

KETERKAITAN PERUBAHAN IKLIM PADA GLASIAL AKHIR - HOLOSEN TERHADAP TINGKAT KEANEKARAGAMAN FORAMINIFERA DI LAUT HALMAHERA

CORELATIONS OF CLIMATE CHANGE IN THE LAST GLACIAL - HOLOCENE TO THE VARIATION OF FORAMINIFERA IN THE HALMAHERA SEA

Fitria Ratna Pratiwi¹, Suwarno Hadisusanto¹, Luli Gustiantini², Nazar Nurdin² dan Mira Yosi²

¹Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, email: fitria.ratna.p@gmail.com

²Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung

Diterima : 04-11-2019, Disetujui : 01-04-2020

ABSTRAK

Laut Halmahera terletak pada *Western Pacific Warm Pool* (WPWP), yaitu pusat konveksi panas di Samudera Pasifik Barat tropis. Laut ini merupakan salah satu jalur masuk Arlindo yang menghubungkan massa air Samudera Pasifik dengan Samudera Hindia. Sehingga area ini penting untuk rekonstruksi paleoklimat. Peristiwa perubahan glasial akhir-interglasial (Holosen) merupakan peristiwa di masa lalu yang sangat mempengaruhi kondisi Laut Halmahera. Salah satu proksi yang dapat digunakan untuk mencatat perubahan iklim di masa lalu adalah sisa-sisa makhluk hidup, termasuk foraminifera. Perubahan yang terjadi pada foraminifera dapat diamati dari tingkat keanekaragaman, kelimpahan, dominansi, dan keseragaman. Penelitian dilakukan dengan menggunakan sampel sedimen bor MD10-3339, yang diambil di Laut Halmahera (00°26,67'LS dan 128°50,33'BT) pada kedalaman 1.919 m, dalam survei *MONOCIR* 2 tahun 2010. Sampel yang digunakan pada rentang 20 cm hingga 1.930 cm dengan interval 60 cm pada tiap sampel, yang dianggap mewakili waktu terjadinya glasial-interglasial. 30 sampel kemudian diamati dan dilakukan analisis secara kuantitatif. Teridentifikasi 52 spesies yang terdiri dari 32 spesies foraminifera bentonik dan 21 spesies foraminifera planktonik. Nilai indeks keanekaragaman, nilai indeks keseragaman, dan indeks dominansi menunjukkan nilai yang fluktuatif sejak glasial-interglasial, dengan nilai rata-rata 1,66; 0,35; dan 0,3. Walaupun tidak menunjukkan pola glasial-interglasial, namun pada sekitar umur 12.519 BP, nilai indeks keanekaragaman dan nilai keseragaman menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai yang lain yaitu 1,102 dan 0,26. Sebaliknya, indeks dominansi mencapai nilai tertinggi yaitu 0,55. Selain itu, persentase *P. obliqueloculata* pada umur ini menjadi sangat dominan yaitu 73,05%. Hal tersebut kemungkinan berkaitan dengan peristiwa *Younger Dryas*.

Kata Kunci : Foraminifera, *Younger Dryas*, Laut Halmahera.

ABSTRACT

Halmahera Sea lies in the centre of Western Pacific Warm Pool (WPWP), the warmest area in Tropical Pacific Ocean that play a role as center of heat convection. It is also one of the Indonesian throughflow pathways connecting water mass from Pacific Ocean to The Indian Ocean, therefore this area is considered important for climatic reconstruction. Glacial-interglacial cycle is one of the major events in the past that strongly influence the Halmahera Sea. Potential proxies for paleoclimatic reconstruction are including living organisms remain, such as foraminifera. Respond of foraminifera can be observed from their diversity, abundance, dominance, and their evenness. This study was conducted by analyzing sediment core MD10-3339, collected from the Halmahera Sea (00°26.67" S, 128°50.33" E) in 1,919 m water depth, during the cruise MONOCIR 2 in 2010. Samples were analyzed from 20 cm to 1,930 cm at 60 cm intervals. A total of 30 samples were observed and analyzed. 52 species of foraminifera are found, composed of 32 species of benthonic foraminifera and 21 species of planktonic foraminifera. The analyses of diversity index, evenness, and dominance indicate fluctuated values between glacial-interglacial, with averages values are 1.66, 0.35, and 0.3 respectively. Although the values do not indicate glacial-interglacial trend, however, in 12,519 BP diversity index and evenness index showed the lowest number compared to the other ages (1.102 and 0.26, respectively), in

contrast the highest dominance index (0.55). Furthermore, at this time, the percentage of *Pulleniatina obliquiloculata* increase (73.05%) and become dominant. This occurrence might be related to the Younger Dryas event.

Keywords: Foraminifera, Younger Dryas, Halmahera Sea.

PENDAHULUAN

Laut Halmahera merupakan bagian dari *Western Pacific Warm Pool* (WPWP) yang menjadi pusat konveksi panas. Selain itu, Laut Halmahera juga dilewati oleh sistem arus laut global (sirkulasi termohalin) di Indonesia yang disebut arus lintas Indonesia (Arlindo). Kondisi ini menyebabkan Laut Halmahera menjadi penting bagi perkembangan iklim (Xu dkk., 2010; Gustiantini dkk., 2015).

Laut Halmahera sebagai bagian dari bumi tentu akan mengalami perubahan secara fisik maupun kimiawi. Menurut penelitian yang dilakukan Gustiantini (2018), terjadi pola fluktuasi nilai oksigen isotop dari $\delta^{18}O$ *Globigerinoides ruber* di Laut Halmahera yang mengidentifikasi adanya perubahan suhu. Pada saat glasial akhir suhu cenderung dingin dengan rata-rata suhu 26,6°C lebih rendah sekitar 2,9°C dibandingkan saat interglasial (Holosen) yakni 29,5°C (Gustiantini, 2018). Perubahan suhu yang terjadi di Laut Halmahera pada glasial akhir dan Holosen ini tentu akan berpengaruh terhadap organisme yang berhabitat di lingkungan tersebut. Salah satu organisme yang dapat terpengaruh oleh perubahan lingkungan yakni foraminifera. Foraminifera merupakan organisme bercangkang kalsium karbonat yang dapat digunakan untuk penyelidikan iklim masa lalu karena dapat menggambarkan kondisi fisik maupun kimiawi lautan (Herho, 2017).

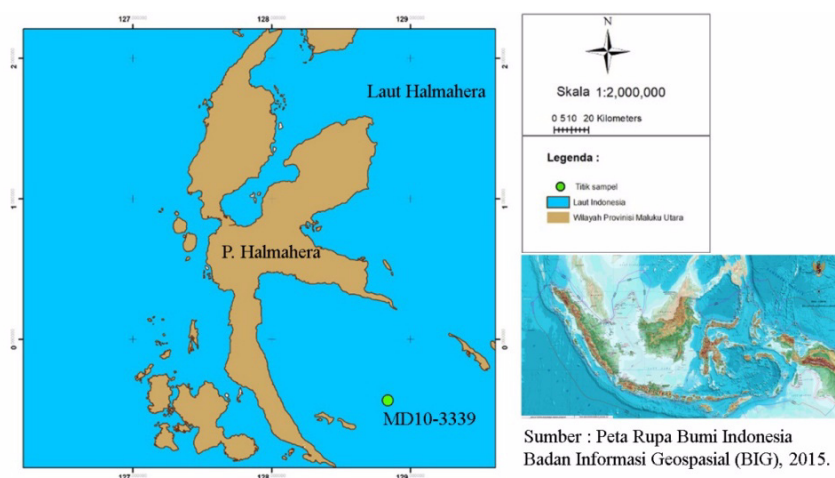
Penelitian mengenai foraminifera di Laut Halmahera telah dilakukan sebelumnya oleh Gustiantini dkk (2015) dan Gustiantini (2018). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ada perbedaan kelimpahan foraminifera yang sangat signifikan antara glasial dan interglasial. Foraminifera saat glasial lebih didominasi oleh *Pulleniatina obliquiloculata*, sedangkan saat interglasial lebih didominasi oleh *G. ruber*. Namun dalam penelitian tersebut belum secara terperinci membahas tentang tingkat keanekaragaman foraminifera, sehingga pada

kesempatan ini penulis tertarik untuk lebih fokus membahas tingkat keanekaragaman, keseragaman dan dominansi foraminifera di Laut Halmahera, dan melihat bagaimana kaitannya dengan perubahan iklim yang terjadi pada interval periode Glasial akhir-Holosen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan sampel sedimen bor MD10-3339 (00°26,67'LS dan 128°50,33'BT) pada kedalaman 1.919 m, hasil *Cruise MONOCIR 2* pada tahun 2010 (Gambar 1) (Gustiantini dkk., 2015). Bor inti yang diambil pada penelitian ini sepanjang 38,91 m. Sampel diambil pada rentang 20 cm hingga 1.930 cm dengan interval 60 cm. Sampel diambil pada rentang tersebut karena sudah mewakili glasial akhir dan holosen, rentang umur tersebut diketahui dari penelitian yang dilakukan Gustiantini (2018).

Sebelum dijenkik, sampel terlebih dahulu dicuci agar substrat-substrat yang menempel pada foraminifera dapat hilang. Selanjutnya sampel dijenkik. Proses penjenkikan dilakukan pada 300 cangkang foraminifera dengan ukuran >150 μm . Apabila volume sampel cukup besar, maka sampel dibagi-bagi terlebih dahulu sampai mengandung cangkang foraminifera ± 300 individu. Hasil yang diperoleh kemudian dikalikan kembali dengan pembagi yang sudah dilakukan. Setelah penjenkikan kemudian dilakukan identifikasi. Proses identifikasi mengacu pada Postuma (1971), Bolli dkk. (1985), Loeblich dan Tappan (1988), Jones (1969), Todd (1994), dan Holbourn dan



Gambar 1. Lokasi penelitian dan titik sampel sedimen bor MD10-3339 Laut.

Hendersen (2002) dengan melihat pada jenis cangkang, jumlah kamar, bentuk serta letak apertur, dan bentuk kamar. Selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif meliputi cacah individu dan persentase setiap individu per sampel, sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis selanjutnya (perhitungan perbandingan planktonik bentonik/PB rasio, indeks diversitas/keanekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominansi).

Indeks Keanekaragaman (H')

Indeks keanekaragaman adalah kekayaan atau variasi spesies yang terdapat pada suatu lokasi. Persamaan untuk mendapatkan nilai indeks keanekaragaman menggunakan persamaan Shannon-Wiener (Krebs, 1989), yakni :

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\ln p_i) \quad (1)$$

Keterangan :

H' = Indeks Keanekaragaman

pi = Cacah proporsi kemelimpahan spesies

ln = Logaritma natural

Kriteria nilai indeks keanekaragaman berdasarkan Shannon-Wiener (Ludwig dan Reynolds, 1988) sebagai berikut :

- $H' \leq 2$ = keanekaragaman rendah
- $2 < H' < 3$ = keanekaragaman sedang
- $H' \geq 3$ = keanekaragaman tinggi

Indeks Keseragaman (evenness)

Persamaan untuk mendapatkan nilai indeks keseragaman menggunakan Buzas dan Gibson (1969), yakni :

$$E = e^{H'/S} \quad (2)$$

Keterangan :

E = Indeks keseragaman

H' = Indeks keanekaragaman

S = Kemelimpahan spesies

e = Konstanta euler (2,72).

Dominansi

Dominansi adalah nilai yang menyatakan tingkat dominansi suatu spesies tertentu dalam suatu komunitas

$$D = \frac{n_i}{n} \quad (3)$$

Keterangan :

D = Dominansi

n_i = Jumlah individu spesies i

n = Jumlah individu seluruh spesies

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan umur sedimen MD10-3339 telah dilakukan oleh Gustiantini (2018) dengan metode AMS ^{14}C dating (30 titik) yang dikombinasikan dengan data $\delta^{18}\text{O}$ *Globigerinoides ruber*. Umur yang diperoleh pada sedimen yang digunakan untuk penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

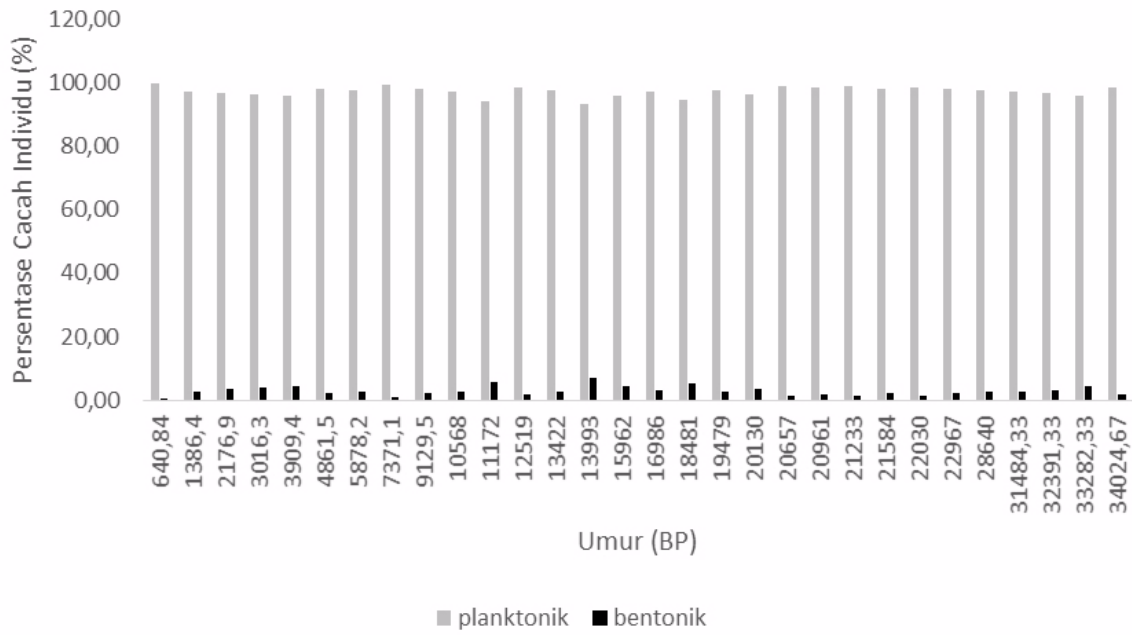
Foraminifera pada umur 34.024,67 BP-640,84 BP sedimen MD10-3339 terdiri dari 52 spesies. Foraminifera bentonik yang ditemukan pada sedimen MD10-3339 yakni 31 spesies dan foraminifera planktonik sebanyak 21 spesies. Cacah spesies foraminifera dari umur 640,84 BP hingga 34.024 BP (Gambar 2) terus mengalami perubahan. Cacah spesies foraminifera planktonik tertinggi yakni saat umur 33.282 BP yakni 16 spesies dan foraminifera planktonik terendah yakni 8 spesies pada umur 5.878,2 BP, 13.993 BP dan 18.481 BP. Cacah spesies foraminifera bentonik paling tinggi yakni pada umur 18.481 BP yakni 9 spesies dan paling rendah saat 640,84 BP yakni 1 spesies (Gambar 2).

Pada penelitian ini ditemukan cacah spesies foraminifera bentonik lebih rendah daripada foraminifera planktonik (Gambar 2), namun untuk cacah individu pada penelitian ini juga banyak ditemukan foraminifera planktonik (Gambar 3).

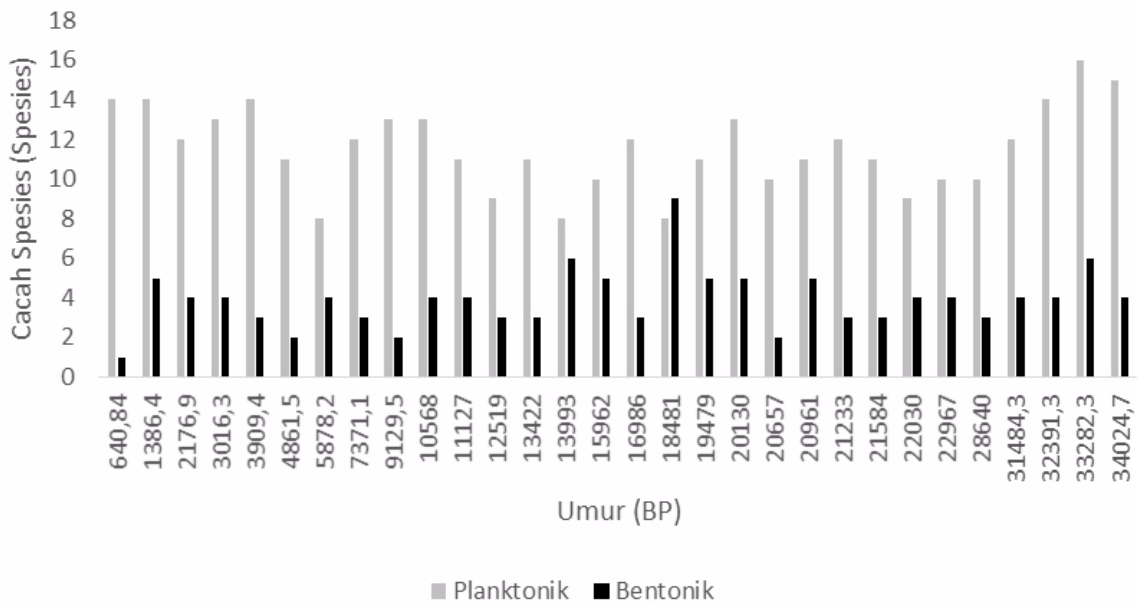
Rerata persentase individu foraminifera planktonik pada penelitian ini (nilai rasio P/B rasio) sangat tinggi yakni 97,16% dengan rata-rata

Tabel 1. Umur hasil interpolasi pada setiap sampel sedimen Bor MD10-3339 dengan kedalaman kolom air 1,919 meter (Gustiantini, 2018).

No.	Kedalaman (cm)	Umur (BP) (interpolasi)	Umur (masehi)	No.	Kedalaman (cm)	Umur (BP) (interpolasi)	Umur (masehi)
1	20	640,84	1309,16	16	935	16986	-15036
2	80	1386,4	563,6	17	1025	18481	-16531
3	140	2176,9	-226,9	18	1100	19479	-17529
4	200	3016,3	-1066,3	19	1160	20130	-18180
5	260	3909,4	-1959,4	20	1235	20657	-18707
6	320	4861,5	-2911,5	21	1295	20961	-19011
7	380	5878,2	-3928,2	22	1355	21233	-19283
8	440	7371,1	-5421,1	23	1415	21584	-19634
9	505	9129,5	-7179,5	24	1475	22030	-20080
10	575	10568	-8618	25	1550	22967	-21017
11	605	11172	-9222	26	1625	28640	-26690
12	665	12519	-10569	27	1745	31484,33	-29534,3
13	725	13422	-11472	28	1805	32391,33	-30441,3
14	785	13993	-12043	29	1870	33282,33	-31332,3
15	845	15962	-14012	30	1930	34024,67	-32074,7



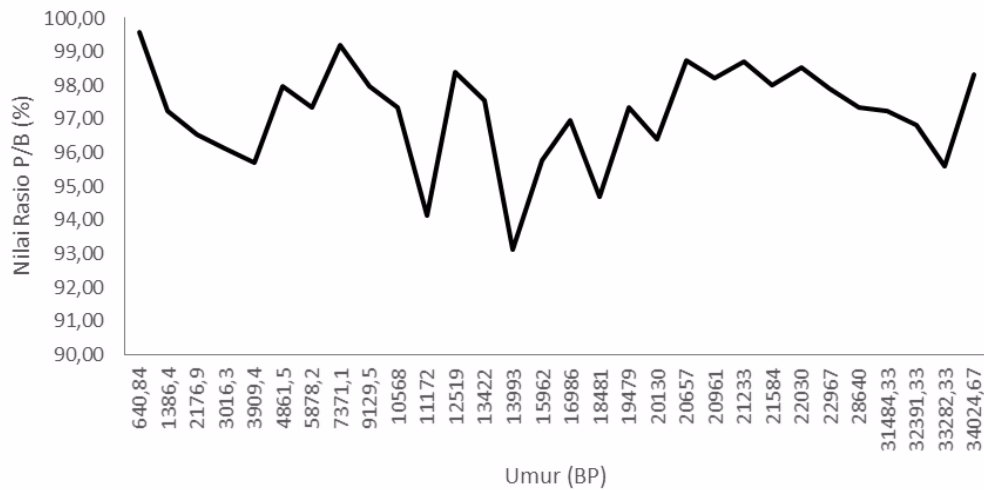
Gambar 2. Cacah spesies foraminifera pada umur 34.024,67 BP - 640,84 BP.



Gambar 3. Persentase cacah individu foraminifera planktonik dan bentonik pada umur 34.024,67 BP - 640,84 BP.

cacah individu pada setiap umur 3.854 individu per sampel (Gambar 4). Nilai rasio P/B tertinggi pada umur 640,84 BP (99,57%) dan yang terendah yakni pada umur 13.993 BP (93,1%). Cacah individu foraminifera bentonik rata-rata sangat rendah

Jenis foraminifera planktonik yang banyak ditemukan antara lain *Globigerinoides ruber*, *Globigerina bulloides*, *P. obliquiloculata*, dan *Neogloboquadrina dutertrei* sedangkan *Bolivinita quadrilatera*, *Bolivina robusta*, *Ceratobulimina*

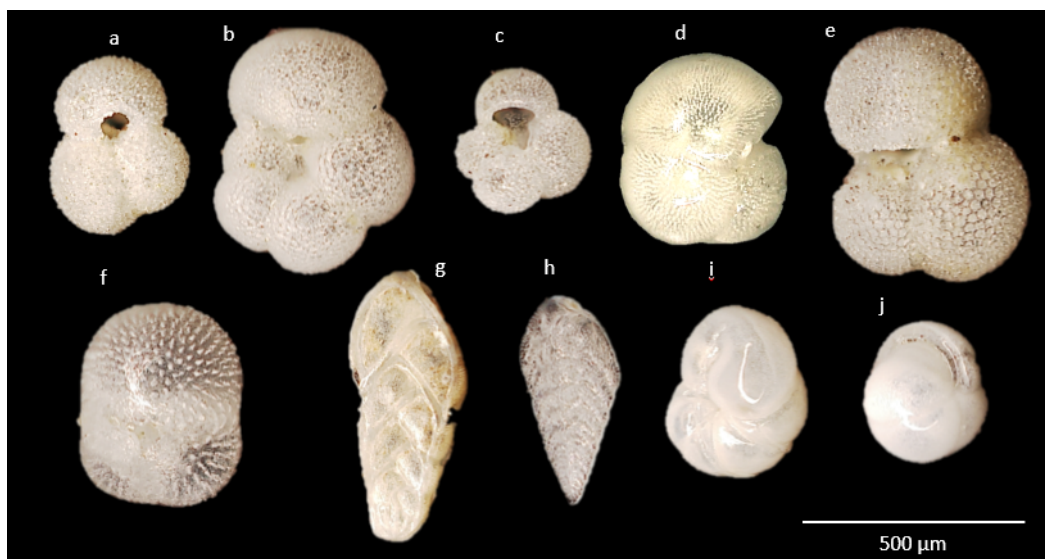


Gambar 4. Grafik nilai rasio P/B pada umur 34024,67 BP hingga 640,84 BP.

dengan rata-rata 113 individu per sampel (persentase = 2,84%), persentase cacah tertinggi yakni pada umur 13.993 BP yakni 6,9% dan terendah pada 640,84 BP 0,43% (Gambar 3). Nilai rasio P/B pada saat glasial yakni 97,42%, sementara saat holosen yakni 97,19% (Gambar 4).

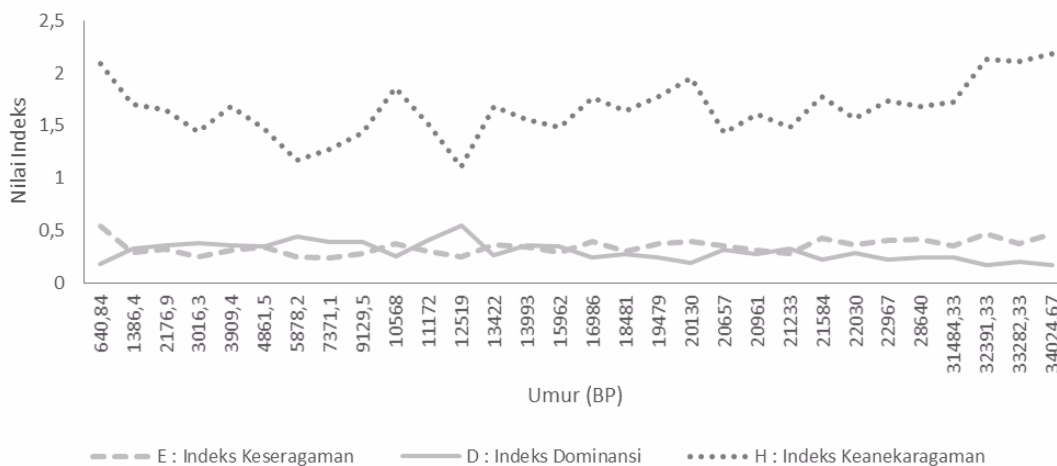
pacifica, dan *Pullenia bulloides* merupakan spesies-spesies yang cukup banyak ditemukan dari jenis foraminifera bentonik (Gambar 5).

Nilai indeks keanekaragaman pada penelitian ini secara umum adalah <2 dengan nilai rata-rata 1,58, kecuali pada 4 titik sampel nilainya >2 yakni saat umur 640,84 BP, 32.391,33 BP, 33.282,33 BP,



Gambar 5. Foraminifera yang ditemukan yakni *Globigerinoides ruber* (a), *Neogloboquadrina dutertrei* (b), *Globigerina bulloides* (c), *Pulleniatina obliquiloculata* (d), *Globigerinoides sacculiferus* (e), *Sphaeroidinella subdehiscens* (f), *Bolivinita quadrilatera* (g), *Bolivina robusta* (h), *Ceratobulimina pacifica* (i), dan *Pullenia bulloides* (j).

dan 34.024 BP (rata-rata 2,13). Nilai indeks diversitas paling rendah adalah pada umur 12.519 BP yaitu 1,102, sedangkan nilai indeks diversitas paling tinggi adalah ketika umur 640,84 BP (2,086) (Gambar 6). Nilai indeks dominansi dan nilai indeks keseragaman juga mengalami fluktuasi. Indeks dominansi pada penelitian ini cenderung mengalami kenaikan dari umur 34.024,67 BP ke 640,84 BP. Indeks dominansi rata-rata adalah 0,36 dengan nilai dominansi tertinggi yakni saat umur 12.519 BP (0,5475) dan saat umur ini nilai keseragaman sebaliknya menunjukkan nilai rendah (0,2509). Nilai keseragaman pada umur 34.024,67 BP - 640,84 BP memiliki nilai rata-rata 0,32. Nilai indeks keseragaman paling rendah adalah pada umur 7.371,1 BP (0,24) sedangkan nilai indeks keseragaman paling tinggi adalah ketika umur 640,84 BP (0,54) (Gambar 6).



Gambar 6. Grafik nilai indeks keaneekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominansi pada umur 34.024,67 BP – 640,84 BP.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada 30 sampel diketahui bahwa umur termuda pada penelitian ini yakni umur 640,84 BP, sedangkan umur tertua yakni 34.024,67 BP. Foraminifera yang melimpah pada penelitian ini yakni didominasi oleh foraminifera planktonik, meskipun untuk cacah spesies foraminifera bentonik lebih bervariasi. Sampel sedimen MD10-3339 pada rentang umur 640,84 BP hingga 34.024,67 BP didominasi oleh foraminifera planktonik dengan nilai PB rasio relatif konstan yaitu rata-rata 97,16%, menunjukkan bahwa Laut Halmahera pada rentang umur tersebut kondisi kedalaman tidak terlalu berubah, yaitu merupakan lingkungan laut dalam dengan zona batial bawah (Tabel 2). Menurut Boltovskoy dan Wright (1976), semakin ke arah laut dalam jumlah planktonik semakin meningkat

dibandingkan dengan jumlah foraminifera bentonik atau dapat dikatakan kelimpahan foraminifera bentonik berbanding terbalik dengan kelimpahan foraminifera planktonik terhadap kedalaman. Selain dari nilai rasio P/B hal ini juga dapat dilihat dari ditemukannya spesies *Oridorsalis umbonatus*, *Sphaeroidina bulloides*, *C. pacifica*, dan *P. bulloides* yang menurut van Marle (1988) merupakan spesies yang hidup di zona batial.

Spesies yang ditemukan melimpah pada penelitian ini yakni spesies *G. ruber*, *N. dutertrei*, *G. bulloides*, *P. obliquiloculata*, *Globigerinoides sacculiferus*, *Sphaeroidinella subdehiscens*, *B. quadrilatera*, *B. robusta*, *C. pacifica*, dan *Pullenia bulloides* (Gambar 4). Spesies *G. ruber* merupakan spesies yang paling melimpah pada penelitian ini. Spesies ini bersama *Globigerinoides sacculiferus* merupakan spesies yang melimpah diperairan

hangat (Funnel dan Riedel, 1971). Spesies foraminifera bentonik yang melimpah yakni spesies *Bolivinita quadrilatera* yang merupakan foraminifera bentonik penciri lingkungan dengan kadar oksigen menengah (Bernhard dan Sen Gupta, 1999), selain itu *Bolivina robusta*

Tabel 2. Klasifikasi rasio P/B (Murray, 1976 dan Haq dan Boersma, 1983 dalam Valchev, 2003).

Rasio P/B (%)	Lingkungan
<20	Neritik dalam (paparan dalam)
20 – 60	Neritik tengah (paparan tengah)
>60 -70	Neritik luar (paparan luar)
>70	Batial atas
>90	Batial bawah

merupakan jenis bentonik yang hidup dalam lingkungan rendah oksigen (van Marle, 1988; Hayward, 2004)

Spesies *G. ruber* ditemukan melimpah hampir pada seluruh umur pada penelitian ini dengan rerata 38,81%. Spesies ini merupakan spesies yang tersebar luas di perairan tropis dan subtropis dan dapat ditemukan sepanjang tahun (Thirumalai dkk., 2014). Spesies ini paling melimpah saat umur 5.878,2 BP yakni 60,93% dan terendah saat umur 11.127 BP yakni 3,88%.

Secara umum, nilai indeks keanekaragaman, indeks keseragaman dan indeks dominansi tidak menunjukkan pola perubahan glasial-interglasial. Pada umur 640,84 BP nilai indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman paling tinggi yaitu 2,086 dan 0,54, sebaliknya nilai indeks dominansi sangat rendah yaitu 0,182. Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi pada titik tersebut relatif merata, kemungkinan kondisi perairan sangat optimum bagi perkembangan foraminifera, setiap jenis bisa berkembang secara merata/seragam, sehingga tidak ada jenis tertentu yang mendominasi, atau tingkat dominansi rendah (Gambar 6).

Sementara itu, saat umur 12.519 BP memperlihatkan nilai indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman rendah (1,102 dan 0,25), sebaliknya nilai indeks dominansi paling tinggi (0,55). Diketahui bahwa pada saat deglasiasi,

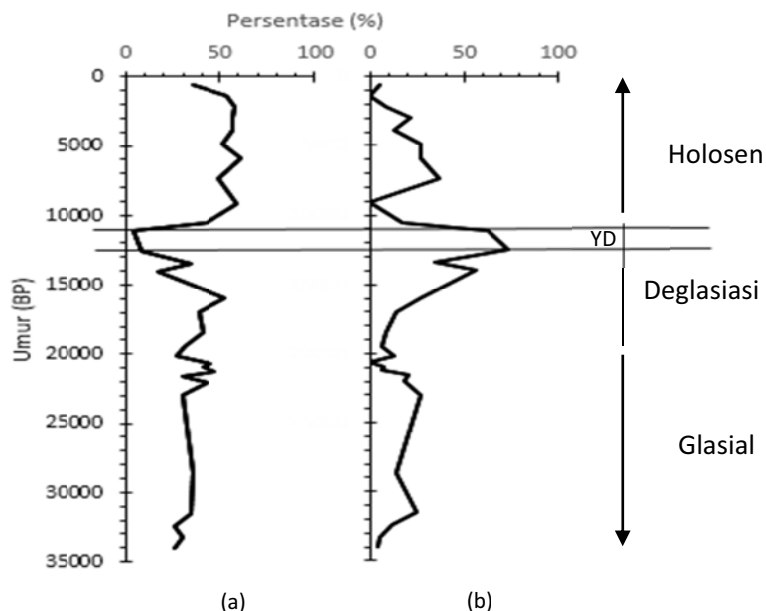
ketika iklim bumi mulai berangsur menghangat yang dimulai sejak berakhirnya glasial akhir maksimum (LGM = *Last Glacial Maximum*) atau sejak sekitar 18.000 BP, bumi tiba-tiba mendingin kembali pada sekitar umur ~11.600 sampai 12.900 BP, yang dikenal dengan peristiwa *Younger Dryas* (YD) (Carlson, 2010). Di Laut Halmahera suhu permukaan laut (SPL) pada peristiwa YD tersebut menurun menjadi sekitar 27°C, setelah sebelumnya terus meningkat sejak LGM sampai mencapai SPL sekitar 29°C pada umur 13.000 BP (Gustiantini, 2018). Hal ini menunjukkan peristiwa YD sangat mempengaruhi distribusi foraminifera, kemungkinan banyak jenis foraminifera yang tidak dapat bertahan terhadap perubahan bumi yang mendingin dengan tiba-tiba ketika bumi seharusnya menghangat. Akibatnya tingkat dominansi meningkat, sebaliknya keanekaragaman dan keseragaman menurun.

Saat umur 12.519 BP ini ditemukan 9 spesies foraminifera planktonik dan 3 spesies foraminifera bentonik (Gambar 2). Pada saat itu, foraminifera sangat didominasi oleh *P. obliquiloculata* dengan persentase mencapai 73,05%. Jenis ini menggantikan *G. ruber* yang biasanya dominan, kali ini kelimpahannya menurun yaitu mencapai 8,8%. Tingginya spesies *P. obliquiloculata* saat peristiwa YD dapat terjadi karena spesies ini cenderung hidup di perairan dingin di daerah tropis yang kaya akan nutrisi (Baohua dkk., 1997).

Sementara genus *Globigerinoides* terutama *G. ruber* merupakan genus yang mayoritas hidup di perairan hangat dengan kandungan nutrisi rendah. Jika dilihat pada Gambar 7, diketahui bahwa kelimpahan *G. Ruber* meningkat ketika Holosen dan menurun ketika glasial, seperti yang sudah diungkapkan oleh Gustiantini dkk (2015).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan teridentifikasi 52 spesies foraminifera yang terdiri dari 32 spesies planktonik dan 21 spesies bentonik. Perhitungan nilai indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, dan indeks dominansi menunjukkan nilai yang fluktuatif sejak glasial akhir hingga Holosen, dengan nilai rata-rata adalah 1,66; 0,35; dan 0,3. Tidak ada perbedaan yang signifikan untuk nilai indeks keanekaragaman, indeks



Gambar 7. Grafik kemelimpahan *Globigerinoides ruber* (a) dan *Pulleniatina obliquiloculata* (b). *G. ruber* yang cenderung meningkat ketika deglasiasi tiba-tiba menjadi sangat rendah ketika peristiwa YD, sebaliknya *P. Obliquiloculata* menjadi sangat dominan.

keseragaman, dan indeks dominansi antara glasial dengan interglasial. Namun pengaruh perubahan iklim yang sangat jelas terhadap nilai-nilai indeks keanekaragaman, keseragaman dan tingkat dominansi terutama terjadi pada umur 12,519 BP yang kemungkinan berkaitan dengan peristiwa *Younger Dryas*. Pada umur ini perubahan iklim menjadi sangat dingin dan kering secara tiba-tiba ketika bumi seharusnya menghangat, menyebabkan indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman menjadi sangat rendah (1,102 dan 0,26), sedangkan nilai dominansi menjadi sangat tinggi (0,55). Banyak foraminifera yang tidak dapat bertahan dalam kondisi iklim ini, seperti *G. ruber* yang kelimpahannya menjadi sangat rendah (8,8%). Hanya jenis-jenis tertentu yang dapat bertahan, terutama *P. obliquiloculata* yang menjadi sangat dominan (persentase 73,05%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung (P3GL), Tim *Cruise MONOCIR 2*, kapten kapal penelitian Marion Dufresne beserta awak kapal, seluruh Tim IPEV, dan Michel Larue yang telah mempersiapkan dan menyelenggarakan survei MONOCIR 2 pada tahun 2010 sehingga diperoleh sampel sedimen dasar laut MD10-3339.

DAFTAR ACUAN

- Baohua, L., J. Zhimin, and W. Pinxian. 1997. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa trough during the last 20.000 years. *Marine Micropaleontology* 32:59-69.
- Bernhard, J.M. and B.K. Sen Gupta. 1999. Foraminifera of oxygen-depleted environments. *Modern Foraminifera* 1 : 201-216.
- Bolli, H.M., J.B. Saunders and K. Perch-Nelson. 1985. *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Boltovskoy, E. and R. Wright. 1976. *Recent Foraminifera*. Dr. W. June, B. V. Publisher. p: 515.
- Buzas, M. A. Dan T.G. Gibson. 1969. Species diversity: benthonic foraminifera in Western North Atlantic. *Science* 163(3862) : 72-75.
- Carlson, A.E. 2010. What caused the Younger Dryas Cold Event?. *Geology* 38(4) : 383-384.
- Ding, X., F. Bassinot, F. Guichard, Q.Y. Li, N.Q. Fang, L. Labeyrie, R.C. Xin, M.K. Adisaputra, and K. Hardjawidjaksana. 2006. Distribution and ecology of planktonic foraminifera from the seas around the Indonesian Archipelago. *Marine Micropaleontology* 58 : 114-134.
- Funnel, B.M. and W.R. Riedel (ed). 1971. *The Micropaleontology of Oceans*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Gustiantini, L., K.A. Maryunani, R. Zuraida, C. Kissel, F. Bassinot, dan Y. Zaim. 2015. Distribusi foraminifera di Laut Halmahera dari glasial akhir sampai resen. *Jurnal Geologi Kelautan* 13(1) : 25-36.
- Gustiantini, L. 2018. Paleoclimate reconstructions by multiproxy approaches in the Halmahera Sea since the Late Pleistocene – Holocene (Dissertation). ITB. Bandung.
- Haq, B.U. and A. Boersma (ed). 1983. *Introduction to Marine Micropaleontology*. Elsevier Biomedical. New York.
- Hayward, W.B. 2004. Foraminifera-based estimates of paleobathymetry using modern analogue technique, and the subsidence history of the early Miocene Waitemata Basin. *New Zealand Journal of Geology & Geophysics* 47 : 749- 767.
- Herho, S.H.S. 2017. *Paleoklimatologi untuk Pemula*. Perkumpulan Studi Ilmu Kemasyarakatan ITB. Bandung.
- Holbourn, A.E. and A.S. Henderson. 2002. Re-Illustration and Revised Taxonomy for Selected Deep-Sea Benthic Foraminifers. *Paleontologica Electronica*.
- Jones, D.K. 1969. *Introduction to Microfossils*. Hefner Publishing Company. New York.
- Jones, R.W. 2014. *Foraminifera and Their Applications*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Krebs, C.J. 1989. *Ecological Methodology*. Harper & Row Inc. Publisher. New York.
- Linsley, B.K. 1990. The record of deglaciation in the Sulu Sea : evidence for the younger dryas event in the tropical western pacific. *Paleoceanography* 5(6):1.025-1.039.
- Loeblich, A.R. and H. Tappan. 1988. *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Van Nostrand Reinhold. New York.

- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical Ecology : A Primer Methods and Computing*. John Wiley dan Sons. New York.
- Murray, J. W. 1976. A method of determining proximity of marginal seas to an ocean. *M. Geol.* 22 : 103-119.
- Postuma, J.A. 1971. *Manual of Planltonik Foraminifera*. Elsevier Publiding Co. London.
- Thirumalai, T., J.N. Richey, T.M. Quinn, and R.Z. Poore. 2014. *Globigerinoides ruber* morphotypes in the Gult of Mexico : a test of null hypothesis. *Scientific report 4* (6018) : 1-7.
- Todd, R. 1994. *Planktonic Foraminifera from Deep-Sea Cores off Eniwetok Atoll*. United States Government Printing Office. Washington.
- Valchev, B. 2003. On the potential of small benthic foraminifera as paleoecological indicators: recent advances. *Annual University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"* 46 (1) : 189-194.
- van Marle, L.J. 1988. Bathymetric distribution of benthic foraminifera on the Australian-Irian Jaya continental margin, Eastern Indonesia. *Marine Micropaleontology* 13 : 97-152.
- Xu, J., W. Kuhnt, A. Holbourn, M. Regenberg, and N. Andersen. 2010. Indo?Pacific Warm Pool variability during the Holocene and Last Glacial Maximum. *Paleoceanography* 25 : 1-16.

