

Pola Perubahan Iklim Purba pada Umur Pliosen dengan Proksi Foraminifera: Studi Kasus Formasi Sentolo, Yogyakarta

Paleoclimate Change Pattern in Pliocene with Foraminifera Proxies: Case Study Sentolo Formation, Yogyakarta

Dian Novita¹, Dwika Rizki Wirawan², Sonia Rijani¹ dan Undang Hermawan³

¹Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung, Jawa Barat

²Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika No 2, D.I. Yogyakarta

³Badan Riset dan Inovasi

e-mail : dian.novita@esdm.go.id

Naskah diterima: 17 Juli 2022, Revisi terakhir: 04 Agustus 2022, Disetujui: 08 Agustus 2022, Online: 09 Agustus 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.3.133-140>

Abstrak - Studi distribusi foraminifera untuk menentukan pola perubahan iklim purba pada umur Pliosen dilakukan pada Formasi Sentolo. Daerah survei terletak di sebelah barat kota Yogyakarta. Secara regional daerah ini merupakan bagian dari Pegunungan Kulon Progo. Pengukuran stratigrafi dilakukan dengan metode Tongkat Jacob dengan total ketebalan lapisan 38,9 meter. Bagian bawah daerah survei tersusun oleh perlapisan batupasir karbonatan-napal. Bagian tengah berkembang fasies perlapisan batugamping-batupasir karbonatan dan di ketebalan 25 meter berkembang perlapisan batugamping *packstone-rudstone*. Bagian atas pengukuran stratigrafi kembali berkembang fasies batupasir karbonatan dengan sisipan napal. Analisis lingkungan pengendapan dengan metode P/B ratio mendapatkan dinamika lingkungan pengendapan dari batial bawah hingga neritik luar. Analisis biozonasi mendapatkan zona *Globigerina nepenthes* dengan kisaran umur N19 (Pliosen Awal) dan zona *Globorotalia pseudomiocenica* dengan umur N20 (Pliosen Akhir). Dijumpai dua pola perubahan iklim di daerah survei, yaitu pola mendingin pada Pliosen Awal dan pola menghangat pada Pliosen Akhir. Hal tersebut memiliki pola yang sejalan dengan kurva eustasi global yang menunjukkan adanya penurunan muka air laut global pada Pliosen Awal dan kenaikan muka air laut secara gradual memasuki Pliosen Tengah.

Katakunci: Foraminifera, Formasi Sentolo, iklim purba, Pliosen.

Abstract - Foraminifera distribution studies to determine patterns of ancient climate change at the Pliocene age were carried out in the Sentolo Formation. The investigate area is located in the west of Yogyakarta city. Regionally, the research area is part of the Kulon Progo Mountains. Stratigraphic measurements using the Jacob's Stick method with a total thickness 38.9 meters. The bottom of the study area is composed with interbedded of carbonate sandstone and marl. In the middle part, the carbonate-sandstone facies develops and at a thickness point 25 meters develops interbedded *packstone-rudstone* limestone. The upper part of the stratigraphic measurements re-developed the carbonate sandstone facies intercalation with marl. Analysis of the depositional environment using the P/B ratio method obtains the dynamics of the depositional environment from the lower bathyal to outer neritic. Biozonation analysis found the *Globigerina nepenthes* zone with an age range of N19 (Early Pliocene) and a *Globorotalia pseudomiocenica* zone with an age range of N20 (Late Pliocene). Two patterns of climate change were found in the study area, specifically a cooling pattern in the Early Pliocene and a warming pattern in the Late Pliocene. This has a pattern that is in line with the global eustachian curve which shows a decrease in global sea level in the Early Pliocene and a gradual rise in sea level entering the Middle Pliocene.

Keywords: Foraminifera, Sentolo Formation, paleoclimate, Pliocene.

PENDAHULUAN

Foraminifera merupakan organisme uniseluler yang dicirikan memiliki kemampuan membentuk cangkang luar. Foraminifera dapat hidup dari laut dangkal hingga laut dalam sehingga dapat digunakan sebagai indikator paleoekologi. Menurut Armstrong & Brasier (2005), faktor penyebaran foraminifera dipengaruhi oleh cahaya, suplai makanan, substrat, salinitas air, nutrisi, oksigen, dan temperatur. Kisaran umur foraminifera planktonik yang cukup pendek dapat menjadikannya fosil indeks untuk memprediksi kisaran umur batuan. Lingkungan hidup foraminifera planktonik dalam stratifikasi kolom air tertentu dapat digunakan untuk mempelajari kondisi iklim ataupun ekologi. Foraminifera bentonik rentan terhadap perubahan ekologi sehingga cocok untuk rekonstruksi paleobatimetri. Kondisi kedalaman kolom air, salinitas, kandungan oksigen dan intensitas cahaya matahari turut menjadi faktor penentu perkembangan foraminifera. Hal tersebut dapat dijadikan alat untuk interpretasi pola perubahan iklim purba. Lingkungan hidup dari satu species seringkali sulit untuk dipahami. Pengelompokan species yang sama dalam satu ekologi sebagai kumpulan indikator umumnya digunakan sebagai pendekatan untuk mengetahui sejarah temperatur purba berdasarkan proporsi dari fosil penciri suhu hangat dan suhu dingin (Kucera, 2007). Tujuan utama studi ini adalah untuk mengetahui pola perubahan iklim purba pada Kala Pliosen, terutama di Pulau Jawa berkaitan dengan peristiwa penutupan laut Indonesia yang diperkirakan berlangsung pada Pliosen Awal (Srinivasan & Sinha, 1998). Studi dilakukan pada Formasi Sentolo yang tersebar di Yogyakarta.

GEOLOGI REGIONAL

Secara regional daerah studi merupakan bagian dari Pegunungan Kulon Progo. Menurut van Bemmelen (1949), Pegunungan Kulon Progo merupakan kubah lonjong dengan diameter 32 km dengan arah orientasi timurlaut-baratdaya dan 20 km yang berorientasi tenggara-baratlaut dengan puncak berupa dataran luas yang dikenal sebagai *Jonggrangan plateau*. Formasi Nanggulan merupakan formasi paling tua yang menyusun Pegunungan Kulon Progo. Formasi Andesit Tua dengan material vulkanik menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Nanggulan. Memasuki Miosen Tengah, aktivitas vulkanik berkurang diikuti dengan pembentukan karbonat yang intensif. Formasi Jonggrangan memiliki hubungan tidak selaras dengan Formasi Andesit Tua (OAF). Formasi Sentolo yang menjadi obyek studi

pada bagian bawah memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Jonggrangan. Litologi penyusun berupa konglomerat, napal tufan, sisipan tuf, dan secara gradual berubah menjadi batugamping berlapis yang kaya akan foraminifera. Formasi ini memiliki kisaran umur Miosen Awal-Pliosen (N7-N21) dengan lingkungan pengendapan neritik hingga laut dalam. Dari peta geologi Lembar Yogyakarta skala 1:50.000 (Gambar 1) dan hasil kegiatan pemetaan geologi, daerah survei termasuk dalam satuan batuan Mpss (*Mio-Pliocene Sentolo Sandstone*). Litologi penyusun berupa batupasir karbonatan dengan sisipan batugamping (Novita dkk., 2021).

METODOLOGI

Survei dimulai dengan pengambilan data lapangan meliputi pengukuran stratigrafi dan pengambilan sampel batuan. Pengukuran stratigrafi menggunakan metode tongkat Jacob dengan penggambaran kolom menggunakan skala 1:100 dilengkapi dengan karakteristik batuan, komposisi, dan ketebalan lapisan batuan. Sampel batuan diambil pada lapisan batuan dengan tekstur halus atau dengan memperhatikan perubahan fasies pada batuan. Preparasi sampel paleontologi foraminifera kecil dimulai dengan menumbuk batuan kemudian merendamnya dengan larutan H₂O₂ untuk membersihkan sampel dari kandungan lumpur. Setelah sampel tercuci dengan bersih dan dipilah dengan filter berdasarkan ukuran 16, 32, dan 80 mesh kemudian dilanjutkan dengan pengovenan untuk mengeringkan sampel. Langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi fosil foraminifera kecil menggunakan mikroskop binokuler. Identifikasi foraminifera planktonik menggunakan referensi dari Bolli & Saunders (1985). Pembagian zonasi biostratigrafi menggunakan referensi dari Blow (1969).

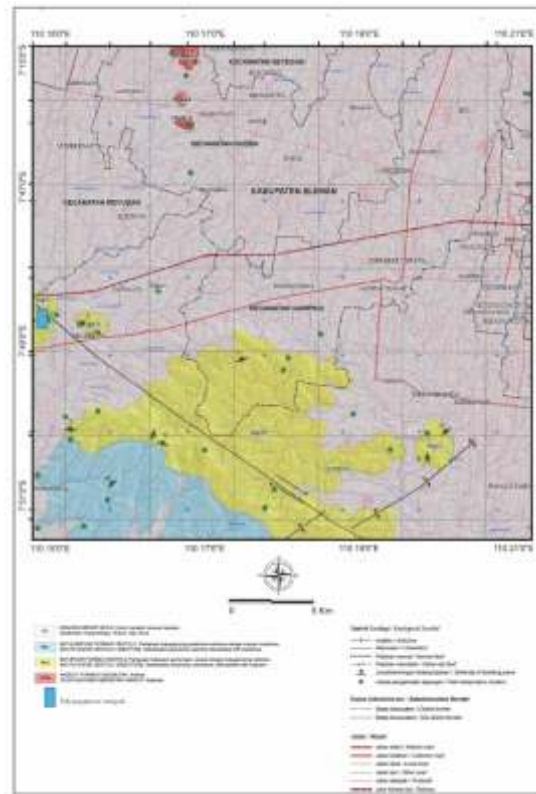
Perbandingan rasio foraminifera planktonik dan bentonik (*P/B ratio*) menggunakan perhitungan menurut Grimsdale & Markoven (1955). Klasifikasi penentuan lingkungan pengendapan dapat dilihat pada Tabel 1.

Pola perubahan suhu purba menggunakan persentase kelimpahan fosil indikator penciri suhu hangat dan dingin menurut Bricchi dkk. (2003). Fosil indikator penciri suhu dapat dilihat pada Tabel 2. Perhitungan persentase kelimpahan dilakukan dengan menggunakan rumus (Amore dkk., 2004).

$$[(W-C)/(W+C)] \times 100\%$$

W : fosil penciri suhu hangat

C : fosil penciri suhu dingin



sumber:Novita dkk., 2021.

Gambar 1. Peta geologi skala 1:50.000 Lembar Yogyakarta. Daerah survei termasuk dalam satuan Mpss, ditandai dengan kotak biru.

Tabel 1. Klasifikasi lingkungan pengendapan berdasarkan rasio foraminifera planktonik/bentonik

sumber:Grimsdale & Morkhovern, 1955

Lingkungan	P/B Ratio (%)
Neritik dalam	>20
Neritik tengah	20 – 60
Neritik luar	40 – 70
Batial atas	>70
Batial bawah	>95

Tabel 2. Species foraminifera planktonik penciri suhu menurut Bricchi dkk. (2003)

COOL	COOL-TEMPERATE	WARM-TEMPERATE	WARM
<i>Globigerina spp.</i>	<i>Zeaglobigerina woodi</i>	<i>Globigerina venezuelana</i>	<i>Globigerina ciperoensis</i>
<i>Globorotaloides spp.</i>	<i>Z.brazieri</i>	<i>Dentaglobigerina baroemoenensis gr.</i>	<i>Globigerinoides spp.</i>
<i>Catapsydrax spp.</i>	<i>Globorotalia scitula gr.</i>	<i>Globoquadrina dehiscens</i>	<i>Orbuliniforms (Praeorbulina sp + Orbulina spp)</i>
	<i>Globorotalia bykovae</i>	<i>Globoquadrina praedeheiscens</i>	<i>Dentaglobigerina altispira gr.</i>
		<i>Globigerinella obesa</i>	<i>Globorotalia praemenadri</i>
		<i>Paragloborotalia siakensis gr.</i>	<i>Velapertina indigena</i>
		<i>Tenuitellinata angustiumblicata</i>	

Hasil perhitungan dari persentase kelimpahan fosil penciri suhu pada masing-masing sampel akan diplotkan untuk mendapatkan pola perubahan yang dapat digunakan untuk melakukan interpretasi pola perubahan suhu purba di daerah studi. Kurva yang di peroleh akan dibandingkan dengan kurva global untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh iklim global di daerah ini.

ANALISIS DATA

Litostratigrafi

Pengukuran stratigrafi dilakukan pada alur sungai Desa Argomulyo Kecamatan Sedayu, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Kondisi batuan lapuk sedang. Total ketebalan batuan yang diperoleh adalah 38,9 meter. Pada bagian bawah berkembang fasies batupasir karbonatan berseling dengan napal (Gambar 2). Secara gradual semakin ke atas napal menyisip tipis hingga kemudian lebih didominasi oleh perlapisan batupasir karbonatan dengan ukuran butir sedang hingga halus. Bagian tengah jalur pengukuran dijumpai fasies batugamping dengan sisipan batupasir karbonatan. Tebal fasies ini sekitar 7,5 meter (Gambar 3). Dinamika cekungan menyebabkan pertumbuhan batugamping secara gradual terhenti, digantikan dengan berkembangnya kembali fasies batupasir karbonatan-napal yang berkembang hingga batas atas jalur pengukuran stratigrafi (Gambar 4). Detail pengukuran stratigrafi dapat dilihat pada gambar 5.

Biostratigrafi

Sampel paleontologi berdasarkan jalur pengukuran stratigrafi di Sungai Gayam, Argosari, Sedayu Yogyakarta. Sampel yang dianalisis biostratigrafi berjumlah 10 sampel. Analisis foraminifera planktonik mendapatkan 19 spesies dengan distribusi dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Analisis biostratigrafi diperoleh dua zona, yaitu:

a. Zona *Globigerina nepenthes*

Dibatasi dengan akhir kemunculan *Globigerina nepenthes* pada bagian atas zona. Asosiasi fosil pada zona *Globigerina nepenthes* adalah species *Globigerina seminula*, *Globigerina venezuelana*, *Globigerinoides immaturus*, *Globigerinoides trilobus*, *Globorotalia pseudomiocenica*, *Globorotalia scitula*, *Orbulina bilobata*, dan *Orbulina universa*. Fosil rombakan yang ditemukan meliputi *Globigerina praeorbulinoides*, *Globorotalia*

lobata, *Globorotalia mayeri*, *Globorotalia obesa*, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia praemenardii*, *Globorotalia siakensis*. Zona *Globigerina nepenthes* ekuivalen dengan Zona *Globorotalia margaritae evoluta* berumur Pliosen Awal (zonasi Bolli, 1970) atau zona N19 (zonasi Blow, 1969).

b. Zona *Globorotalia pseudomiocenica*

Zona ini dibatasi bagian bawah oleh kemunculan awal *Globigerinoides sacculiferus* dan bagian atas oleh akhir kemunculan *Globorotalia pseudomiocenica*. Asosiasi fosil pada zona *Globorotalia pseudomiocenica* adalah *Globigerina venezuelana*, *Globigerinoides immaturus*, *Globigerinoides sacculiferus*, *Globigerinoides trilobus*, *Orbulina bilobata*, dan *Orbulina universa*. Fosil rombakan yang ditemukan meliputi *Globigerina praeorbulinoides*, *Globigerinoides obliquus*, *Globorotalia lobata*, *Globorotalia obesa*, *Globorotalia menardii*, dan *Globorotalia siakensis*. Zona *Globorotalia pseudomiocenica* ekuivalen dengan Zona *Globigerinoides trilobus fistulosus* berumur Pliosen Tengah (zonasi Bolli, 1970) atau zona N20 (zonasi Blow, 1969).



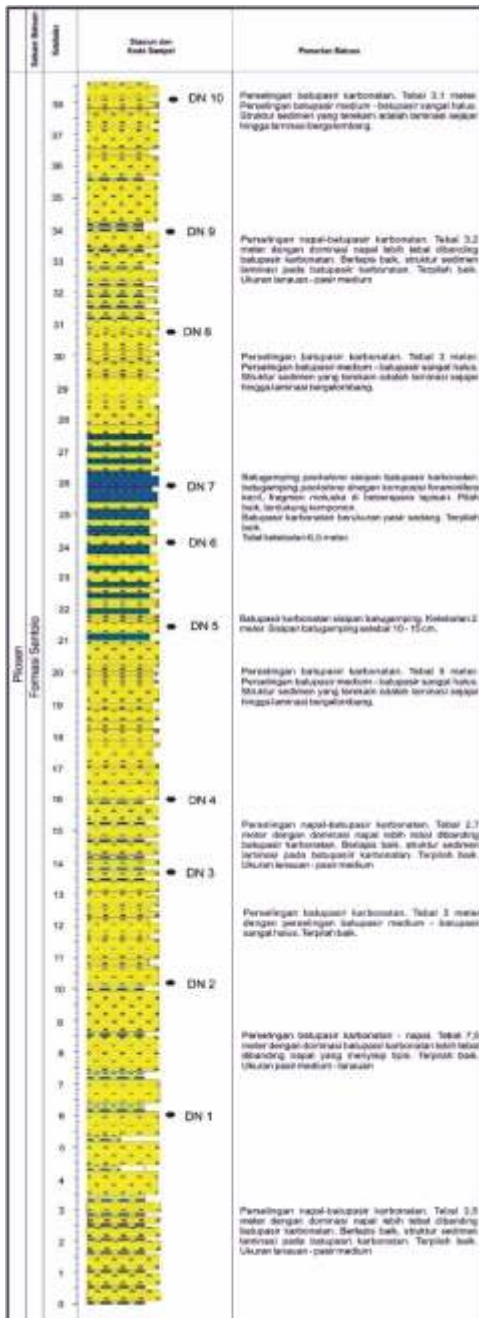
Gambar 2. Bagian bawah dari jalur pengukuran stratigrafi, berada di alur Sungai Gayam, Desa Argosari Kecamatan Sedayu Yogyakarta. Titik lokasi DN 1 merupakan perlapisan napal-batupasir karbonatan yang secara gradual akan menjadi dominasi pasir karbonatan



Gambar 3. Fasies batugamping yang berkembang di bagian tengah jalur pengukuran. Berada di alur Sungai Gayam, Desa Argosari Kecamatan Sedayu Yogyakarta. Titik lokasi DN 6, selanjutnya berubah menjadi fasies batupasir karbonatan dengan sisipan napal.



Gambar 4. Bagian atas jalur pengukuran stratigrafi. Berada di alur Sungai Gayam, Desa Argosari Kecamatan Sedayu Yogyakarta. Titik lokasi DN 10, berupa perlapisan batupasir karbonatan dengan sisipan napal.



Gambar 5. Kolom stratigrafi daerah survei, berada di alur Sungai Gayam, Desa Argosari, Kecamatan Sedayu, Yogyakarta.

Lingkungan Pengendapan

Penentuan lingkungan pengendapan menggunakan metode *P/B ratio* dengan perbandingan rasio foraminifera planktonik dan bentonik menurut Grimsdale & Markoven (1955). Perhitungan rasio foraminifera planktonik dan bentonik dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel 3 dapat dilihat persentase *P/B ratio* berkisar dari 36,42% hingga 100%. Lingkungan pengendapan dimulai pada batial bawah dengan litologi penyusun berupa batupasir karbonatan berlapis napal. Pada sampel DN 7 menunjukkan pendangkalan ke arah neritik tengah diikuti oleh fasies batuan yang ikut berubah menjadi batugamping dengan sisipan batupasir karbonatan. Fasies batuan kemudian berubah menjadi batupasir karbonatan diikuti dengan tren pendalaman lagi hingga batas batial bawah pada sampel DN 10.

Pola Perubahan Suhu

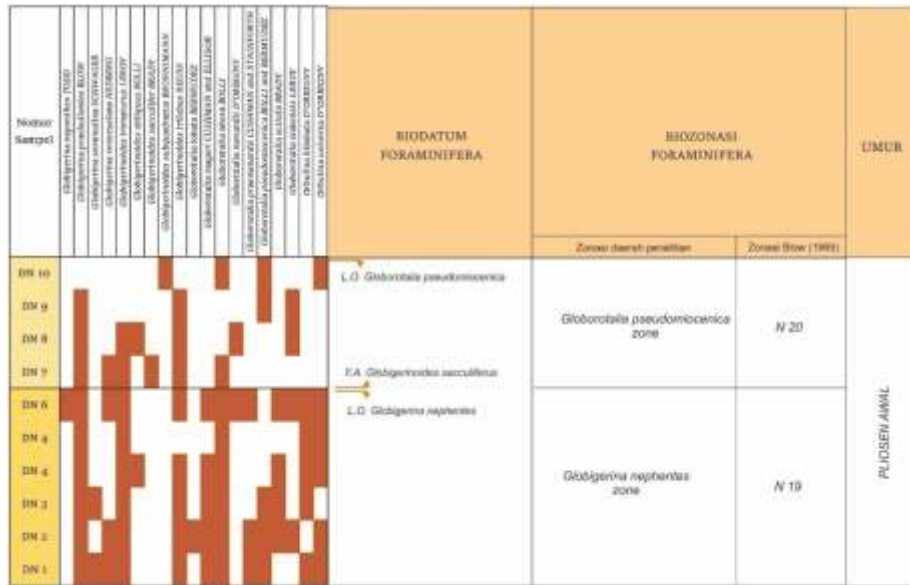
Analisis sampel foraminifera planktonik sebagai penciri suhu dilakukan terhadap 10 sampel terpilih (Tabel 4). Perhitungan persentase perbandingan foraminifera penciri suhu hangat dan suhu dingin menggunakan acuan dari Bricchi dkk. (2003). Dari analisis yang dilakukan diperoleh dua pola utama perubahan iklim purba, yang diawali dengan pola mendingin pada Pliosen Awal. Memasuki Pliosen tengah iklim secara gradual menghangat ditandai dengan jumlah fosil penciri suhu hangat yang meningkat (Gambar 7).

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Analisis biostratigrafi menunjukkan kisaran umur pada daerah studi adalah Pliosen Awal – Pliosen Akhir dengan lingkungan pengendapan batial bawah – neritik luar – batial bawah dengan analisis *P/B ratio*. Hasil analisis data yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa pada Pliosen Awal suhu purba di daerah studi mengalami tren penurunan sehingga diinterpretasikan kondisi relatif dingin. Tren menghangat dimulai pada Pliosen Tengah. Sejalan dengan pola iklim global di daerah studi menunjukkan tren mendingin pada Miosen Akhir hingga Pliosen Awal. Suhu kembali menghangat hingga mencapai puncaknya pada Pliosen Akhir yang disebut sebagai *Pliocene Climatic Maximum* dengan suhu 2°C - 3°C lebih tinggi dari suhu saat ini (Dumitru dkk., 2019). Mengkorelasikan pola perubahan temperatur di daerah ini dengan kurva iklim pada zonasi klimatostratigrafi Bengawan Solo (van Goersel & Troelstra, 1981) dan kurva paleoklimatologi New Zealand (pada Goersel, 1981) menunjukkan pola yang sama. Diasumsikan bahwa pola iklim global juga terjadi pada daerah studi. Pada Pliosen Awal di daerah ini menunjukkan pola temperatur yang cenderung mendingin. Sejalan dengan

kurva muka air laut global yang menunjukkan tren semakin mendangkal dikarenakan iklim global yang mendingin mempengaruhi muka air laut menyusut.

Pada Pliosen Tengah suhu menunjukkan kenaikan dan sejalan dengan pola eustasi global yang menunjukkan tren kenaikan (Gambar 8).



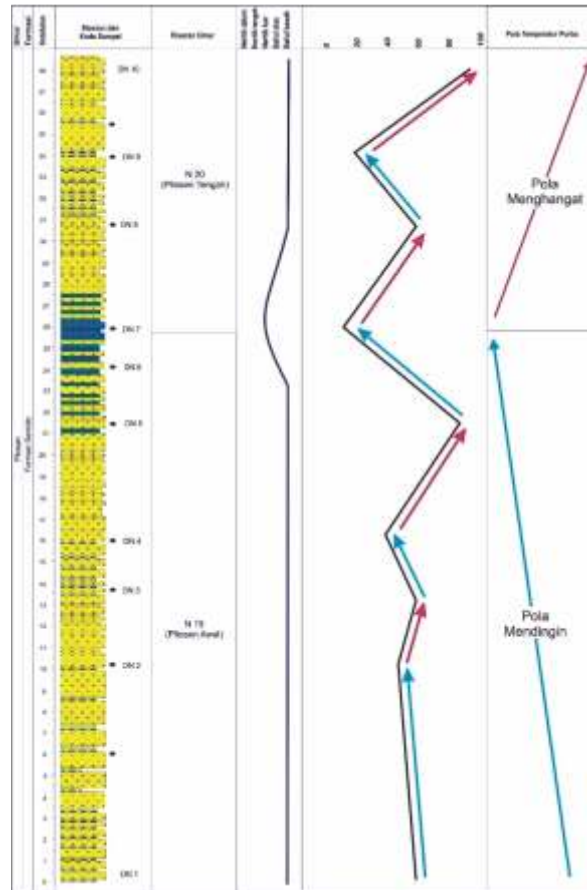
Gambar 6. Chart distribusi fosil dan pembagian biozonasi daerah studi.

Tabel 3. Perhitungan P/B ratio untuk penentuan lingkungan pengendapan

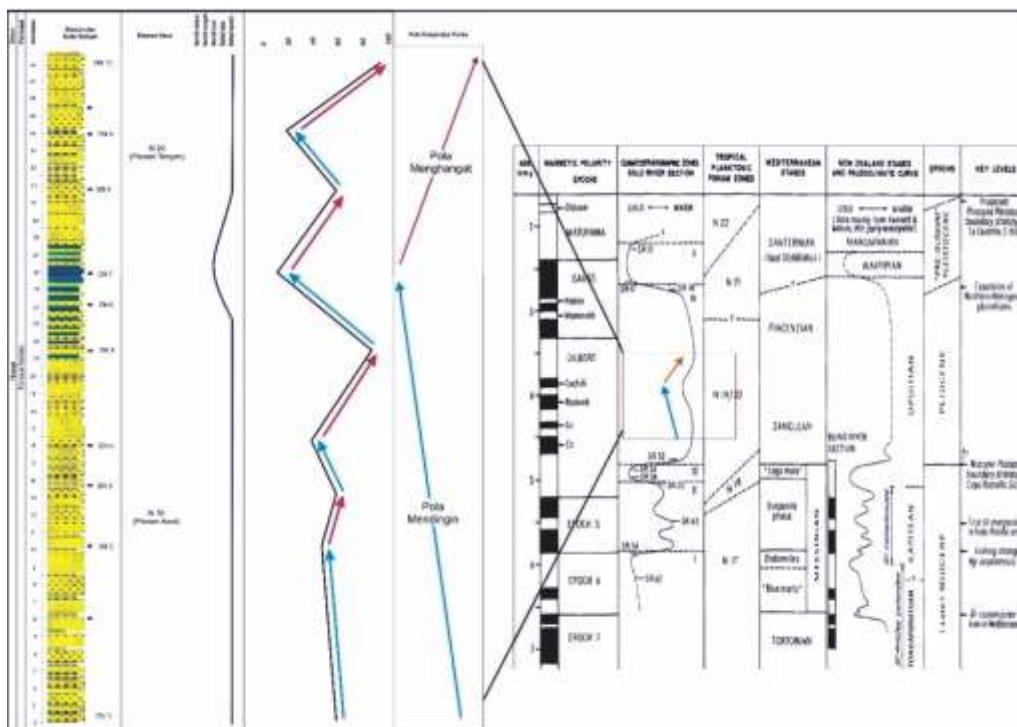
Nomor Sampel	? P	? B	P/B ratio (%)	Lingkungan Pengendapan
DN 10	7	0	100,00	Batial bawah
DN 9	94	25	78,99	Batial atas
DN 8	243	55	81,54	Batial atas
DN 7	55	96	36,42	Neritik tengah
DN 6	242	11	95,65	Batial bawah
DN 5	50	8	86,21	Batial atas
DN 4	275	20	93,22	Batial atas
DN 3	257	10	96,25	Batial bawah
DN 2	354	18	95,16	Batial atas
DN 1	382	25	93,86	Batial bawah

Tabel 4. Perhitungan persentase kelimpahan fosil penciri suhu hangat/dingin

Nomor Sampel	? Warm Planktonik	? Cool Planktonik	% kelimpahan Fosil Penciri Suhu
DN 10	7	0	100,00
DN 9	50	33	20,48
DN 8	79	31	43,64
DN 7	37	8	64,44
DN 6	108	89	9,64
DN 5	22	1	91,30
DN 4	174	101	26,55
DN 3	167	68	42,13
DN 2	238	96	42,51
DN 1	272	90	50,28



Gambar 7. Pola perubahan iklim purba yang berlangsung di daerah studi.



Gambar 8. Korelasi pola perubahan iklim di daerah studi dengan pola iklim global.

KESIMPULAN

Daerah studi memiliki kisaran umur Pliosen Awal - Pliosen Tengah. Analisis rasio foraminifera planktonik/bentonik menunjukkan batuan terbentuk pada batial bawah. Peralihan dari Pliosen Awal menuju Pliosen Tengah, terjadi pendangkalan yang menyebabkan lingkungan pengendapan menjadi neritik luar yang diperkirakan akibat adanya dinamika muka air laut dimana terjadi pendangkalan cekungan. Cekungan pengendapan kembali mendalam hingga pada Pliosen Akhir menjadi lingkungan batial bawah.

Penentuan perubahan pola iklim purba menggunakan analisis kelimpahan foraminifera planktonik penciri suhu hangat dan dingin. Pada daerah studi terdapat dua pola perubahan temperatur, yaitu fase mendingin dan menghangat. Fase mendingin terjadi pada Pliosen Awal. Fase menghangat dimulai pada Pliosen Tengah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Paleontologi Pusat Survei Geologi atas bantuannya dalam pemrosesan sampel paleontologi.

ACUAN

- Amore, F.O., Caffau, M., Massa, B., and Morabito, S., 2004. Late Pleistocene-Holocene Paleoclimate and Related Paleoenvironmental Changes as Recorded by Calcareous Mannofossils and Planktonic Foraminifera Assemblages in the Southern Tyrrhenian Sea (Capa Palinuro, Itali). *Marine Micropaleontology*, 52: 255-276.
- Armstrong, H. and Brasier, M.D., 2005. *Microfossils*. Blackwell Publishing, Australia.
- van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia-Vol IA*. Government Printing Office. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands.
- Bicchi, E., Ferrero, E., and Gonera, M., 2003. Paleoclimatic Interpretation Based on Middle Miocene Planktonic Foraminifera: the Silesia Basin (Paratethys) and Monferrato (Tethys) Record. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 196(3-4): 265-303.
- Blow, W.H. 1969. Late Middle Miocene to Recent Planktonic Foraminifera Biostratigraphy. *Proceeding First International Conference on Planktonic Microfossils, Geneva*, 1: 199-422
- Bolli, H.M, Saunders, J.B., and Perch-Nielsen, K., 1985. *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, New York.
- Dumitru, O.A., Austermann, J., Polyak, V.J., Fornos, J.J., Asmerom, Y., Gines, J., Gines, A., and Onac, B.P., 2019. Contrasting on Global Mean Sea Level During Pliocene Warmth. *Nature*, 574(7777): 233-236
- van Gorsel, J.T. and Troelstra, S.R., 1981. Late Neogene Planktonic Foraminifera Biostratigraphy and Climatostratigraphy of the Solo River Section (Java, Indonesia). *Marine Micropaleontology*, 6: 183-209.
- Grimsdale, T.F and van Morkhoven, F.P.C.M., 1955. The Ratio Between Pelagic and Benthonic Foraminifera as a Means of Estimating Depth of Deposition of Sedimentari Rocks. *Proceedings of the 4th World Petroleum Congress (Rome)*. 473-491.
- Kucera, M., 2007. Planktonic Foraminifera as Tracers of Past Oceanic Environment. *Development in Marine Geology*, 1: 213-262.
- Novita, D., Rijani, S., dan Hernawan, U., 2021. Peta Geologi Lembar Yogyakarta Skala 1:50.000. Pusat Survei Geologi. Laporan teknis internal, tidak diterbitkan.
- Pringgoprawiro, H. dan Kapid, R. 2000. *Foraminifera, Pengenalan Mikrofosil dan Aplikasi Biostratigrafi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Srinivasan, M.S. and Sinha, D.K., 1998. Early Pliocene Closing of the Indonesian Seaway: Evidence From North-East Indoan Ocean and Tropical Deep Sea Cores. *Journal of Asian Earth Science*, 16(1): 29-44.
-