

REKONSTRUKSI PERUBAHAN SUHU PERMUKAAN LAUT BERDASARKAN KUMPULAN FORAMINIFERA DI PERAIRAN UTARA PAPUA, SAMUDRA PASIFIK

ADRIANUS DAMANIK¹, KHOIRIL ANWAR MARYUNANI¹, SEPTRIONO HARI NUGROHO², PURNA SULASTYA PUTRA²

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132, Email: adrianusdamanik@gmail.com
2. Pusat Penelitian Geoteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Sari – Foraminifera merupakan salah satu proksi terbaik yang digunakan untuk mengetahui kondisi paleoekologi seperti penentuan suhu permukaan laut. Suhu permukaan laut menjadi parameter ekologi yang penting untuk membedakan karakteristik oseanografi pada suatu perairan/cekgungan. Penelitian ini melakukan rekonstruksi suhu permukaan laut (SPL) di Perairan Utara Papua berdasarkan kumpulan foraminifera planktonik. Pada penelitian ini digunakan sedimen inti dengan kode OS-07 yang diambil pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018. Wilayah ini dipilih karena merupakan pintu masuk arlindo (arus lintas Indonesia) sebagai bagian dari sirkulasi global sehingga Perairan Utara Papua dianggap akan merekam kejadian iklim global. Metoda yang digunakan adalah *Modern Analogue Technique* (MAT) dan pengelompokan foraminifera di Pasifik mengikuti Parker (1960) dalam Boltovskoy dan Wright (1976). Hasil analisis suhu menggunakan kedua metoda tersebut menunjukkan pola perubahan yang sama. Pada interval kedalaman 246-88 cm dominasi foraminifera zona tropik rendah sedangkan pada kelompok foraminifera subtropik, transitional, dan subantartik mengalami peningkatan yang diinterpretasikan kondisi suhu yang relatif lebih rendah. Foraminifera pada interval kedalaman 88-0 cm mengalami peningkatan dan terdapat dominasi kelompok foraminifera tropik yang diinterpretasikan adanya kondisi suhu yang relatif lebih tinggi. Hal ini juga selaras dengan hasil rekonstruksi SPL berdasarkan MAT dari data kumpulan foraminifera yang menunjukkan adanya dua pola SPL yaitu pada kedalaman 246-88 cm dan 84-0 cm. Peralihan kedua pola, interval kedalaman 86 cm, diinterpretasikan sebagai batas perubahan dari Pleistosen ke Holosen. Perbedaan suhu pada rata-rata untuk bulan Februari pada Pleistosen adalah 1,33°C lebih dingin dibandingkan pada Holosen dan perbedaan suhu pada bulan Agustus adalah 0,82°C lebih dingin pada Pleistosen dibandingkan pada Holosen.

Kata kunci: Foraminifera, SPL, MAT, Samudra Pasifik

Abstract - *Foraminifera is one of the best proxies used to determine the condition of paleoecology such as to determine sea surface temperature. Sea surface temperature is one of the important ecology parameters to distinguish the oceanography characteristic in a waters/basin. In this study, reconstruction of sea surface temperature (SST) in the North Papua Waters was conducted based on planktonic foraminifera abundance. For this study, we analyzed gravity core with code OS-07 taken during the Nusa Manggala Expedition 2018. This area was chosen because it is one of the ITF entrances, as branch of the global circulation. Therefore, the North Papua Waters are considered recording global climate events. Modern Analogue Technique (MAT) and foraminiferal grouping following the work of Parker (1960) in Boltovskoy and Wright (1976) were applied to this study. The results of temperature analysis using the two methods show the same trend changes. At intervals of 246-88 cm trophic zone foraminifera is not dominant while the subtropic, transitional, and subantarctic foraminifera groups are increasing which interpreted to be relatively lower temperature conditions. Foraminifera at 88-0 cm depth intervals, trophic foraminifera group is increasing and dominant, interpreted by relatively higher temperature conditions. These results are in line with the SST results based on MAT from the foraminifera data collection that shows that there were two SST trends, depths of 246-86 cm and 86-0 cm. The transition of two trend, at a depth of 86 cm, is interpreted as the boundary of Pleistocene to Holocene. The average temperature difference in February is 1.33°C cooler on Pleistocene compare to Holocene and in August is 0.82°C cooler on Pleistocene compare to Holocene.*

Key words: Foraminifera, SST, MAT, Pacific Ocean

1. PENDAHULUAN

Sedimen laut dapat merekonstruksi parameter-parameter paleoekologi seperti suhu permukaan laut, komposisi kimia air, informasi

biomassa atau pola vegetasi, variasi daerah geomagnetik, permukaan laut, presipitasi, dan aktivitas matahari, dengan memanfaatkan

proksi-proksi yang terkandung di dalamnya (Meissner, 2007; Bradley, 2015). Foraminifera yang terkandung dalam sedimen laut merupakan salah satu proksi terbaik yang digunakan untuk mengetahui kondisi paleoekologi karena sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Pringgoprawiro dan Kapid, 2000; Saraswat, 2015). Saraswat (2015) menyatakan bahwa variasi kelimpahan dan kumpulan adalah respons adaptif foraminifera terhadap perubahan lingkungan dengan habitat foraminifera.

Dengan kelimpahan yang relatif tinggi dan preservasi yang baik, foraminifera planktonik merupakan proksi yang ideal untuk menginterpretasikan sedimen laut terutama pada periode Kuarter (Sijinkumar dan Nath, 2012). Salah satu parameter paleoekologi yang dapat direkonstruksi menggunakan foraminifera planktonik adalah suhu permukaan laut (Meissner, 2007; Maryunani, 2009; Gustiantini et al., 2015; Gustiantini, 2018; Ardi et al., 2019).

Dalam penelitian ini, suhu permukaan laut (SPL) akan direkonstruksi melalui kumpulan foraminifera planktonik yang terdapat pada sedimen laut untuk mengetahui perubahan temporal dari SPL di lokasi penelitian. Penelitian terdekat lainnya yang merekonstruksi paleoekologi dari foraminifera pada sedimen laut adalah Maryunani (2009), Gustiantini et al., (2015), dan Gustiantini (2018). Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data oseanografi dan geologi keadaan terluar Indonesia yang juga merupakan bagian dari tujuan Ekspedisi Nusa Manggala 2018.

2. OSEANOGRAFI REGIONAL

Perairan utara Papua di Samudra Pasifik berada pada posisi yang strategis karena merupakan salah satu pintu masuk arlindo (arus lintas Indonesia) yang merupakan bagian dari sirkulasi oseanografi global (Hasanudin, 1998; Ilahude dan Nontji, 1999). Selain berperan sebagai pintu masuk arlindo ke Indonesia, perairan utara Papua juga dipengaruhi oleh ENSO (*El Niño Southern Oscillation*)

(Gordon, 2005; Sprintall et al., 2014). Oleh karena itu, wilayah perairan utara Papua dianggap dapat merekam kejadian iklim global.

Berdasarkan laporan Tim Oseanografi Ekspedisi Nusa Manggala 2018 (Surinati, 2018), dinamika oseanografi di Perairan Utara Papua dipengaruhi oleh sirkulasi massa air dalam skala regional di Samudera Pasifik. Suhu permukaan laut di area ini bervariasi pada rentang 29.42–30.23°C. Untuk melengkapi kondisi oseanografi di daerah penelitian, **Gambar 1** merupakan peta SPL pada bulan Februari 2019 dan Agustus 2019. SPL bulan Agustus dipilih untuk mewakili suhu selama monsun tenggara (*Austral winter/Boreal summer*), sedangkan SPL Februari mewakili suhu selama muson barat laut (*Austral summer/Boreal winter*; Maryunani, 2009; Ardi, 2018) (**Gambar 1**). SPL bulan Februari 2019 lebih rendah (28-30°C) jika dibandingkan SPL bulan Agustus 2019 (>30°C). Variasi spasial salinitas permukaan laut tidak berbeda secara signifikan, yaitu berada pada rentang 33.85–34.28 PSU (*Practical Salinity Unit*).

3. DATA DAN METODE PENELITIAN

3.1 Data

Penelitian ini menggunakan data berupa sedimen inti dengan kode OS-07 (01°17'41" LU dan 132°36'51" BT) sepanjang 246 cm yang diambil dari kedalaman 4327 m di Perairan Utara Papua, Samudra Pasifik (**Gambar 2**). Kedalaman pengambilan sampel masih terletak diatas zona CCD pada lokasi penelitian (4.500-5000 m; **Gambar 2**; Berger, 1974 dalam Lisitzin, 1984). Sampel diambil pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018 dengan penginti gravitasi dari Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Data penanggalan radiokarbon (Damanik, dkk., *submitted*) menunjukkan sampel berumur ~19 ribu tahun dengan batas Plesitosen-Holosen (11.500 BP) pada kedalaman 90 cm.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Preparasi

Sedimen inti sepanjang 246 cm dipotong setiap satu cm sehingga menghasilkan 246 subsampel.

Analisis foraminifera dilakukan dengan interval 4 cm pada kedalaman 0-128 cm dan 8 cm pada kedalaman 128-246 cm berdasarkan perbedaan kecepatan pengendapan (Damanik, 2019). Sampel yang dipreparasi untuk pengamatan foraminifera dicuplik dari subsample dengan berat masing-masing sekitar 10 gram. Pencucian sampel dilakukan dengan metoda *swirling* karena sampel masih belum terkonsolidasi. Tahap berikutnya sampel disaring menggunakan saringan berukuran 170μ dan 149μ . Sampel yang telah disaring kemudian dikeringkan dengan oven dengan suhu 60°C .

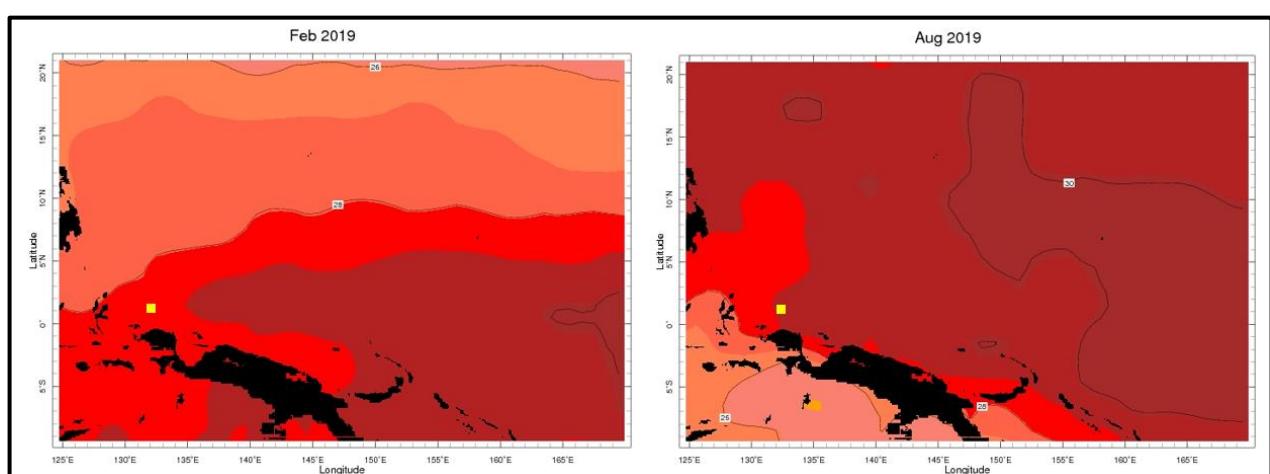
3.2.2 Determinasi Kuantitatif

Determinasi dilakukan berdasarkan pada literatur-literatur yang menjelaskan deskripsi dan pengelompokan taksa foraminifera: Barker, 1960; Blow, 1970; Bolli dkk., 1985.

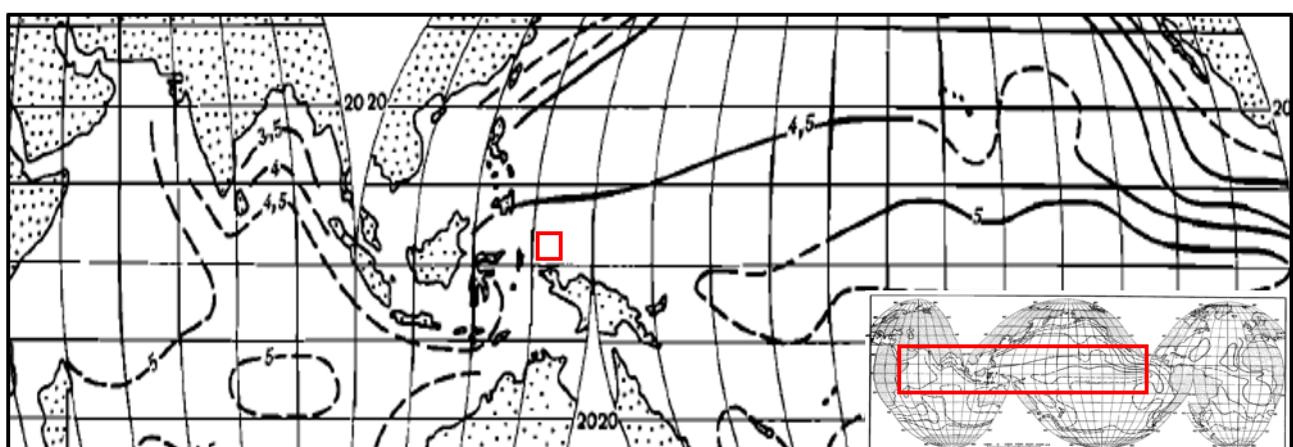
Determinasi kuantitatif dilakukan dengan metoda pengamatan 300 individu foraminifera. Menurut Dennison dan Hay (1967), jumlah tersebut dapat merepresentasikan kurang lebih 95% dari seluruh kemunculan fosil di dalam suatu sampel. Jika melebihi kelimpahan tersebut, maka terlebih dahulu dilakukan pembagian (*splitting*) sampel hingga pada satu bagian diperkirakan terdapat 300 individu foraminifera. Pada bagian tersebut masing-masing spesies yang teridentifikasi dihitung jumlahnya. Pengamatan pada bagian-bagian lain untuk mencari spesies yang belum hadir juga dilakukan dan kemudian dihitung satu individu.

3.2.3 Normalisasi

Normalisasi hasil determinasi kuantitatif dilakukan dua tahap yaitu terhadap jumlah pembagian dan berat sampel sesuai persamaan (1) dan (2) (Ardi et al., 2019):



Gambar 1. Peta SPL bulan Februari 2019 (kiri) dan bulan Agustus 2019 (kanan) (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/>). Titik kuning merupakan daerah penelitian.



Gambar 2. Posisi kedalaman pengendapan karbonat di dunia. Garis dengan satuan kilometer (Berger, 1974 dalam Lisitzin, 1984). Kotak merah merupakan lokasi penelitian.

$$\text{Jumlah spesies dalam sampel} = 2^n \times A \quad (1)$$

dengan:

A=jumlah spesies pada satu bagian yang dianalisis

n=jumlah *split*

$$\text{Jumlah spesies (ternormalisasi)} = \frac{\text{Massa ditimbang}}{\text{Massa diharapkan}} \times \text{Jumlah spesies dalam sampel} \quad (2)$$

3.2.4 Pengolahan dan Analisis Data

Analisis perubahan suhu dilakukan dengan menganalisis perubahan kelompok-kelompok foraminifera yang hidup di Samudra Pasifik dari Tropik-Subantartik menurut Parker (1960) dalam Boltovskoy dan Wright (1976). Analisis kumpulan foraminifera dilakukan dengan membagi kelompok foraminifera planktonik menjadi lima zona dari tropik sampai ke selatan Samudra Pasifik. Pembagian kelompok foraminifera dikontrol oleh perubahan suhu permukaan air laut (**Tabel 1**). Berdasarkan analisis ini akan menghasilkan perubahan spl secara kualitatif.

Analisis MAT (*Modern Analogue Technique*) dilakukan berdasarkan kumpulan foraminifera pada *database* yang diambil dari berbagai lokasi di seluruh dunia (Brown dkk., 1999 dan Locarnini dkk., 2006 dalam Maryunani, 2009). Hasil determinasi foraminifera planktonik pada daerah penelitian dibandingkan dengan bantuan perangkat lunak terbuka ANALOG (Schweitzer, 1998). Dengan mencocokkan data kumpulan foraminifera di lokasi penelitian dengan *database* yang ada, maka dapat diasumsikan memiliki SPL yang sama dengan SPL sampel. *Database* yang digunakan telah dimodifikasi oleh Maryunani (2009) untuk menyesuaikan dengan lokasi pengambilan sampel yang berada di daerah lintang rendah.

Sebelum melakukan perbandingan dengan perangkat lunak ANALOG, perlu ditentukan penentuan jarak dan jumlah lokasi yang memiliki kesamaan dengan lokasi penelitian. Dalam studi ini, angka 0 akan

merepresentasikan jarak kesamaan yang tinggi, sedangkan angka 1 merepresentasikan adanya perbedaan kumpulan foraminifera pada daerah penelitian dengan *database*. Sepuluh lokasi dari *database* yang memiliki kumpulan foraminifera paling sama dipilih dan nilai jarak kesamaan dan nilai SPL-nya dirata-ratakan sebagai hasil dari analisis MAT.

4. HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil determinasi foraminifera, terlihat pola yang berfluktuatif pada kelimpahan foraminifera. Rata-rata kelimpahan foraminifera 392/10 gram sedimen dengan nilai terendah 22/10 gram pada kedalaman 48 cm, dan tertinggi pada kedalaman 80 cm yaitu 2158/10 gram sedimen. Kelimpahan yang signifikan meningkat pada kedalaman 72–84 cm (rata-rata 1436/10 gram), sedangkan kelimpahan foraminifera yang sedikit (<50/10 gram) terdapat pada kedalaman 160–168 cm, 44–48 cm, 8 cm, dan 0 cm. Secara umum kelimpahan foraminifera cenderung lebih tinggi pada bagian yang lebih muda (kedalaman 120 cm ke atas) (**Gambar 3**).

Kelimpahan foraminifera bentonik sangat sedikit bila dibandingkan dengan kelimpahan foraminifera planktonik. Rata-rata kelimpahan foraminifera planktonik 372/10 gram, sedangkan foraminifera bentonik 20/10 gram, nilai maksimum kelimpahan foraminifera planktonik 2094/10 gram, dan bentonik hanya 64/10 gram, sedangkan nilai minimum kelimpahan foraminifera planktonik 15/10 gram, sedangkan foraminifera bentonik 2/10 gram (**Gambar 3**).

Berdasarkan analisis kelompok foraminifera, secara umum sampel sedimen didominasi foraminifera planktonik zona tropik dengan suhu yang paling tinggi, yaitu *Pulleniatina obliqueculata* dengan rata-rata 110 individu/10 gram sedimen dan *Globorotalia menardii* dengan rata-rata 40 individu/10 gram (**Gambar 3**).

Tabel 1. Pembagian kelompok foraminifera planktonik di Samudra Pasifik (Parker, 1960) dalam Boltovskoy dan Wright (1976).

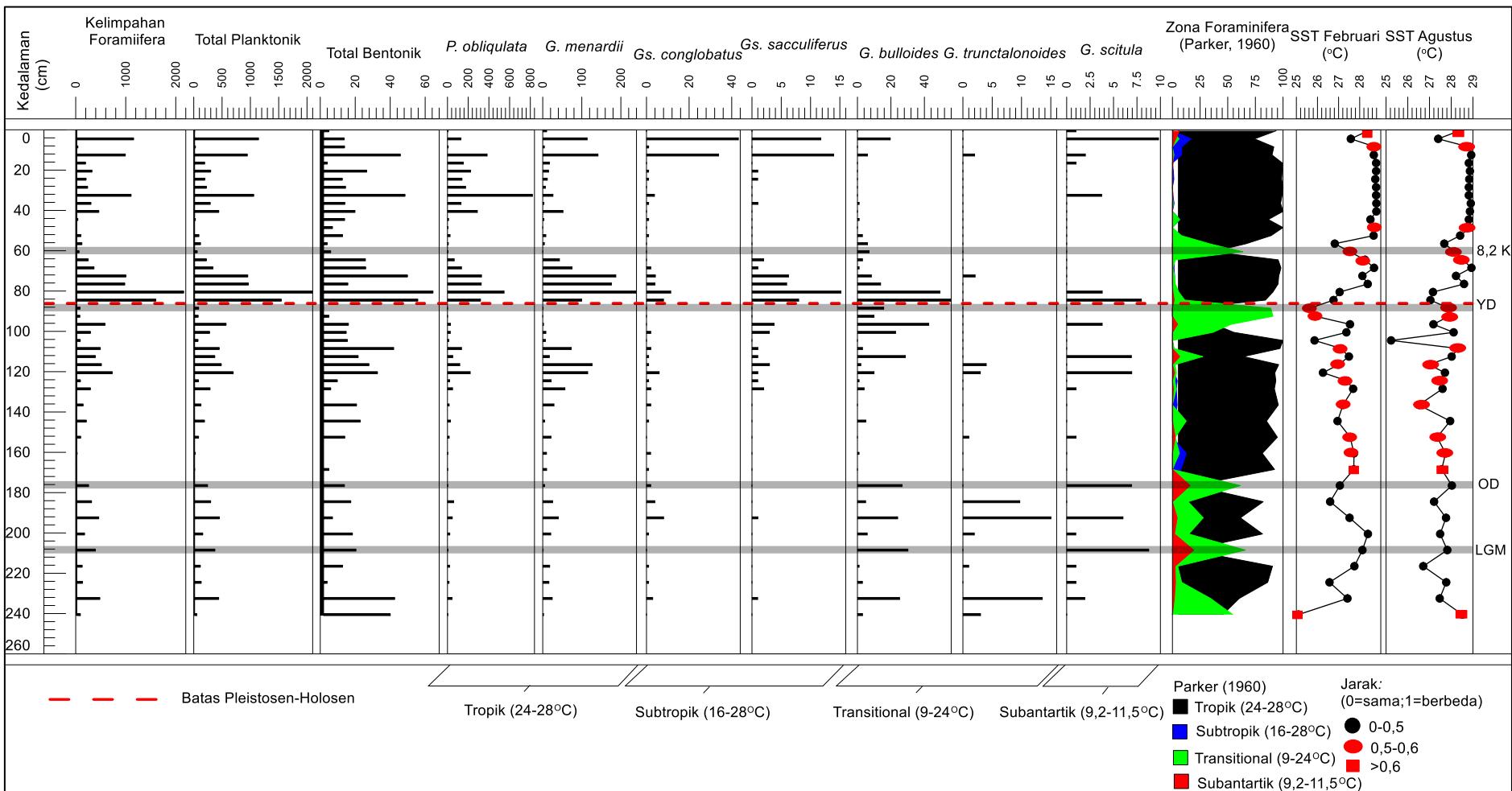
Kelompok spesies	Tersebar secara luas	Tropik	Subtropik	Transitional	Subantartik
Suhu	9-27,6°C	24-28°C	16-28°C	9-24°C	9,2-11,5°C
Spesies	<i>Globigerinella aequilateralis</i> , <i>Globigerinoides ruber</i> , <i>Hastigerina pelagica</i> , <i>Orbulina universa</i> .	<i>Globigerina conglobata</i> , <i>Globigerina hexagona</i> , <i>Globigerinoides sacculiferus</i> , <i>Globigerinella menardii</i> , <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> .	<i>Globigerinoides conglobatus</i> , <i>Globigerina hexagona</i> , <i>Globigerinoides sacculiferus</i> , <i>Globigerinoides eggeri</i> .	<i>Globigerina bulloides</i> , <i>Globigerina inflata</i> , <i>Globorotalia punctulata</i> , <i>Globorotalia truncatulinoides</i> .	<i>Globorotalia scitula</i> .

Hal ini merupakan hal yang wajar mengingat daerah penelitian merupakan daerah *West Pacific Warm Pool* dengan suhu yang tinggi (>29°C) (Rosenthal et al., 2017). Hasil pengamatan suhu pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018 juga menunjukkan suhu permukaan laut di daerah penelitian yang tinggi, dengan rata-rata berkisar diantara 29,42-30,23°C (Surinati, 2018). Peningkatan kelompok foraminifera tropik terutama pada interval kedalaman 84-72 cm (319-546 individu/10 gram untuk *P.obliquiloculata* dan 100-239 individu/10 gram untuk *G.menardii*) dan interval kedalaman 32 cm (820 individu/10 gram untuk *P.obliquiloculata*)

Kelompok foraminifera lainnya seperti kelompok subtropik, transitional, dan subantartik sangat sedikit kelimpahannya jika dibandingkan dengan kelompok foraminifera tropis. Kelompok foraminifera subtropik (*Globigerinoides conglobatus* dan *Globigerinoides sacculiferus*) memiliki rata-rata 3 individu/ 10 gram dan 2 individu/10 gram. Kelompok foraminifera transitional (*Globigerina bulloides* dan *Globorotalia truncatulinoides*) memiliki rata-rata 6 individu/10 gram dan 1 individu/ 10 gram. Kelompok subantartik (*Globorotalia scitula*) memiliki rata-rata 2 individu/10 gram. Pada interval kedalaman 240 cm terdapat penurunan kelompok foraminifera tropik (45%) dan peningkatan kelompok foraminifera transitional (55%). Pada interval kedalaman 208 cm terdapat penurunan kelompok

foraminifera tropik (15%) dan peningkatan kelompok foraminifera transitional (65%) dan subantartik (20%). Pada interval kedalaman 176 cm terdapat penurunan kelompok foraminifera tropik (18%) dan peningkatan kelompok foraminifera subtropik (5%), transitional (61%), dan subantartik (15%). Pada interval kedalaman 100-88 cm terdapat penurunan kelompok foraminifera tropik (9-55%) dan peningkatan kelompok foraminifera transitional (36-90%). Pada interval kedalaman 60 cm terdapat penurunan kelompok foraminifera tropik (36%) dan peningkatan kelompok foraminifera transitional (63%).

Secara umum terlihat dua pola dari hasil analisis kelompok foraminifera. Pada interval kedalaman 246-88 cm dominasi foraminifera zona tropik rendah sedangkan pada kelompok foraminifera subtropik, transitional, dan subantartik mengalami peningkatan yang diinterpretasikan kondisi suhu yang relatif lebih rendah. Foraminifera pada interval kedalaman 88-0 cm terjadi peningkatan dan dominasi kelompok foraminifera tropik yang diinterpretasikan kondisi suhu yang relatif lebih tinggi. Berdasarkan hasil analisis MAT, untuk setiap titik pengamatan foraminifera dipilih sepuluh data SPL dari *database* dengan jarak kesamaan yang terdekat dengan data distribusi foraminifera daerah penelitian pada titik pengamatan foraminifera tersebut. Dari kesepuluh data kemudian dirata-ratakan sebagai data SPL yang diambil pada daerah penelitian.



Gambar 3. Hasil analisis foraminifera (kelimpahan total foraminifera, kelimpahan foraminifera (dan pengelompokannya) berdasarkan Parker (1960) dalam Boltovskoy dan Wright (1976), hasil analisis kelompok foraminifera, dan hasil analisis suhu dengan MAT. Garis putus-putus merah merupakan interpretasi batas Pleistosen-Holosen. YD=Younger Dryas, OD=Oldest Dryas, LGM=Last Glacial Maximum.

Terdapat data SPL dengan data jarak kesamaan antara data foraminifera penelitian dan *database* (**Gambar 3**) yang cukup berbeda (nilai jarak >0,5-0,6) yaitu pada interval kedalaman 8, 48, 60, 64, 88, 92, 108, 116, 124, 136, 152, dan 160 serta pada interval kedalaman 0, 168, dan 240 cm (dengan jarak >0,6) yang berarti sangat berbeda jauh. Jika melihat pola data pada kedalaman dengan jarak >0,5–0,6, masih memiliki nilai SPL yang tidak terlalu berbeda dengan nilai SPL pada interval kedalaman sebelum dan sesudahnya yang berarti kemungkinan data SPL-nya masih dapat diterima, sedangkan untuk kedalaman 0, 168 dan 240 cm memiliki nilai SPL pada interval kedalaman sebelum dan sesudahnya sehingga tingkat kepercayaannya sangat rendah.

Hasil analisis MAT (**Gambar 3**) juga selaras dengan hasil analisis kelompok foraminifera. Pada interval kedalaman 246–88 cm memiliki rata-rata suhu yang lebih rendah dan pada interval kedalaman 88–0 cm memiliki rata-rata yang lebih tinggi. Berdasarkan analisis MAT, pada interval kedalaman 88–246 cm memiliki SPL yang lebih dingin dengan rata-rata suhu 26,91°C pada Februari dan 27,56°C pada Agustus sedangkan pada interval kedalaman 88–0 cm memiliki SPL dengan rata-rata suhu 28,24°C pada Februari dan 28,38°C pada Agustus (**Gambar 3**). Perbedaan suhu pada rata-rata untuk bulan Februari pada kedalaman 246–88 cm adalah 1,33°C lebih dingin dibandingkan pada kedalaman 88–0 cm dan perbedaan suhu pada suhu bulan Agustus adalah 0,82°C lebih dingin pada kedalaman 246–88 cm dibandingkan pada kedalaman 88–0 cm.

Perubahan SPL dengan pola yang meningkat terlihat pada interval kedalaman 84–68 cm yang diduga sebagai transisi dari kedua pola tersebut. Perubahan pola SPL dari rendah ke tinggi tersebut diinterpretasikan merefleksikan perubahan dari Kala Pleistosen/*glasial* ke Holosen/*interglacial* (**Gambar 3**). Batas Pleistosen-Holosen berdasarkan perubahan SPL terdapat pada kedalaman 88–84 cm yang cukup dekat dengan data batas Pleistosen-

Holosen berdasarkan data penanggalan radiokarbon (11.500 BP; Damanik, *submitted*) yang terdapat pada kedalaman 90 cm.

Kala Pleistosen yang diakhiri dengan kejadian iklim *Younger Dryas* yang pada umumnya menunjukkan perubahan ekologi dan kehidupan yang cukup signifikan (Watson dan Wright, 1980) ditunjukkan pada interval kedalaman 92–88 cm yaitu memperlihatkan kelimpahan foraminifera yang sangat rendah, sedangkan pada kedalaman 88–84 mulai terjadi peningkatan SPL dan kelimpahan foraminifera yang signifikan.

Selain itu, pada beberapa bagian juga terdapat peningkatan kelompok foraminifera zona transitional-subantartik yang hidup pada suhu yang lebih rendah, seperti pada kedalaman 208 cm dan 176 cm pada Kala Pleistosen Akhir. Peristiwa penurunan suhu ini kemudian diduga sebagai peristiwa *Last Glacial Maximum* dan *Oldest Dryas*, yaitu peristiwa iklim yang ditandai dengan penurunan suhu pada Kala Pleistosen Akhir. Pada Kala Holosen juga terdapat penurunan suhu yang signifikan seperti pada kedalaman 104–88 cm dan 60 cm. Peristiwa penurunan suhu ini kemudian diduga sebagai peristiwa *Younger Dryas* dan 8,2K, yaitu peristiwa penurunan suhu/zaman es terakhir sebelum Kala Holosen dan peristiwa penurunan suhu pada Kala Holosen.

Pada interval kedalaman 240 memiliki penurunan kelompok foraminifera tropik dan peningkatan foraminifera transitional yang mengindikasikan penurunan/kondisi yang lebih dingin. Tetapi hasil analisis MAT menunjukkan jarak kesamaan yang rendah dengan *database* sehingga menjadi sulit untuk diinterpretasikan.

5. KESIMPULAN

Hasil analisis kelompok foraminifera dan MAT secara umum memperlihatkan dua pola yang sangat berbeda. Foraminifera pada interval kedalaman 88–0 cm didominasi kelompok foraminifera tropik yang menunjukkan kondisi suhu yang relatif lebih tinggi, sedangkan pada interval kedalaman

246-88 cm dominasi foraminifera zona tropik mulai menurun dan terdapat peningkatan pada kelompok foraminifera subtropik, transitional, dan subantartik yang menunjukkan kondisi suhu yang relatif lebih rendah. Hasil analisis MAT pada kedalaman 246-88 cm memiliki rata-rata suhu yang lebih rendah, sedangkan pada kedalaman 88-0 cm memiliki rata-rata yang lebih tinggi. Hasil rekonstruksi SPL berdasarkan MAT dari data kumpulan foraminifera menunjukkan adanya perubahan pola SPL pada interval kedalaman 88 cm yang diduga merupakan perubahan dari Pleistosen ke Holosen. Perbedaan suhu pada rata-rata untuk bulan Februari pada Pleistosen adalah 1,33°C lebih dingin dibandingkan pada Holosen dan perbedaan suhu pada bulan Agustus adalah 0,82°C lebih dingin pada Pleistosen dibandingkan pada Holosen

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang melaksanakan Ekspedisi Nusa Manggala 2018. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atas fasilitas yang diberikan untuk melakukan analisis laboratorium.

REFERENSI

- Ardi, R.D.W., 2018. Rekonstruksi paleoklimatologi dan paleo-oseanografi sejak Pleistosen Akhir berdasarkan kumpulan foraminifera di lepas pantai barat daya Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Ardi, R.D.W., Maryunani, K.A., Yulianto, E., Putra, P.S., Nugroho, S.H., 2019. Biostratigrafi dan analisis perubahan kedalaman termoklin di Lepas Pantai Barat Daya Sumba sejak Pleistosen akhir berdasarkan kumpulan foaminifera planktonik. *Bull. Geol.* 3. <https://doi.org/10.5614/bull.geol.2019.3.2.3>
- Barker, R.W., 1960. Taxonomic Notes on the Species Figures by H.B. Brady in his report on the foraminifera dredged by H.M.S. Challenger during years 1873-1876. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* 9, 24–238.
- Blow, W.H., 1970. Validity of biostratigraphic correlations based on the Globigerinacea. *Micropaleontology* 16, 257–268.
- Blow, W.H., 1969. Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy. Geneva.
- Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K., 1985. *Plankton Stratigraphy*.
- Boltovskoy, E., Wright, R., 1976. Recent Foraminifera.
- Bradley, R.S., 2015. *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*, Third Edit. ed. Elsevier, Oxford.
- Damanik, A., 2019. Analisis Multiproksi Kondisi Paleoklimat dan Paleoseanografi pada Pleistosen Akhir-Holosen di Perairan Utara Papua, Samudra Pasifik. Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Damanik, A., Maryunani, K.A., Nugroho, S.H., Putra, P.S., submitted. Climate variability since last glacial maximum based on distribution of foraminifera in North Papua Waters, Pacific Ocean.
- Dennison, J.M., Hay, W.W., 1967. Estimating the needed sampling area for subaqueous ecologic studies. *J. Paleontol.* 41, 706–708.
- Gordon, A.L., 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow. *Oceanography* 18, 14–27. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.18>
- Gustiantini, L., 2018. Paleoclimate Reconstructions by Multiproxy Approaches in the Halmahera Sea Since the Late Pleistocene-Holocene. Disertasi Doktoral, Institut Teknologi Bandung.
- Gustiantini, L., Maryunani, K.A., Zuraida, R., Kissel, C., Bassinot, F., Zaim, Y., 2015. Distribusi Foraminifera di Laut Halmahera dari Glasial Akhir sampai Resen. *J. Geol. Kelaut.* 13, 25–36.
- Hasanudin, M., 1998. Arus Lintas Indonesia (Arlindo). *Oseana* XXIII, 1–9.

- Holbourn, A., Henderson, A.S., MacLeod, N., 2013. *Atlas of Benthic Foraminifera*. First edit. ed. Wiley-Blackwell.
- Ilahude, A.G., Nontji, A., 1999. *Oseanografi Indonesia dan Perubahan Iklim Global (El Nino dan La Nina)*. Puslitbang Oseanologi, LIPI 1–13.
- IRI/LDEO, 2019, Monthly Sea Surface Temperature, https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Ocean_Temp/Monthly_Temp.html? (Diakses pada 21 Juni 2020)
- Maryunani, K.A., 2009. Microfossil approached based on Cendrawasih Bay data, to interpreting and reconstructing Equatorial Western Pacific paleoclimate since Last Glacial (Late Pleistocene). Disertasi Doktoral, Institut Teknologi Bandung.
- Meissner, K.J., 2007. Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography, Developments in Marine Geology. [https://doi.org/10.1016/S1572-5480\(07\)01025-1](https://doi.org/10.1016/S1572-5480(07)01025-1)
- Nugroho, S.H., Damanik, A., 2018. On Board Report - Dinamika Iklim Masa Lalu (Paleoklimatologi) - Ekspedisi Nusa Manggala 2018.
- Pringgoprawiro, H., Kapid, R., 2000. *Foraminifera: Pengenalan Mikrofoasil dan Aplikasi Biostratigrafi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Rosenthal, Y., Holbourn, A., Kullhanek, D., Scientists, E. 363, 2017. Expedition 363 Preliminary Report Western Pacific Warm Pool Neogene and Quaternary records of Western Pacific Warm Pool paleoceanography. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14379/iodp.pr.363.2017>
- Saraswat, R., 2015. Non-destructive foraminiferal paleoclimatic proxies: A brief insight. Proc. Indian Natl. Sci. Acad. 81, 381–395. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2015/v81i2/48094>
- Sijinkumar, A. V, Nath, B.N., 2012. Planktic foraminifera: A potential proxy for paleoclimatic / paleoceanographic studies. Gck Sci. Lett. 1, 22–30.
- Sprintall, J., Gordon, A.L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J.T., Pujiana, K., Wijffels, S.E., 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. Nat. Geosci. 7, 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Surinati, D., 2018. Dinamika Oseanografi di perairan sekitar pulau-pulau kecil terluar. Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI.
- Watson, R.A., Wright, H.E., 1980. The end of the Pleistocene: a general critique of chronostratigraphic classification. Boreas 9, 153–163.