

BIOSTRATIGRAFI DAN ANALISIS PERUBAHAN KEDALAMAN TERMOKLIN DI LEPAS PANTAI BARAT DAYA SUMBA SEJAK PLEISTOSEN AKHIR BERDASARKAN KUMPULAN FORAMINIFERA PLANKTONIK

RYAN DWI WAHYU ARDI^{1,4}, KHOIRIL ANWAR MARYUNANI¹, EKO YULIANTO², PURNA SULASTYA PUTRA², DAN SEPTRIONO HARI NUGROHO³

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), JL. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132, Email: dwa.ryan@gmail.com
2. Pusat Penelitian Geoteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
3. Pusat Penelitian Laut Dalam, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Y. Syaranamual Ambon 97233
4. Program Studi Agroteknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto, Jl. Sultan Agung No. 42 Purwokerto 53144

Sari - Foraminifera merupakan mikrofauna/mikrofosil yang sering diaplikasikan dalam geologi terutama untuk analisis biostratigrafi dan paleoekologi. Wilayah lepas pantai barat daya Sumba sangat dipengaruhi oleh pergantian muson barat laut – muson tenggara dan berada di dekat salah satu jalur keluar ITF yaitu Selat Ombai – Laut Sawu yang akirnya berperan besar dalam membentuk kondisi ekologinya. Penelitian ini bertujuan untuk membuat biozonasi dan analisis salah satu parameter ekologi yaitu kedalaman termoklin di wilayah lepas pantai barat daya Sumba berdasarkan kumpulan foraminifera planktonik. Inti sedimen laut dalam sepanjang 235 cm dengan kode S8 akan digunakan sebagai bahan penelitian.. Determinasi foraminifera dilakukan secara kuantitatif dengan mengamati kira-kira 300 spesimen dalam satu bagian sampel. Masing-masing takson yang ditemukan pada bagian tersebut dihitung jumlah individunya sedangkan taksa berbeda yang ditemukan di luar bagian tersebut dianggap berjumlah satu. Biozonasi dibuat berdasarkan biozonasi Blow serta biozonasi Bolli dan Saunders. Berdasarkan biozonasi Blow diperoleh satu zona yaitu zona N23 yang setara dengan Pleistocene – Holocene. Sementara berdasarkan biozonasi Bolli dan Saunders diperoleh dua zona yaitu zona *Globigerinella calida* – *Clavarotella bermudezi* (di bawah kedalaman 147 cm) yang setara Pleistocene Akhir dan zona *Globorotalia fimbriata* (kedalaman 0 – 147 cm) yang setara Holocene. Analisis paleoekologi difokuskan pada parameter kedalaman termoklin yang ditentukan dari kelimpahan relatif taksa *thermocline dweller* yang terdiri dari *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulenia obliquiloculata*, dan *Globorotalia menardii*. Selama Pleistocene kelimpahan *thermocline dweller* relatif lebih tinggi (49,76 – 75,66%, rata-rata 60,01%) yang mengindikasikan pendangkalan termoklin (kondisi eutropik) sedangkan selama Holocene kelimpahannya lebih rendah (33,90 – 57, 17%, rata-rata 45,77%) yang mengindikasikan mendalamnya termoklin (kondisi lebih oligotropik). Kondisi tersebut berkaitan dengan dominasi muson tenggara (ITF menguat) selama Pleistocene yang kemudian melemah pada Holocene dan memicu penguatan muson barat laut (ITF melemah).

Kata kunci: biostratigrafi, foraminifera, ITF, kedalaman termoklin, muson.

Abstract - Foraminifera are microfaunas/microfossils that frequently applied in geology especially for biostratigraphy and paleoecological analysis. This research aim to create biozonation and paleoecological analysis in the region off the southwest coast of Sumba based on planktonic foraminiferal assemblages. This region heavily affected by northwest monsoon – southeast monsoon shift and located next to one of the ITF's outflow paths (Ombai Strait – Savu Sea) which eventually form its ecological condition. A 235 cm long deep sea sediment core coded ST08 will be used as research material. Foraminifera specimens were determined quantitatively by observing approximately 300 specimens for each split. Each taxon determined from that part then calculated for each individual that was found while different taxa determined from other splits are considered to be one. Biozonation was determined based on either Blow biozonation or Bolli and Saunders biozonation. One zone was obtained based on Blow biozonation which is N23 zone, equal to Pleistocene – Holocene. Two zones were determined based on Bolli and Saunders biozonation which are *Globigerinella calida* – *Clavarotella bermudezi* zone (below 147 cm depth), equal to Late Pleistocene and *Globorotalia fimbriata* zone (0 – 147 cm depth), equal to Holocene. Paleoecological analysis focused on the thermocline depth parameter inferred from the relative abundance of thermocline dweller taxa that consist of *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulenia obliquiloculata*, and *Globorotalia menardii*. Thermocline dweller abundance were relatively higher during Pleistocene (49,76 – 75,66%, average 60,01%), indicating shallower thermocline (eutropic condition) while during Holocene its abundance relatively lower (33,90 – 57, 17%, average

45,77%), which indicated thermocline deepening (more oligotrophic condition). Those conditions were related to the southeast monsoon domination during Pleistocene (stronger ITF) before its weakening on Holocene which induced northwest monsoon strengthening (weaker ITF).

Keywords: biostratigraphy, foraminifera, ITF, monsoon, thermocline depth

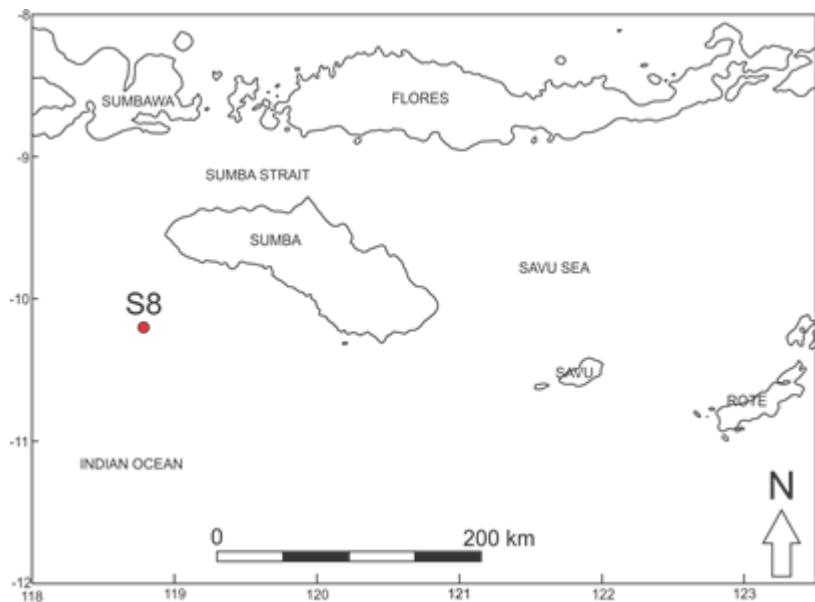
1. PENDAHULUAN

Foraminifera merupakan mikrofauna laut dan termasuk dalam Kingdom Protista yang sering dipelajari dalam geologi karena pengaplikasiannya yang cukup mudah terutama dalam studi stratigrafi (biostratigrafi) dan paleoekologi. Dalam geologi foraminifera yang diamati terdapat pada sedimen atau batuan sedimen dan hanya menyisakan bagian cangkangnya yang bahkan umumnya telah memfosil. Foraminifera ada yang hidup melayang pada kolom air (planktonik) dan ada pula yang hidup pada substrat di dasar laut (bentonik). Penelitian ini akan difokuskan pada analisis kumpulan foraminifera planktonik.

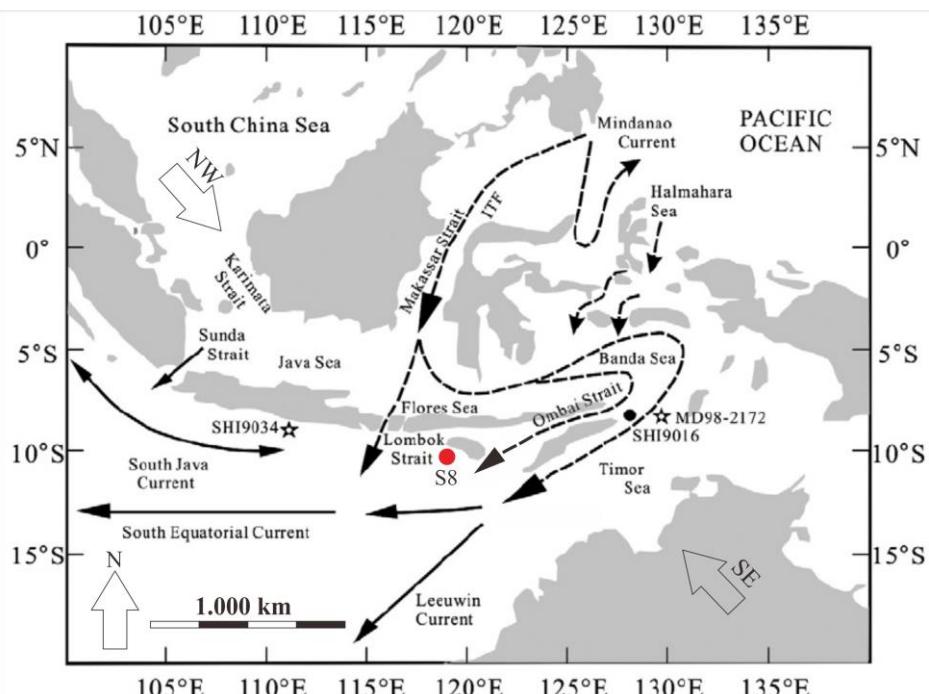
Foraminifera planktonik memiliki resolusi biostratigrafi yang cukup tinggi selama Neogen sehingga sering diaplikasikan untuk membuat biozonasi sedimen/batuan sedimen laut (Blow, 1969, 1970; Bolli dan Saunders, 1985). Selain itu mikrofauna ini juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan sehingga sering digunakan sebagai proksi pada penelitian tentang paleoekologi, paleoklimatologi, maupun paleo-oseanografi. Dalam hal ini parameter paleoekologi yang paling mudah dideteksi dari kelimpahan foraminifera planktonik adalah stratifikasi air laut (kedalaman termoklin) yang akan menjadi fokus pada penelitian ini bersama dengan analisis biostratigrafi. Dalam hal ini mendangkanya kedalaman termoklin dapat ditunjukkan oleh meningkatnya peningkatan kelimpahan relatif taksa *thermocline dweller*, sedangkan

mendalamnya kedalaman termoklin tercermin dari penurunan kelimpahan relatifnya. *Thermocline dweller* merupakan taksa foraminifera planktonik yang cenderung hidup di sekitar lapisan termoklin dan akan sangat melimpah pada kondisi eutropik yang membentuk lapisan *Deep Chlorophyll Maximum* (DCM) akibat kedalaman termoklin yang mencapai kedalaman *light compensation* (Spooner dkk., 2005).

Penelitian akan dilakukan terhadap inti sedimen S8 yang diambil di lepas pantai barat daya Sumba pada kedalaman 2.966 m (batial) (Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, 2006) (**Gambar 1**). Wilayah ini memiliki kondisi iklim yang sangat dipengaruhi oleh pergantian muson barat laut – muson tenggara yang terlihat dari curah hujan yang sangat kontras pada musim kemarau dan musim penghujan (Aldrian dan Susanto, 2003; Mohtadi dkk., 2007). Salah satu jalur keluar *Indonesian Through Flow* (ITF) yaitu Selat Ombai – Laut Sawu juga berada di dekat daerah penelitian sehingga penelitian ini diharapkan dapat membaca fluktuasinya di masa lampau (Hautala dkk., 1996; Gordon, 2005; Spooner dkk., 2005). Dalam hal ini belum pernah dilakukan penelitian khusus terhadap kedalaman termoklin di wilayah lepas pantai barat daya Sumba padahal wilayah ini tidak tepat berada di jalur keluar ITF (**Gambar 2**) sehingga seberapa besar pengaruhnya terhadap kondisi ekologi daerah penelitian menjadi topik yang menarik untuk dibahas.



Gambar 1. Daerah penelitian, S8 (titik merah) merupakan lokasi pengambilan inti sedimen yang diteliti (Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, 2016).



Gambar 2. ITF (garis putus-putus) beserta aliran-aliran lain yang berasosiasi dengannya (Ding dkk., 2013), lokasi pengambilan inti sedimen S8 ditandai dengan bulatan merah.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

2.1 Data

Data pada penelitian ini berupa sampel-sampel sedimen yang diambil dengan interval 2 cm dari inti sedimen yang memiliki panjang 236 cm (inti S8). Inti sedimen tersebut diambil pada Ekspedisi Widya Nusantara (E-WIN) yang

dilaksanakan oleh Pusat Penelitian Oseanografi LIPI pada Agustus 2016.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Preparasi

Pertama-tama dilakukan penimbangan terhadap masing-masing sampel (diambil 5 g). Setelah itu dilakukan preparasi dengan

merendam masing-masing sampel pada bejana berisi larutan H_2O_2 5% selama 3 – 6 jam. Kemudian masing-masing sampel dicuci dan disaring di atas saringan berukuran 30, 80, dan 100 mesh (0,5; 0,177; dan 0,149 mm). Residu pada saringan berukuran 80 dan 100 mesh lalu dipanaskan dengan oven pada suhu 60°C hingga cukup kering. Setelah melalui langkah-langkah tersebut maka sampel siap untuk dideterminasi.

2.2.2 Determinasi Kuantitatif

Determinasi kuantitatif dilakukan dengan terlebih dahulu membagi (*splitting*) sampel hingga pada satu bagian diperkirakan terdapat 300 spesimen foraminifera. Kemudian pada bagian tersebut masing-masing takson yang teridentifikasi dihitung jumlahnya. Selain itu dilakukan pengamatan pada bagian-bagian lain untuk mencari taksa yang belum hadir dan kemudian dihitung berjumlah satu spesimen.

Setelah itu dilakukan normalisasi terhadap jumlah pembagian dan berat sampel dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{a. Normalisasi jumlah pembagian (split)} \\ N = 2^n \times A \quad (1)$$

dengan:

A = jumlah spesimen spesies X pada satu bagian yang dianalisis

n = jumlah *split*

N = jumlah spesimen spesies X pada satu sampel utuh

b. Normalisasi berat

$$\text{Juml. akhir spesimen spesies X} =$$

$$\frac{\text{Berat ditimbang}}{\text{Berat diharapkan}} \times N \quad (2)$$

Hasil normalisasi kemudian disajikan pada tabel distribusi (**Gambar 3**).

2.2.3 Pengolahan dan Analisis Data

Analisis biostratigrafi dilakukan dengan pembuatan biozonasi berdasarkan kehadiran dan kemunculan taksa foraminifera pada biozonasi yang dibuat

oleh Blow (1969, 1970) serta Bolli dan Saunders (1985). Sementara itu analisis paleoekologi difokuskan pada kedalaman termoklin (mencerminkan stratifikasi air laut) dengan melihat kelimpahan relatif taksa *thermocline dweller*. Taksa foraminifera yang tergolong *thermocline dweller* dan akan dianalisis kelimpahannya terdiri dari *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata*, dan *Globorotalia menardii* (Barmawidjaja dkk., 1993; Baohua dkk., 1997; Spooner dkk., 2005; Ding dkk., 2006; Sijinkumar dkk., 2011).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Biostratigrafi

3.3.1 Biozonasi Blow

Berdasarkan biozonasi foraminifera planktonik menurut Blow (1969, 1970) inti S8 hanya terdiri dari satu zona yaitu zona N23. Zona ini ditandai dengan kehadiran *Globigerinella calida* pada interval terbawah (234 – 235 cm). Zona N23 memiliki umur yang setara dengan Pleistosen – Holosen (**Gambar 4**).

3.3.2 Biozonasi Bolli dan Saunders

Berdasarkan biozonasi foraminifera planktonik lintang rendah menurut Bolli dan Saunders (1985) sedimen pada inti S8 terdiri dari dua zona. Dua zona tersebut adalah zona *Globigerinella calida* – *Clavatotella bermudezi* (di bawah kedalaman 147 cm) dan zona *Globorotalia fimbriata* (interval 0 – 147 cm). Zona *Globigerinella calida* – *Clavatotella bermudezi* ditandai oleh kehadiran *Globigerinella calida* pada bagian bawah sedangkan batas atasnya ditandai oleh kemunculan awal *Globorotalia fimbriata*, setara dengan Pleistosen Akhir. Sementara itu zona *Globorotalia fimbriata* dibatasi oleh kemunculan *Globorotalia fimbriata* di bagian bawah yang menandai dimulainya Kala Holosen (**Gambar 2**).

3.2 Paleoekologi: Kedalaman Termoklin

Kelimpahan relatif *thermocline dweller* menunjukkan nilai yang cukup kontras

antara Pleistosen dan Holosen (**Gambar 3**). Selama Pleistosen kelimpahan *thermocline dweller* cenderung lebih tinggi (49,76 – 75,66%, rata-rata 60,01%) yang mengindikasikan adanya pendangkalan termoklin (kondisi eutropik). Sementara itu kelimpahan *thermocline dweller* cenderung menurun pada Holosen (33,90 – 57,17%, rata-rata 45,77%) yang mengindikasikan mendalamnya termoklin atau kondisi air laut menjadi lebih oligotropik (kedalaman termoklin di bawah kedalaman *light compensation*).

Pendangkalan termoklin selama Pleistosen kemungkinan berhubungan dengan dominasi muson tenggara (Wyrwoll dan Miller, 2001; Spooner dkk., 2005; Ding dkk., 2013). Dominasi muson tenggara tersebut disebabkan oleh posisi *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ) selama musim panas belahan bumi selatan (*Austral summer*) yang berada si atas Pulau Jawa, Laut Flores, hingga Laut Banda sehingga muson barat laut tidak dapat mencapai wilayah tenggara Kepulauan Indonesia, termasuk daerah penelitian (Spooner dkk., 2005; Xu dkk., 2006; Ding dkk., 2013). Dominasi muson tenggara menyebabkan adanya aliran massa air dingin kaya nutrisi dari tenggara ke Kepulauan Indonesia (van Iperen dkk., 1993; Gordon, 2005; Steinke dkk., 2014). Hal itu mengakibatkan tingginya gradien tekanan antara Samudera Pasifik dan Hindia sehingga ITF menguat (Gordon, 2005; Steinke dkk., 2014). Kehadiran massa air dingin tersebut kemudian turut meningkatkan produktivitas dengan memicu adanya *upwelling* yang kemudian membuat kedalaman termoklin menjadi lebih dangkal (kondisi eutropik) (van Iperen dkk., 1993; Spooner dkk., 2005).

Memasuki Holosen posisi *Austral summer* ITCZ berpindah ke sekitar wilayah utara Australia sehingga muson barat laut dapat mencapai wilayah tenggara Kepulauan Indonesia, termasuk daerah penelitian sehingga dominasi muson tenggara pun berkurang (Wyrwoll dan Miller, 2001;

Spooner dkk., 2005; Ding dkk., 2013). Menguatnya muson barat laut memicu adanya aliran massa air rendah salinitas yang melalui Laut Jawa dan Laut Flores menuju ke arah timur yaitu Laut Banda sehingga mengurangi gradien tekanan antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia (Wyrtki, 1987). Berkurangnya gradien tekanan antara Samudera Pasifik dan Hindia berakibat pada melemahnya ITF dan pendalaman termoklin (Gordon, 2005; Steinke dkk., 2014). Kehadiran massa air rendah salinitas tersebut mempengaruhi stratifikasi air laut di wilayah timur Kepulauan Indonesia termasuk daerah penelitian yaitu dengan memperdalam lapisan termoklin (kondisi menjadi lebih oligotropik) (Spooner dkk., 2005; Ding dkk., 2013).

4. KESIMPULAN

Dengan menggunakan biozonasi Bolli dan Saunders (1985), batas Pleistosen – Holosen inti S8 berhasil dideterminasi yaitu pada interval kedalaman 146 -147 cm. Batas ini ditandai dengan kemunculan awal *Globorotalia fimbriata*. Kehadiran *Globigerinella calida* pada interval terbawah menunjukkan Zona N23 menurut biozonasi Blow (1969, 1970) sehingga dapat disimpulkan bahwa sedimen pada inti S8 diendapkan sejak Pleistosen Akhir. Analisis berdasarkan kelimpahan relatif taksa *thermocline dweller* menunjukkan adanya perbedaan kedalaman termoklin antara Pleistosen dan Holosen. Kedalaman termoklin selama Pleistosen relatif dangkal yang diakibatkan oleh dominasi muson tenggara (memicu pembentukan *upwelling*) dan kuatnya intensitas ITF, sedangkan selama Holosen kedalaman termoklin lebih dalam akibat menguatnya muson barat laut dan ITF. Perbedaan kedalaman termoklin tersebut menunjukkan bahwa wilayah lepas pantai barat daya Sumba masih dipengaruhi oleh ITF walau tidak berada tepat di jalur keluar ITF, dalam hal ini fluktuasi ITF berkaitan erat dengan fluktuasi intensitas muson akibat pergeseran posisi *Austral summer* ITCZ.

HOLOSEEN

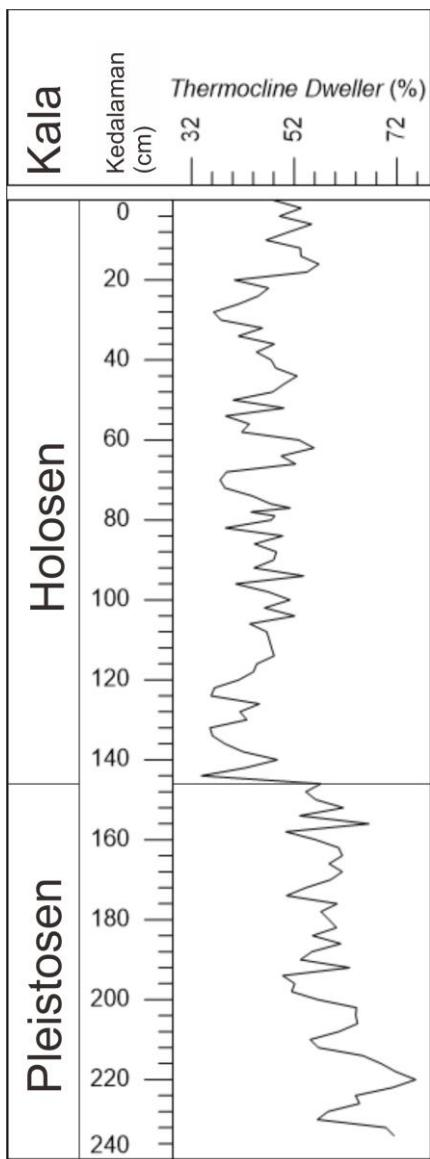
N23

卷之三

卷之三

Kata	Zona Planktonik (Böhl, 1969, 1970)	Zonasi Foraminifera Plankton Lintang Rund (Böhl dan Saunders, 1985)	Komentar Biostatigrafi		No	Bentuk Sampel (g)	Total Kepingan Kedalaman (cm)	Foraminifera Planktonik												Bolli aquila	Globigerinoides pacificalis	Globoquadrina tenuis	Globoquadrina tenuis					
			Globoquadrina nubila	Globoquadrina strobilus				Micrasterias rotula	Neogloboquadrina acostensis	Neogloboquadrina d'Orbignyi	Ostrea universa	Purpurostrotzia obliquostriata	Sphaeroidinella dolosa	Globorotalia meneti	Globorotalia tumida	Globorotalia angulata	Globorotalia fuscula	Globigerinoides conglobatus	Globoquadrina spissula	Globoquadrina buidae	Chlamysina bimini	Globigerinoides tenuis	Caudina retusa					
HOLOSEN		Zona Globorotalia fimbriata	1 5-0-1	635	82	19	16	50	6	2	39	5	140	27	3	8	6	3	3	6	12	24	24	12	121			
			2 5-2-3	1407	92	8		100	4	4	64	4	184	44	24	24	8		4	12	8	24	24	12	664			
N23		Zona Globorotalia fimbriata	3 5-4-5	834	96	10	2	81	4	4	23	33	6	102	15	10	2	4	2	6	23	6	17	4	4 2	346		
			4 5-6-7	1384	148	4	4	137	15	11	7	89	7	263	30	19	22	1	11	11	19	11	33	19	15	7	306	
PLEISTOSEN		Zona Globigerinella calida - Clavatoretella bermudezi	5 5-8-9	789	92	33	12	81	6	4	4	54	136	12	6	4	6	8	4	8	12	35	4	10	4	221		
			6 5-11-11	1191	13	10	1	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3 3 3	221		
		Gl. fimbriata	7 5-12-13	1480	113	30	8	136	4	4	4	87	4	185	11	26	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	608	
			8 5-14-15	1009	115	15	8	85	15	5	60	3	200	25	13	3	10	5	13	8	3	13	18	3	5	3	295	
		Gl. calida	9 5-16-17	1420	120	21	4	95	4	7	1	95	7	308	71	18	25	4	11	14	18	39	7	7	4	456		
			10 5-18-19	1558	128	61	1	133	14	6	11	131	19	306	61	17	3	3	14	8	39	22	39	6	6	375		
		Gl. calida	11 5-20-21	1470	120	28	9	85	9	5	28	130	14	19	54	24	7	2	5	5	5	9	21	9	2	582		
			12 5-22-23	1094	121	40		74	14	5	52	2	144	21	16	5	16	2	7	5	9	9	16	23	7 2 2	423		
		Gl. calida	13 5-24-25	1436	109	49	25	109	18	14	105	7	147	32	35	1	11	7	7	25	18	21	25	14	7 4	530		
			14 5-26-27	2476	391	98	28	251	14	9	84	279	65	93	60	5	14	23	28	9	37	19	1	3	8	847		
		Gl. calida	15 5-28-29	1554	120	32	21	210	20	15	120	120	205	85	12	2	21	10	19	20	5	10	2	2	2	202		
			16 5-31-31	1203	147	59	32	3	12	1	1	1	75	15	110	55	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	449	
		Gl. calida	17 5-32-33	652	56	30	7	52	8	2	37	85	30	5	5	3	2	2	5	5	12	17	3	3	252			
			18 5-34-35	1092	175	33	22	128	19	22	11	53	8	103	36	11	3	6	10	14	14	6	6	3	3	339		
		Gl. calida	19 5-36-37	1201	175	73	16	175	25	16	125	123	27	14	6	10	14	8	4	10	16	2	2	4	1	247		
			20 5-38-39	1045	137	63	21	97	26	5	86	192	31	22	67	1	253	44	18	1	9	34	32	16	11	16	1	1 208
		Gl. calida	21 5-40-41	1313	157	17	9	128	17	21	4	72	4	166	55	9	4	9	1	13	7	9	21	1	3 9	498		
			22 5-42-43	871	87	40	19	148	19	29	4	52	10	140	48	12	2	1	2	4	15	10	8	8	8	206		
		Gl. calida	23 5-44-45	941	61	63	12	117	22	17	5	61	1	137	22	16	2	5	2	10	22	12	5	2	3 202			
			24 5-46-47	1554	120	32	21	210	20	15	120	120	205	85	12	2	21	10	19	20	5	10	2	2	2	659		
		Gl. calida	25 5-48-49	1845	120	32	21	210	20	15	120	120	205	85	12	2	21	10	19	20	5	10	2	2	2	651		
			26 5-49-50	1938	165	81	29	114	10	29	129	119	138	49	20	2	5	14	19	19	10	10	10	10	5 10	908		
		Gl. calida	27 5-52-53	1378	147	51	31	116	28	16	35	61	6	251	44	22	6	8	9	16	3	19	16	6	3 3	431		
			28 5-54-55	1610	256	60	33	159	23	33	9	70	5	144	55	9	23	13	9	9	9	9	9	9	9	5 600		
		Gl. calida	29 5-56-57	1676	213	84	40	142	27	31	22	67	1	253	44	18	1	9	34	4	31	13	14	3	4	564		
			30 5-58-59	1716	205	130	35	176	35	23	25	93	8	195	40	13	8	5	25	18	18	8	13	15	1 3 8	533		
		Gl. calida	31 5-60-61	2534	242	104	71	413	33	42	54	204	21	325	67	13	1	26	38	25	81	29	1	8	13	17	8 8	713
			32 5-62-63	2060	172	67	33	270	52	67	126	120	472	106	22	106	6	39	17	11	17	17	17	17	17	17	561	
		Gl. calida	33 5-64-65	1845	135	82	59	221	17	66	81	19	77	73	4	87	9	170	177	23	17	27	17	27	17	17	17	275
			34 5-65-66	3404	229	120	32	36	48	103	29	29	28	99	48	10	10	19	29	17	48	10	19	29	10	10 1	857	
		Gl. calida	35 5-66-67	2077	334	84	56	216	104	104	104	104	104	220	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	4 304	
			36 5-85-86	1869	183	106	44	260	56	28	171	211	264	88	11	264	44	22	28	11	17	22	17	22	17	22	1 233	
		Gl. calida	37 5-86-87	2124	215	105	41	211	23	22	11	50	15	205	105	42	32	32	32	23	23	23	23	23	23	23	573	
			38 5-87-88	2689	300	113	57	270	43	35	33	20	81	47	14	44	28	23	23	23	23	23	23	23	23	1 491		
		Gl. calida	39 5-88-89	2676	213	103	34	133	20	69	207	5	49	20	6	1	5	8	1	1	1	1	1	1	1	515		
			40 5-89-90	1598	276	92	34	103	23	21	20	11	6	104	23	21	20	11	1	1	1	1	1	1	1	1	212	
		Gl. calida	41 5-90-91	2110	219	107	48	155	17	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	4 348		
			42 5-91-92	1323	223	133	27	20	36	39	13	13	122	28	207	20	33	30	43	20	7	13	27	17	17	17	3 309	
		Gl. calida	43 5-92-93	2216	221	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 351		
			44 5-93-94	2197	221	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 351		
		Gl. calida	45 5-94-95	2193	231	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		
			46 5-95-96	1662	230	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		
		Gl. calida	47 5-96-97	1662	230	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		
			48 5-97-98	1662	230	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		
		Gl. calida	49 5-98-99	1662	230	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		
			50 5-99-100	1662	230	107	48	20	36	22	165	5	41	65	15	10	5	5	15	29	29	29	29	29	29	4 356		

Gambar 3. Tabel distribusi dan biozonasi inti sedimen S8.



Gambar 4 Kelimpahan relatif *thermocline dweller* pada inti sedimen S8 yang mengindikasikan kedalaman termoklin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis sangat berterima kasih kepada Pusat Penelitian Oseanografi LIPI khususnya Udhi Hermawan, Ph.D. selaku *chief scientist* E-WIN 2006 atas izin penggunaan data yang diberikan, Singgih Prasetyo Adi Wibowo selaku teknisi beserta nakhoda dan seluruh anak buah kapal riset Baruna Jaya VIII atas bantuan selama pengambilan data, Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI dan Program Studi Teknik Geologi ITB atas fasilitas laboratorium, serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas bantuan dana penelitian yang diberikan kepada Ryan Dwi

Wahyu Ardi (No. kontrak : 20160611017188).

REFERENSI

- Aldrian, E. dan Susanto, R.D., 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature, *International Journal of Climatology* 23, 1435 – 1452. doi: 10.1002/joc.950
- Baohua, L., Zhimin, J., dan Pinxian, W., 1997. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years, *Marine Micropaleontology* 32, 59 – 69.
- Barmawidjaja, B.M., Rohling, E.J., van der Kaars, W.A., Vergnaud Grazzini, C., dan Zachariasse, W.J., 1993. Glacial conditions in the northern Moluccas Sea region (Indonesia), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 101: 147-167.
- Blow, W.H., 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal Biostratigraphy dalam Bronnimann, R. & Renz, H. H., 1967, ed., *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils* 1, 199 – 421, Geneva.
- Blow, W. H., 1970. Validity of biostratigraphic correlations based on the Globigerinacea, *Micropaleontology* 16, 257 – 268.
- Bolli, H.M. dan Saunders, J.B., 1985. Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera dalam Bolli, H. M., Saunders, J. B., dan Perch – Nielsen, K., 1985, ed., *Plankton stratigraphy, Vol I*, 155 – 262, Cambridge University Press, Cambridge.
- Ding, X., Bassinot, F., Guichard, F., Li, Q. Y., Fang, N. Q., Labeyrie, L., Xin, R. C., Adisaputra, M. K., dan Hardjawidjaksana, K., 2006. Distribution and ecology of planktonic foraminifera from the seas around the

- Indonesian Archipelago, *Marine Micropaleontology* 58, 114 – 134.
- Ding, X., Bassinot, F., Guichard, F., dan Fang, N. Q., 2013. Indonesian Throughflow and monsoon activity record in The Timor Sea since the last glacial maximum. *Marine Micropaleontology* 101, 115 – 126. doi: 10.1016/j.marmicro.2013.02.003
- Gordon, A. L., 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow, *Oceanography* 18 (4), 14 – 27.
- Hautala, S.L., Reid, J.L., dan Bray, N., 1996. The distribution and mixing of Pacific water masses in the Indonesian Seas, *Journal of Geophysical Research* 101, 12.375 – 12.389.
- Mohtadi, M., Max, L., Hebbeln, D., Baumgart, A., Kruck, N., dan Jennerjahn, T., 2007. Modern environmental conditions recorded in surface sediment samples off W and SW Indonesia: Planktonic foraminifera and biogenic compounds analyses, *Marine Micropaleontology* 65, 96 – 112. doi:10.1016/j.marmicro.2007.06.004
- Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, 2016. *Laporan Akhir Ekspedisi Widya Nusantara 2016*, 10 – 69 (Tidak dipublikasikan).
- Sijinkumar, A.V., Nagender Nath, B., Possnert, G., dan Aldahan, A., 2011. *Pulleniatina* minimum events in the Andaman Sea (NE Indian Ocean): implications for winter monsoon and thermocline changes, *Marine Micropaleontology* 81, 88 – 94. doi:10.1016/j.marmicro.2011.09.001
- Spooner, M.I., Barrows, T.T., De Deckker, P., doi:10.1016/j.marmicro.2005.10.003
- dan Paterne, M., 2005. Palaeoceanography of the Banda Sea, and Late Pleistocene initiation of the Northwest Monsoon, *Global and Planetary Change* 49, 28 – 46. doi:10.1016/j.gloplacha.2005.05.002
- Steinke, S., Prange, M., Feist, C., Groeneveld, J., dan Mohtadi, M., 2014. Upwelling variability off southern Indonesia over the past two millennia, *Geophysical Research Letter* 41, 7684 – 7693. doi:10.1002/2014GL061450.
- van Iperen, J.M., van Bennekum, A.J., dan van Weering, T.C.E., 1993. Diatoms in surface sediments of the Indonesian Archipelago and their relation to hydrography, *Hydrobiologia* 269/270, 113–128.
- Wyrtski, K., 1987. Indonesian Throughflow and the associated pressure gradient, *Journal of Geophysical Research* 92, 12941– 12946.
- Wyrwoll, K. H. dan Miller, G. H., 2001. Initiation of the Australian summer monsoon 14,000 years ago, *Quaternary International* 83–85, 119– 128.
- Xu, J., Kuhnt, W., Holbourn, A., Andersen, N., dan Bartolli, G. (2006): Changes in the vertical profile of the Indonesian Throughflow during Termination II: Evidence from the Timor Sea, *Paleoceanography*, 21, 4202. doi:10.1029/2006PA001278