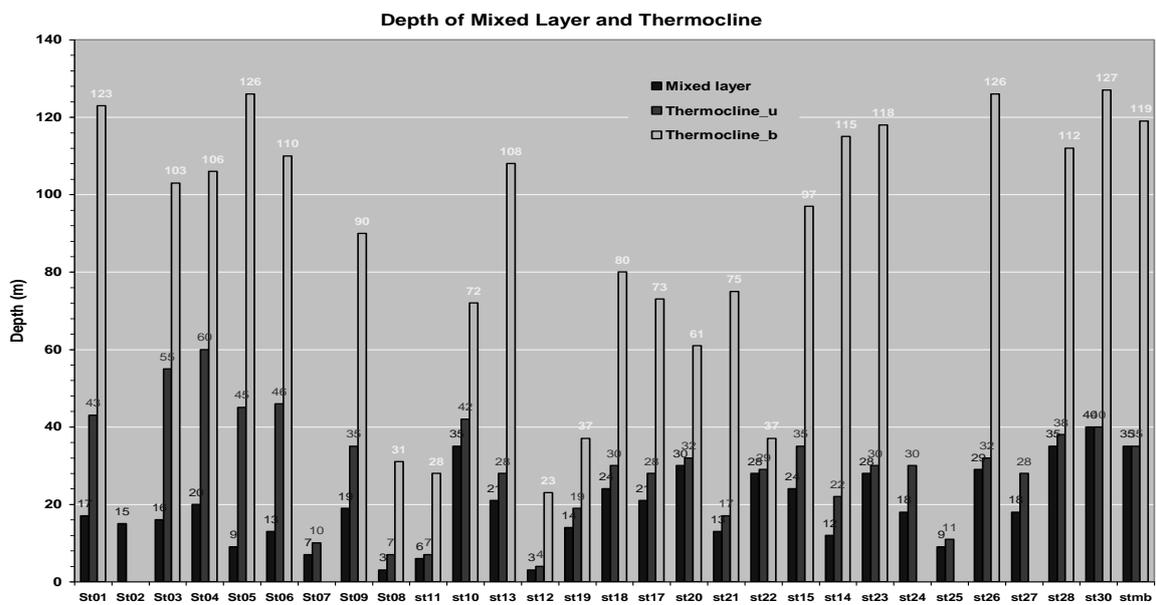
Lapisan termoklin BA naik ke arah permukaan terjadi saat upwelling, yaitu dibagian selatan pantai Pulau Jawa, Laut Banda, Selat Makasar dll. terjadi pada musim timur. Aglen *et al.* (1981) bulan Agustus (MT) di perairan Aceh mendapatkan lapisan BA termoklin antara 100 s.d. 125 m, sedangkan Hadikusumah (2002) mendapatkan BA termoklin antara 90 m s.d. 125 m (St.14, 15 dan 16). Penelitian bulan Agustus sampai September 2006 didapatkan BA termoklin lebih dangkal (17 s.d. 50 m). Jika kita perhatikan bahwa lapisan termoklin bagian atas tahun 2006 adalah sama dengan 2005, ini akibat pengaruh Indian Ocea Dipol (IOD) positif yang sedang terjadi di Samudera Hindia dan kami melihat bahwa di bagian barat Pulau Sumatera (Vinayachandran *et al.*, 2002). Hal ini dibuktikan dengan nilai kecerahan (Tx) yaitu pada tahun 2006 sudah normal ($>90\%$) dibandingkan dengan tahun 2005 dengan Tx lebih rendah ($<70\%$). Berdasarkan Susanto *et al.* (2001) bahwa dari bulan Juni s.d. November (MT) dan saat ENSO bahwa perairan pantai bagian selatan Pulau Jawa dan bagian barat pantai Pulau Sumatera terjadi upwelling. Tapi kalau kita lihat di bagian barat NAD (lokasi penelitian

Table 2. Statistik parameter suhu, salinitas, densitas (sigma-t), konduktivitas, kecepatan suara, klorofil-a, kecerahan (Tx) and turbiditas (Tr) tahun 2006 di perairan NAD

Kedalaman (m)	Statistika	T (°C)	S (psu)	Sigma-t	konduktivitas (s/m)	Kecepatan suara (m/s)	Klorofil-a (µg/l)	Tx (%)	Tr (ntu)
Permukaan	min	28.33	32.224	19.703	5.3148	1539.91	0.204	35.283	1.65
	max	29.83	33.359	21.053	5.5251	1542.75	0.781	94.934	3.42
	average	29.10	32.881	20.440	5.430	1541.55	0.372	88.363	2.23
	SB	0.455	0.3921	0.4093	0.0447	0.77907	0.144	14.349	0.34
25 m	min	25.94	32.850	20.285	5.224	1535.67	0.249	36.034	1.95
	max	29.68	33.886	22.072	5.496	1543.2	1.329	95.06	2.86
	average	28.45	33.284	20.954	5.423	1540.93	0.609	90.606	2.39
	SB	0.918	0.2587	0.4744	0.0655	1.81463	0.307	11.589	0.17
50m	min	19.03	33.415	20.994	4.6695	1519.43	0.311	34.551	1.95
	max	28.64	34.831	24.885	5.4628	1541.91	0.9	95.461	2.77
	average	24.79	34.046	22.644	5.1549	1533.37	0.569	90.508	2.04
	SB	3.314	0.5675	1.3737	0.2734	7.73005	0.153	13.338	0.9
75m	min	16.67	33.908	22.750	4.4547	1513.06	0.223	92.72	1.7
	max	24.22	35.05	25.570	5.1086	1532.6	0.413	95.681	2.44
	average	19.74	34.596	24.494	4.7166	1521.31	0.313	94.626	2.08
	SB	2.725	0.337	0.9456	0.2406	7.21785	0.06	0.9072	0.26
100m	min	14.07	34.476	24.424	4.1999	1505.33	0.179	91.721	1.47
	max	19.76	35.036	26.137	4.7054	1521.92	0.304	95.823	2.37
	average	15.75	34.905	25.722	4.3575	1510.49	0.217	95.078	1.82
	SB	1.604	0.1354	0.4443	0.1496	4.78268	0.041	1.0368	0.28
150m	min	12.19	34.95	26.208	4.0272	1500.02	0.164	95.075	1.47
	max	13.76	35.059	26.573	4.183	1505.27	0.22	95.9	1.51
	average	13.03	35.015	26.397	4.1071	1502.8	0.191	95.612	1.47
	SB	0.517	0.031	0.1072	0.0501	1.71685	0.014	0.2486	0.01
200m	min	11.92	35.007	26.482	4.0027	1499.89	0.176	87.832	1.13
	max	12.84	35.073	26.624	4.0971	1503.07	0.202	95.926	1.47
	average	12.21	35.04	26.579	4.0331	1500.93	0.188	95.089	1.44
	SB	0.263	0.0215	0.0401	0.0271	0.90852	0.008	2.1863	0.09
250m	min	11.37	35.024	26.557	3.9541	1498.87	0.167	38.205	1.27
	max	12.45	35.072	26.743	4.0621	1502.61	0.204	95.971	1.47
	average	11.67	35.048	26.688	3.9845	1499.93	0.182	90.912	1.43
	SB	0.333	0.0149	0.0572	0.033	1.15174	0.011	16.599	0.07
300m	min	10.65	35.027	26.621	3.8872	1497.2	0.162	38.953	1.15
	max	12.12	35.07	26.86	4.0316	1502.3	0.191	96.003	1.47
	average	11.24	35.046	26.767	3.945	1499.25	0.179	90.041	1.36
	SB	0.384	0.0137	0.0628	0.0379	1.3407	0.009	17.952	0.11
400m	min	9.915	35.017	26.785	3.8207	1496.22	0.16	42.503	1.12
	max	11.16	35.049	26.98	3.942	1500.64	0.183	96.02	1.47
	average	10.43	35.033	26.902	3.8715	1498.07	0.173	89.043	1.29
	SB	0.409	0.0112	0.0647	0.0399	1.46178	0.008	18.806	0.13
500m	min	9.113	35.002	26.885	3.7479	1494.92	0.159	95.313	1.02
	max	10.55	35.036	27.102	3.8867	1500.14	0.17	96.081	1.64
	average	9.918	35.024	26.984	3.8261	1497.87	0.165	95.792	1.21
	SB	0.459	0.0116	0.0697	0.0444	1.67196	0.005	0.2763	0.22



Gambar 2. Profil suhu tahun 1998, 2005 dan 2006



Gambar 3. Kedalaman lapisan tercampur (*mixed layer depth*) dan lapisan termoklin batas atas (BA) dan batas bawah (BB) bulan Agustus – September 2006 di perairan NAD

didapatkan tidak dipengaruhi oleh upwelling saat MT dan ENSO.

Distribusi tegak suhu antara stasiun St.1 s.d. 5 didapatkan normal yang umumnya bahwa kedalaman lapisan tercampur sebesar ~40 m, dan kedalaman termoklin di batas bawah sebesar 120 m (15 °C). Distribusi tegak suhu antara stasiun St.15 s.d. 26 di bagian lepas pantai didapatkan pelapisan (*stratification*) suhu normal. Suhu terendah (<8 °C) didapatkan di St.15 di bagian utara perairan NAD. Distribusi tegak suhu antara St.17 s.d 19 didapatkan normal. Distribusi tegak suhu antara St.20 s.d St.22 didapatkan mempunyai kondisi normal. Di perairan Simeulue bahwa suhu rata-rata dibagian permukaan yaitu tahun 2005 didapatkan lebih rendah (29°C) dibandingkan dengan tahun 2006 lebih tinggi (29,56 °C). Kedalaman lapisan tercampur tahun 2006 lebih dangkal (40 m) dibandingkan dengan tahun 2005 lebih dalam (65 m) atau mempunyai selisih 25 m.

3.3. Salinitas

Salinitas di bagian permukaan terendah (32,224 psu) didapatkan di St.2, nilai ini adalah normal, mengingat lokasi stasiun tersebut dekat pantai Kabupaten Bireuen dan akibat pengaruh Sungai Peurangan, sebaliknya salinitas tertinggi (33,359 psu) didapatkan di St.14 dekat dengan Pulau We, akibat pengaruh massa air Samudera Hindia. Nilai salinitas rata-rata didapatkan 32,881 psu, dengan SB sebesar 0,392 psu. Salinitas pada kedalaman 50m terendah (33,415 psu) didapatkan di St.4, adalah normal untuk stasiun-stasiun berlokasi di bagian barat laut Selat Malaka. Nilai tertinggi (34,831 psu) didapatkan di St.17, terletak di lepas pantai NAD di Samudera Hindia. Nilai salinitas rata-rata (34,045 psu), dengan SB sebesar 0,567 psu. Salinitas pada kedalaman 100m nilai terendah (34,476

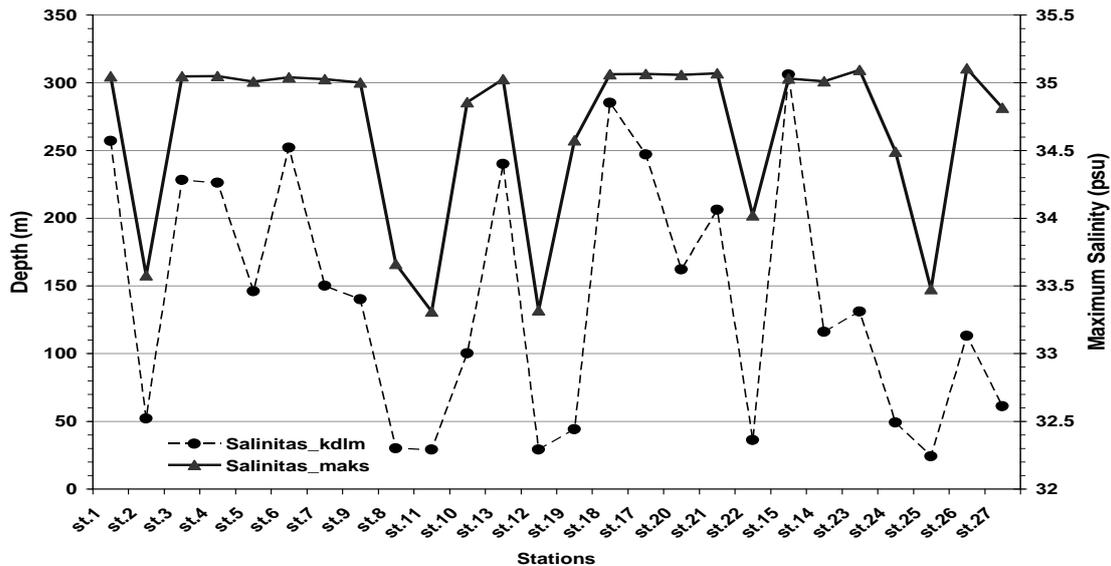
psu) didapatkan di St.5 dan stasiun tersebut dekat sekali dengan St.4. Salinitas maksimum sebesar 33,036 psu didapatkan di St.15 yang terletak di lepas pantai NAD dan dekat Pulau We serta nilai rata-rata sebesar 34.905 psu, dengan nilai SB sebesar 0.135 psu. Wyrтки *et al.* (1971) mendapatkan nilai 35psu pada kedalaman 100 m, yang berbeda dengan hasil penelitian ini. Pada kedalaman 200m, nilai salinitas minimum telah didapatkan sebesar 35,007 psu (St.14), yang normal didapatkan nilai yang sama dekat St.4.

Nilai maksimum salinitas sebesar 35.075 psu didapatkan di St.23, yang terletak di perairan lepas pantai barat NAD. Serupa dengan nilai suhu, salinitas tinggi ini disebabkan oleh pengaruh massa air Laut Arab yang mempunyai karakteristik bersuhu dan bersalinitas tinggi. Massa air yang mengalir dari Laut Arab atau massa air Teluk Persia mengalir ke bagian timur Samudera Hindia. Salinitas tinggi ini yaitu akibat massa air bergerak ke selatan mendekati Pulau Sumatera dan Pulau Jawa bagian selatan, dan menyebabkan membentuk salinitas maksimum pada lapisan yang lebih dalam. Nilai salinitas rata-rata sebesar 35.04psu, dengan nilai SB sebesar 0,021psu. Nilai ini serupa dengan hasil pengamatan Rohford (1964 dan 1966). Nilai salinitas maksimum >35 psu di perairan barat Sumatera adalah serupa dengan nilai-nilai yang diperoleh Wyrтки *et al.* (1971).

Salinitas pada kedalaman 300 m didapatkan nilai minimum 35,007 psu terletak di St.15, akibat pengaruh massa air Laut Andaman di bagian barat laut perairan Pulau We. Salinitas maksimum sebesar 35.069 psu didapatkan di St.26 merupakan stasiun yang terletak dibagian barat perairan NAD dan salinitas rata-rata sebesar 35,046 psu, dengan nilai SB 0,013psu. Salinitas minimum pada kedalaman 500m sebesar 35,002 psu

didapatkan di St.6, merupakan massa air dari bagian tengah Selat Benggala bergerak menuju Laut Andaman namun tidak terlepas dari pengaruh massa air Samudera Hindia yang mengalir ke Selat Malaka. Salinitas maksimum sebesar 35,036 psu didapatkan di St.26, yang merupakan posisi yang sama dengan nilai

salinitas maksimum pada kedalaman 300 m dan nilai rata-ratanya sebesar 35,924psu, dengan SB sebesar 0,011psu. Nilai maksimum salinitas (>35 psu) di bagian barat Sumatera bergerak ke arah bawah ke arah selatan, dan mencapai di perairan Selat Sunda sebesar 34,024 psu (Gambar 4).



Gambar 4. Salinitas maksimum dan pada kedalamannya tahun 2006 di perairan NAD

Distribusi vertikal salinitas antara St.1 s.d 5 didapatkan ada 3 lapisan yang dominan yaitu: lapisan pertama adalah lapisan permukaan bervariasi antara 32,2 s.d. 33psu, lapisan kedua adalah lapisan bervariasi antara 34 s.d. 34,5 psu, dan lapisan ketiga bervariasi antara 34,5 s.d. 35 psu. Inti salinitas maksimum didapatkan antara St.3 dan St.4 sebesar >35,05 psu pada kedalaman antara ~220 s.d. ~300 m. Lokasi St.3 dan 4 terletak di tengah Selat Malaka atau sebelah utara NAD. Salinitas maksimum tersebut diduga bergerak dari barat Samudera Hindia memasuki perairan barat laut Selat Malaka (NAD). Salinitas maksimum (35,03 psu) didapatkan antara St.5 s.d St.7 pada kedalaman 280 s.d 340m (St.6), dan salinitas tersebut mengalami penurunan ke arah utara dan selatan. Profil salinitas antara St.13 dan

26 didapatkan salinitas maksimum (>35,07psu) terletak di St.26 s.d 23 terdapat di kedalaman antara ~280 s.d 299 m. Salinitas maksimum berkurang ke arah utara (>35,02 psu) di bagian tengah kolom St.15. Salinitas lebih rendah (35 psu) didapatkan di atas kedalaman ~100 m terletak di St.26 dan pada kedalaman ~200 m (St.15). Di bawah kedalaman ~ 635 m di St.15 didapatkan salinitas menurun (<35 psu).

Distribusi vertikal salinitas antara St.15 s.d 26 didapatkan salinitas lebih rendah (<34psu) terdapat di kedalaman ~30 m, dan lebih tinggi (>35 psu) terdapat di kedalaman ~119m antara St.17 dan 18, tetapi tidak ditemukan salinitas tersebut di St.19 (perairan dangkal). Nilai salinitas maksimum (>35,05 psu) telah didapatkan antara St.17 dan 18 di kedalaman 200m s.d 320

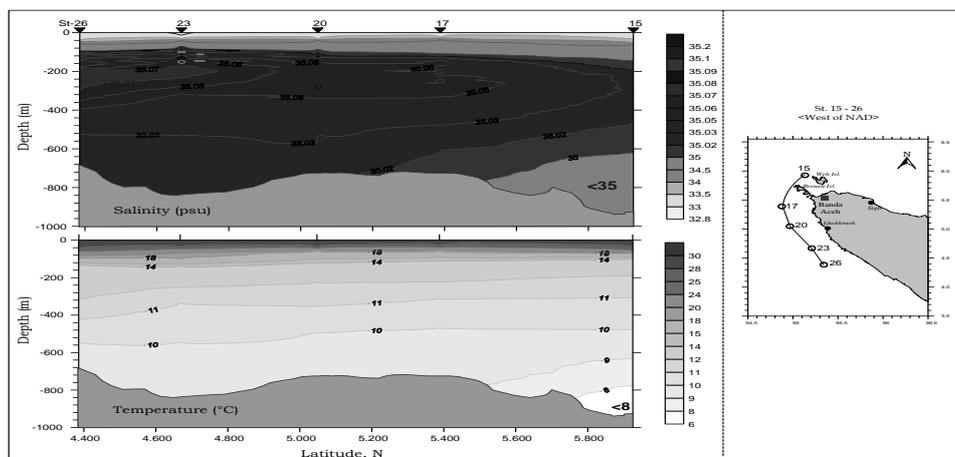
m, ke arah St.18 dan ketebalan lapisan salinitas tersebut (>35 psu) meningkat sampai bagian dasar (Gambar 5 atas). Salinitas >35 psu didapatkan pada kedalaman 70m s.d 360 m. Salinitas <35 psu di atas kedalaman 300m sudah tidak muncul lagi di St.21. Salinitas $>35,06$ psu hanya terdeteksi pada kedalaman antara ~ 190 s.d 249 m (St.21) dan bahwa massa air tersebut mirip dengan massa air di bagian utara (Gambar 5).

Distribusi vertikal salinitas antara St.23 s.d 25 sebesar <34 psu didapatkan pada kedalaman ~ 40 m, dan salinitas >35 psu didapatkan pada kedalaman ~ 60 m (St.23). Namun salinitas tersebut sudah tidak muncul lagi di St.24 dan 25, karena kedua stasiun tersebut terletak di perairan dangkal. Nilai salinitas maksimum ($>35,02$ psu) didapatkan pada kedalaman <80 m (St.23), yang selanjutnya meningkat ke arah dekat dasar.

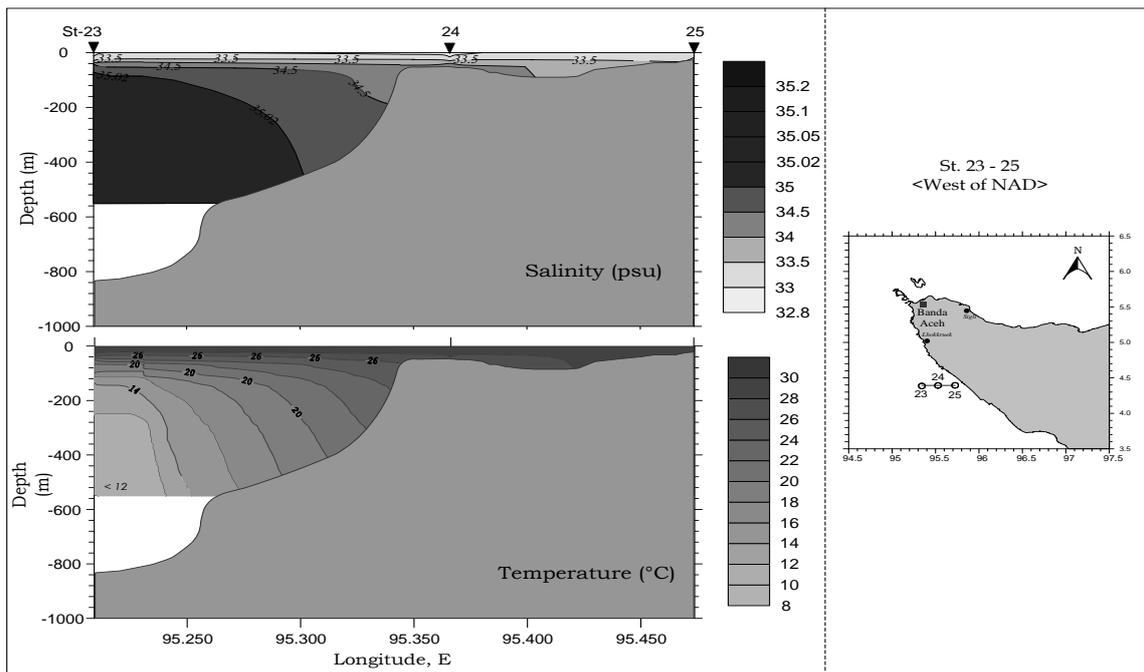
Berdasarkan metode yang diterapkan oleh Fuji *et al.* (1996) dan Ilahude *et al.* (1996) dengan menggunakan penampang tegak salinitas sepanjang garis antara St.15 dan 26 dengan densitas (σ_t) sebagai ordinat. Hasil analisis bahwa salinitas maksimum didapatkan cenderung menurun ke arah utara. Inti

salinitas maksimum (>35 psu) terdapat antara St.26 dan St.23, dengan densitas antara 25,5 (St.26) dan 26,5 (St.15). Hal ini menggambarkan pergerakan salinitas tinggi menuju ke arah selatan. Temuan terkait dengan pergerakan global massa air Samudera Hindia dari barat laut ke tenggara, melewati bagian ujung utara Pulau Sumatera. Nilai salinitas pada kedalaman 40m pada tahun 2005 didapatkan lebih tinggi (33,586 psu) dibandingkan dengan tahun 2006 (33,22 psu). Namun pada lapisan kedalaman antara 40 s.d 96 m, nilai salinitas pada tahun 2005 didapatkan lebih rendah (34,628 psu) dibandingkan dengan tahun 2006 (35,028 psu). Nilai salinitas tahun 2005 dan 2006 mempunyai nilai yang relatif sama dibawah kedalaman 100 m.

Wyrтки *et al.* (1971) tidak menemukan salinitas bernilai 35psu di kedalaman 100 meter di barat perairan barat Sumatera, meskipun penelitian ini menunjukkan sebaliknya. Nilai salinitas (35 psu) pada kedalaman 200 m muncul di bagian utara dan barat Sumatera, yang juga terdeteksi oleh Wyrтки *et al.* (1971) di kedalaman 600 m dan di kedalaman lebih dalam lagi salinitas 35 psu sudah tidak muncul lagi. Kondisi ini telah



Gambar 5. Distribusi penampang tegak salinitas (atas) dan suhu (bawah) antara St.15 s.d 26 tahun 2006 sepanjang bagian barat pantai perairan NAD



Gambar 6. Distribusi penampang tegak salinitas (atas) dan suhu (bawah) antara St.23 s.d St.25 tahun 2006 sepanjang bagian barat pantai perairan NAD

diuraikan sebagai salinitas minimum di lapisan dalam Samudera Hindia. Aglen *et al.* (1981) mendeteksi isohaline 35 psu pada kedalaman sekitar 250 m, sedangkan di stasiun bagian selatan, terdapat di bawah kedalaman 150 m. Dalam tulisan ini, isohaline yang sama didapatkan di bagian utara (St.1 s.d 5) pada kedalaman 160 m dan di bagian barat perairan Sumatera, antara St.15 dan 26.

Maka hasil analisis bahwa salinitas di bagian permukaan perairan pesisir lebih rendah (32,224 s.d 32,750 psu) dibandingkan dengan salinitas bagian lepas pantai (32,750 psu s.d 33.259 psu). Salinitas di Selat Malaka lebih rendah dibandingkan dengan bagian barat perairan NAD atau Samudra India. Distribusi tegak salinitas bahwa salinitas terendah (32,8 psu) didapatkan di bagian permukaan, salinitas tertinggi (>35.02 psu) pada kedalaman 200 m, dan di bawah kedalaman 400 m salinitas menjadi menurun (<35.0 psu). Salinitas

maksimum (>35,02 psu) pada sigma-t antara 26 s.d 27 didapatkan di kedalaman 100 m sampai 520 m. Inti salinitas (> 35,07 psu) didapatkan pada kedalaman 200 m terletak di St.26 dan 23.

3.4. Diagram T-S

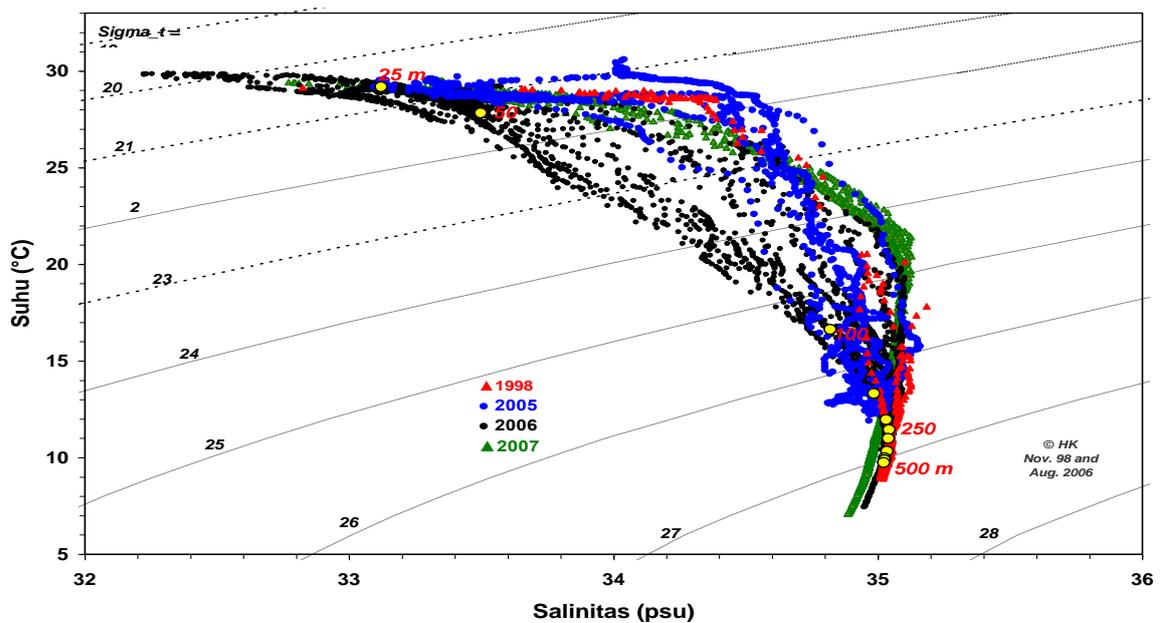
Massa air NAD telah didapatkan empat jenis massa air yaitu: (1). Jenis massa air lokal yang terletak dibagian permukaan (<50 m), dengan densitas (sigma-t) (<20 s.d <21) didapatkan pada suhu antara 29,846 s.d 26,326 °C dan salinitas antara 32,232 s.d 34,136 psu; (2). Jenis massa air Selat Malaka di bagian utara NAD dari bagian permukaan sampai kedalaman <100m, dengan densitas <20 s.d <26) didapatkan pada suhu antara 28,717 s.d 14,923 °C dan salinitas antara 33,244 s.d 34,856 psu; (3). Jenis massa air Benggala Bay Water (BBW) yang sudah dipengaruhi oleh massa air Laut Arab antara densitas (<21 s.d <26) didapatkan pada suhu antara 29,199 s.d 14,946 °C dan salinitas antara

33,274 s.d 35,094 psu; dan ke (4). Jenis massa air Indian Deep Water (IDW) dari massa air Samudera Hindia (kedalaman >400 m) dengan densitas >27 atau pada suhu 7,716 °C dan salinitas 34,959 psu. Maka massa air lokal yang dominan pada lapisan permukaan yang terdapat di bagian dekat pantai di bagian timur, utara sampai bagian barat NAD didapatkan bersuhu lebih tinggi dan bersalinitas lebih rendah. Massa air Selat Malaka dari bagian permukaan sampai kedalaman <100 m didapatkan bersuhu dan bersalinitas lebih rendah dibandingkan dengan massa air Benggala Bay Water (BBW) yang sudah dipengaruhi oleh massa air Laut Arab didapatkan bersuhu dan bersalinitas lebih tinggi. Salinitas maksimum muncul pada densitas ~26, massa air BB didapatkan suhu lebih tinggi 15,469°C dan salinitas 35,104psu, dibandingkan dengan massa air Selat Malaka dengan suhu lebih rendah (14,923 °C) dan salinitas 34,855 psu (Gambar 7).

Hasil analisa diagram T-S bahwa nilai suhu dan salinitas tahun 2005 pada densitas ~21 dan ~22 didapatkan lebih

tinggi dibandingkan dengan tahun 1998, 2006 dan 2007 (Tabel 3). Pada densitas ~23 nilai suhu dan salinitas tahun 1998 didapatkan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu dan salinitas tahun 2005, 2006 dan 2007. Pada densitas ~24 dan ~25 tahun 1998 didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan salinitas tahun 2007. Jelas bahwa massa air bulan Agustus – September 2005 setelah tsunami terjadi di perairan NAD antara kedalaman >25 s.d ~75 m telah mengalami kenaikan dengan nilai suhu dan salinitas lebih tinggi. Ini membuktikan bahwa massa air Benggala Bay Water (BBW) yang sudah dipengaruhi oleh massa air Laut Arab naik ke arah permukaan. Kondisi ini menyebabkan massa air dari Samudera Hindia memasuki perairan NAD, yang didominasi oleh densitas ~ 20 s.d. ~24, dan membuat lapisan massa air ini sangat dinamis (Gambar 8).

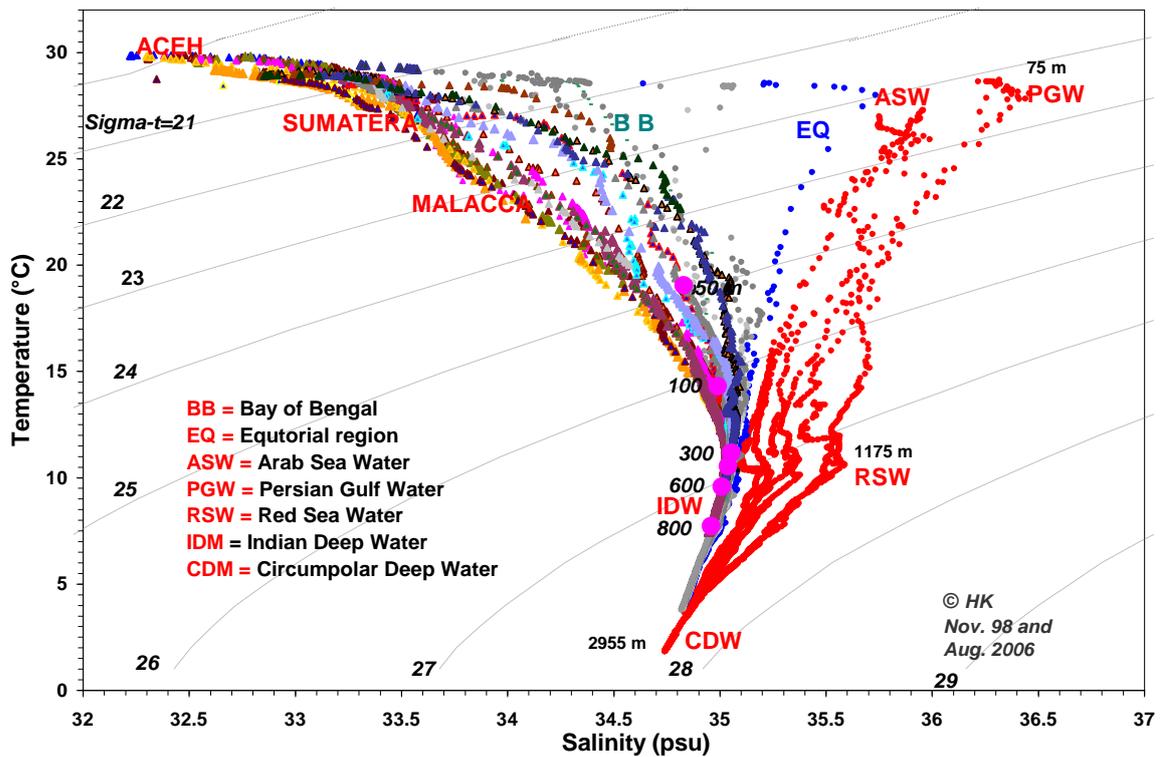
Salinitas lebih tinggi (>35 psu) adalah datang dari Samudera Hindia bagian barat laut salah satunya menyebar oleh arus ke arah tenggara akibat pengaruh massa air dari Laut Arab dan



Gambar 7. T-S diagram bulan Agustus - September 2006 di perairan NAD

Tabel 3. Salinitas maksimum dan kedalamannya di setiap stasiun tahun 2006 di perairan NAD

Stasiun	Salinitas_maks (psu)	Kedalaman (m)	Stasiun	Salinitas_maks (psu)	Kedalaman (m)
St.1	35.0452	257	st.19	34.5746	44
st.2	33.5781	52	st.18	35.0623	285
st.3	35.045	228	st.17	35.0643	247
st.4	35.0475	226	st.20	35.0579	162
st.5	35.0078	146	st.21	35.0679	206
st.6	35.0394	252	st.22	34.0195	36
st.7	35.0261	150	st.15	35.0307	306
st.9	35.0003	140	st.14	35.0095	116
st.8	33.6624	30	st.23	35.0944	131
st.11	33.3094	29	st.24	34.4901	49
st.10	34.8557	100	st.25	33.4743	24
st.13	35.025	240	st.26	35.1041	113
st.12	33.319	29	st.27	34.815	61



Gambar 8. T-S diagram perairan NAD dan Samudera Hindia tahun 1998

Teluk Persia (Rochford, 1964, 1966). Aglen *et al.* (1981) didapatkan kedalaman termoklin di bagian batas atas sebesar 100 s.d.125m, sedangkan Hadikusumah (2002) mencatat termoklin di bagian batas atas didapatkan pada

kedalaman 95 s.d. 125m. Hasil observasi tahun 2005 setelah terjadi tsunami bulan Desember 2004 didapatkan kedalaman batas atas termoklin lebih dangkal (17 sampai 50 m).

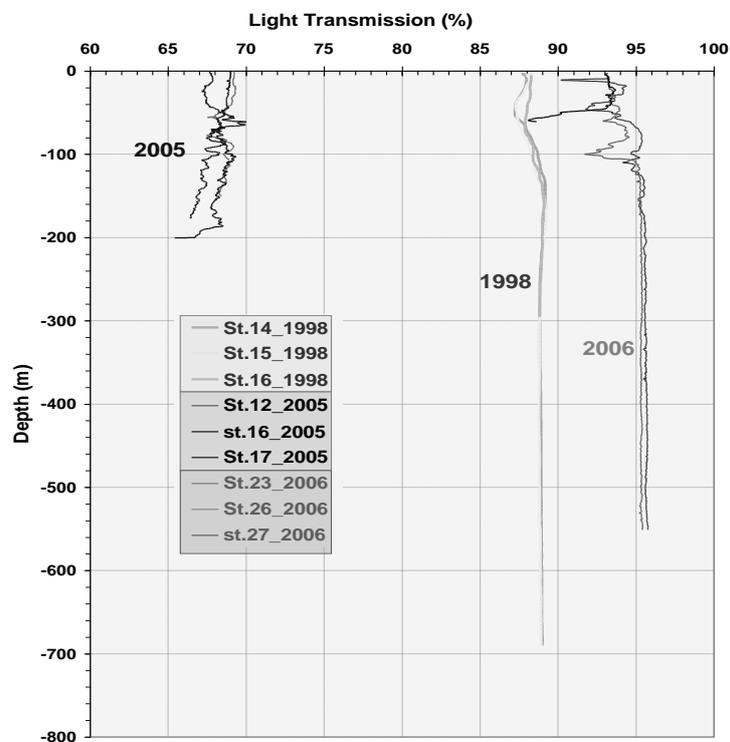
3.5 Kecerahan (Tx)

Salah satu metode pembuktian tsunami ialah menggunakan parameter kecerahan (Tx) akibat *resuspension* dari sedimen dasar laut akibat turbulensi yang dihasilkan oleh energi tsunami sedikit dibahas seperti kondisi suhu di atas (lihat Gambar 2). Hasil menunjukkan bahwa Tx pada St.14, 15 dan 16 (1998) didapatkan berkisar antara 87 s.d. 89 %, pada St.12, 16 dan 17 (2005) didapatkan berkisar antara 65 s.d. 70% dan di St.23 dan 27 (2006) didapatkan berkisar antara 88 s.d. 95%. Gambar 9 menggambarkan bahwa Tx pra-tsunami (1998) lebih besar dibandingkan dengan Tx paska tsunami (2005) dan satu tahun kemudian (2006) massa air tersebut sudah kembali lagi jernih (normal). Tx tahun 2005 dari bagian permukaan sampai dekat dasar (kolom air) didapatkan lebih rendah (keruh) dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2006. Tx tahun 2005 di bagian dekat dasar didapatkan lebih rendah dibanding-

kan dengan bagian permukaan. Hal ini diduga bahwa Tx dalam kolom air dari permukaan sampai dekat dasar tersebut telah mengalami tersuspensi dari dasar laut, karena turbulen oleh kekuatan energi tsunami.

3.6 Kandungan Panas:

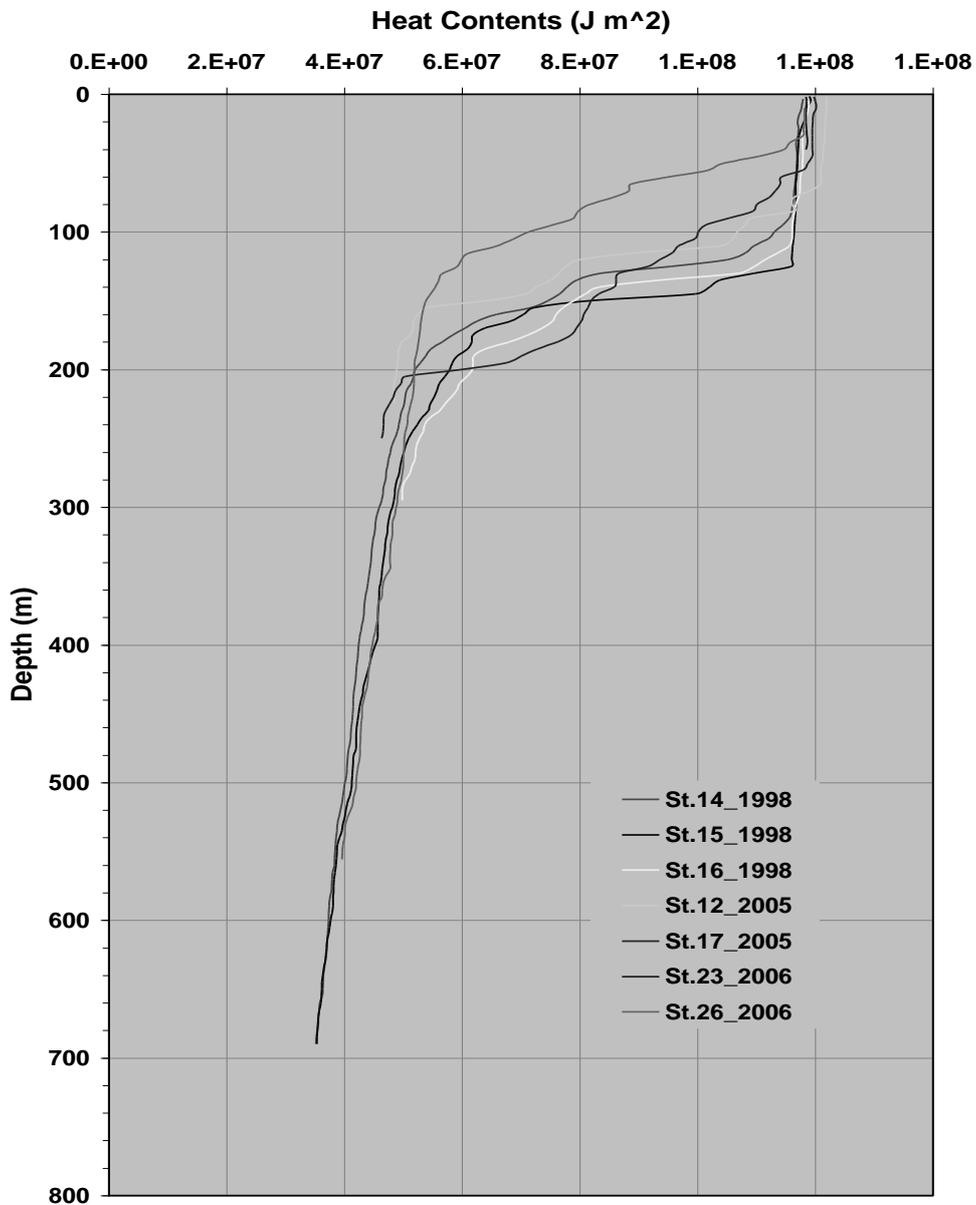
Hasil analisis kandungan panas, $\sum_{65}^5 H$ (Jm^{-2}) dari stasiun CTD antara 5 s.d 65 m tahun 1998 lebih rendah ($152,15$ s.d $153,47*10^7$) (Jm^{-2}) dibandingkan dengan tahun 2005 sebesar ($154,19$ s.d $157,87*10^7$) (Jm^{-2}) dan tahun 2006 didapatkan lebih rendah ($136,46$ s.d $134,86*10^7$) (Jm^{-2}) dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2005 (Tabel 4; Gambar 9). Kandungan panas tahun 2005 didapatkan lebih tinggi, ini membuktikan bahwa pengaruh tsunami di St.12 dan 17 telah mengalami pengaruh tsunami yang dominan dikedalaman lapisan tercampur (*mixed layer*).



Gambar 9. Profil kecerahan (Tx) tahun 1998, 2005 dan 2006

Tabel 4. Kandungan panas, H dengan referensi kedalaman 65m (kedalaman tercampur).

Tahun	Stasiun	Kedalaman (m)	T (°C)	S (psu)	ρ (kg/m ³)	T _{pot} (°C)	C _p (J kg ⁻¹ °C ⁻¹)	H (J m ⁻²)	$\sum_{65}^5 H$ (J m ⁻²)
1998	14	65	28.604	34.274	1021.653	28.611	3989.392	4075772.62	1.5215E+09
	15	65	28.627	34.226	1021.609	28.634	3989.631	4075844.89	1.5278E+09
	16	65	28.813	34.076	1021.435	28.820	3990.464	4076000.46	1.5347E+09
2005	12	65	29.665	33.363	1020.613	29.672	3994.378	4076713.56	1.5787E+09
	17	65	27.974	33.765	1021.475	27.980	3991.374	4077088.50	1.5419E+09
2006	23	65	20.107	34.922	1024.674	20.112	3979.111	4077292.76	1.3646E+09
	26	65	21.737	34.740	1024.093	21.742	3981.554	4077482.10	1.4386E+09



Gambar 9. Profil kandungan panas (*heat content*) 1998, 2005 dan 2006.

IV. KESIMPULAN

Arus Selat Malaka didapatkan mengalir ke arah barat laut dan berubah kembali masuk Selat Benggala dan selanjutnya berputar menjadi arus di sepanjang pantai barat perairan NAD. Arus utama dilepas pantai Samudra Hindia didapatkan mengalir ke arah barat laut. Lapisan termoklin pada tahun 2005 dan 2006 dibandingkan dengan data sebelumnya (1998) didapatkan naik ke arah permukaan. Suhu dan nilai-nilai salinitas pada tahun 2005 didapatkan lebih tinggi dibandingkan tahun 2006.

Kedalaman batas atas termoklin sekitar perairan Aceh setelah tsunami 2004 didapatkan telah naik ke bagian lapisan permukaan. Ini membutuhkan verifikasi lebih lanjut melalui pengumpulan data jangka panjang untuk menentukan variasi bulanan dan tahunan, yang akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Tx tahun 2005 dari bagian permukaan sampai dekat dasar (kolom air) didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2006. Tx tahun 2005 di bagian dekat dasar didapatkan lebih rendah dibandingkan dengan bagian permukaan. Hal ini diduga bahwa Tx dalam kolom air dari permukaan sampai dekat dasar telah mengalami tersuspensi dari dasar laut, karena turbulen oleh kekuatan energi tsunami.

Hasil analisis kandungan panas antara 5 s.d. 65 m tahun 2005 lebih tinggi dibandingkan dengan tahun 1998 dan 2006. Kandungan panas tahun 2005 membuktikan bahwa paska tsunami telah mengalami pengaruh tsunami. Jenis massa air di daerah penelitian merupakan pencampuran antara massa air lokal atau Aceh Water (AW), Malaka Strait Water (MSA), Benggala Bay Water (BBW) akibat pengaruh massa air Arab Waters (AW), dan India Deep Water (IDW).

DAFTAR PUSTAKA

- Aglen A., L. Foyn., O.R. Gode., S. Myklevoll and O.J. Ostvedt. 1981. *A survey of the marine fish resources of the north and west coast Sumatera – August 1980*. Reports on surveys with the R/V “ Dr. Fridtjof Nansen”. Institute of Marine Research. Bergen. 50 pp.
- Alvarinho J. Luis, S. M. Pednekar and M. Sudhakar 2007. Post-tsunami impact study on thermohaline structure in the Bay of Bengal. *Current Science*, 93(5):699–703.
- Anilkumar, N., Y.V.B. Sarma, K.N.Babu1, M.Sudhakar and P. C. Pandey. 2006. Post-tsunami oceanographic conditions in southern Arabian Sea and Bay of Bengal. *Current Science*, 90(3): 421– 427.
- Anonymous. 2006. Report on the Joint Research between Indonesia and Norway on the Earthquakes and Tsunami Impacts in Aceh and West Sumatera. Research Centre for Oceanography, Indonesian Institute of Sciences. Jakarta, 157 pp.
- Hadikusumah. 2002. Light transmission and *chlorophyll-a* in Northern Part of Indian Ocean during Baruna’98 Expedition from Bergen-Jakarta. In: Pasaribu, B.P., Kaswadji, R. Nurjaya, I.W. and Gaol, J.L. (eds). In. PORSEC 2002. Proceeding Vol.I. Pan Ocean Remote Sensing Conference: 443-446.
- Hadikusumah. 2002a. Suhu and Salinity in Northern Part of Indian Ocean during Baruna’98 Expedition from Bergen-Jakarta. In: Pasaribu, B.P., Kaswadji, R. Nurjaya, I.W. and Gaol, J.L. (eds). In. PORSEC 2002. Proceeding Vol.I. Pan Ocean Remote Sensing Conference: 436-442.

- Ilahude, A.G. and A.L. Gordon. 1996. Thermocline stratification within the Indonesian seas. *J. of Geophys. Res.*, 101 (C5):12401-12409.
- McCaffrey, R., 1991. Slip vectors and stretching of the Sumatran fore arc, *Geology*, 19:881- 884.
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Ward, S. N., Cheng, H., Edwards, R. L., Galetzka, J. and B. W. Suwargadi 2004. Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central Sumatran microatolls, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 109, B04306.
- Newcomb, K. R. and W. R. McCann 1987. Seismic history and seismotectonics of the Sunda Arc, *J. Geophys. Res.*, 92:421-439.
- Prawirodirdjo, L., 2000. A geodetic study of Sumatera and the Indonesian region: Kinematics and crustal deformation from GPS and triangulation, Ph.D. Thesis, University of California, San Diego.
- Rochford, D.J. 1964. Hydrology of the Indian Ocean. *Aust. Jour. Mar. Freshw. Res.*, 15(1):25-55.
- Rochford, D.J. 1964. Salinity maximal in the upper 1000 meters of the Indian Ocean. *Aust. Jour. Mar. Freshw. Res.*, 15(1):1-24.
- Rochford, D.J. 1966. Distribution of Banda intermediate water in the Indian Ocean. *Aust. Jour. Mar. Freshw. Res.*, 17:61-76.
- Santek, D. A. and A. Winguth. 2005 . A satellite view of internal waves induced by the Indian Ocean tsunami. *International Journal of Remote Sensing* (11 Nov 2005). 18p
- Suyarso. 2002. Profil Sumber Daya Kelautan Perairan Selat Malaka. *Dalam : Proyek Pemanfaatan dan Desiminasi IPTEK Kelautan*. Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI. Jakarta: 35 – 57.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. 2001. Upwelling along the coasts of Jawa and Sumatera and its relation to ENSO. *Geo.Res. Letters*, 28(8):1599–1602.
- Vinayachandran, P.N., S. Iizuka, T. Yamagata 2002. Indian Ocean dipole mode events in an ocean general circulation model. *Deep-Sea Research II*, 49:1573–1596
- Wyrki, K 1961. Physical oceanography of the Southeast Asian waters. Scientific result of marine investigation of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961. Naga Report Vol 2. Physical Oceanography of Southeast Asian Waters. University of California. Scripps Institute of Oceanography. 196 pp.
- Wyrki, K. 1962. The upwelling in the region between Java and Australia during the Southeast Monsoon. *Aust. Jour. Mar. Fresh. Res.*, 13:217-225.
- Wyrki, K., E.B. Bennet and D.J. Rochford 1971. *Oceanography atlas of the international Indian Ocean Expedition*. The National Science Foundation Washington, D.C.