



**Bulletin of Scientific Contribution
GEOLOGY**

**Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN**

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



**Volume 21, No.3
Desember 2023**

**LINGKUNGAN PENGENDAPAN PURBA BERDASARKAN *SPHENOLITHUS* DAN
RETICULOFENESTRA KALA MIOSEN PADA FORMASI JAMPANG, CILETUH, JAWA
BARAT**

Santi Dwi Pratiwi^{1*}, Shun Chiyonobu², Dina Oktavia³

¹Departemen Geologi Sains, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno KM.21 Jatinangor, Kab. Sumedang 45363, Jawa Barat

²Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, Jepang

³Sekolah Pascasarjana, Universitas Padjadjaran, Jl. Dipatiukur 35, Bandung, 40132, Jawa Barat

*Korespondensi: santi.dwi.pratiwi@unpad.ac.id

ABSTRAK

Kelimpahan spesies nannofosil berkapur sebagai indikator lingkungan pengendapan purba dan rekonstruksi biokronologi pada umur Miosen telah diobservasi dengan metode semi kuantitatif pada Formasi Jampang Anggota Cikarang, Ciletuh, Jawa Barat. Tujuh puluh preparasi nannofosil dari litologi batupasir dengan interval 10 sampai 30 sentimeter diidentifikasi dan kemudian dianalisis *paleoenvironment* dengan teknik estimasi kelimpahan relatif coccoliths (*K-r strategic*) pada pembesaran 1000 × di mikroskop binokular polarisasi. Kondisi lingkungan purba pada zona oligotropik dicirikan oleh parameter yaitu jumlah produktivitas yang berlimpah dari *Reticulofenestra* berukuran besar dan kelimpahan dari *Sphenolithus* spp. yang relatif. Indikator dengan kondisi sebaliknya disebut eutropik. Berdasarkan 27 spesies yang telah diidentifikasi dan dominasi distribusi *warm-water taxa* (*Sphenolithus* spp.), pada Miosen awal Formasi ini terendapkan pada kondisi oligotropik dan temperatur air laut hangat berdasarkan produktivitas *Sphenolithus* spp. (15-35 %) yang relatif dominan dan menerus selama Miosen awal. Indikator perubahan drastis dari lingkungan purba ditunjukkan dengan perubahan variasi ukuran serta kelimpahan dari *Reticulofenestra* spp. ukuran kecil (total kelimpahan 75%) dan indikasi kondisi eutrofikasi dengan ketidakhadiran *Discoaster* serta penurunan jumlah kelimpahan dari *Sphenolithus* spp. (kurang dari 10%) dengan perubahan dari kondisi oligotropik menjadi eutropik terjadi pada umur 17.721 Ma (NN4).

Kata Kunci: *Paleoenvironment*, *Sphenolithus* spp., *Reticulofenestra* spp., Miosen Awal, Formasi Jampang Anggota Cikarang

ABSTRACT

The abundance of calcareous nannofossil species as an indicator of paleoenvironment and biochronological reconstruction at Miocene age has been observed by semi-quantitative method in Jampang Formation of Cikarang Member, Ciletuh, West Java. Seventy nannofossil preparations from sandstone lithology at intervals of 10 to 30 centimeters were identified and then analyzed for paleoenvironment by the technique of estimating the relative abundance of coccoliths (*K-r strategic*) at 1000× magnification in a binocular polarized microscope. Paleoenvironmental conditions in the oligotrophic zone are characterized by the parameters of abundant productivity of large *Reticulofenestra* and relative abundance of *Sphenolithus* spp. Indicators with the opposite condition are called eutrophic. Based on the 27 identified species and the dominant distribution of warm-water taxa (*Sphenolithus* spp.), in the early Miocene this Formation was deposited under oligotrophic conditions and warm seawater temperatures based on the relatively dominant and continuous productivity of *Sphenolithus* spp. (15 – 35 %) during the early Miocene. Indicators of drastic changes in the ancient environment are indicated by changes in size variation and abundance of small *Reticulofenestra* spp. (75% total abundance) and indications of eutrophication conditions with the absence of *Discoaster* and a decrease in the abundance of *Sphenolithus* spp. (less than 10%) with a change from oligotrophic to eutrophic conditions occurring at 17,721 Ma (NN4).

Keywords: Paleoenviroment, *Sphenolithus* spp., *Reticulofenestra* spp., Early Miocene, Jampang Formation Cikarang Member

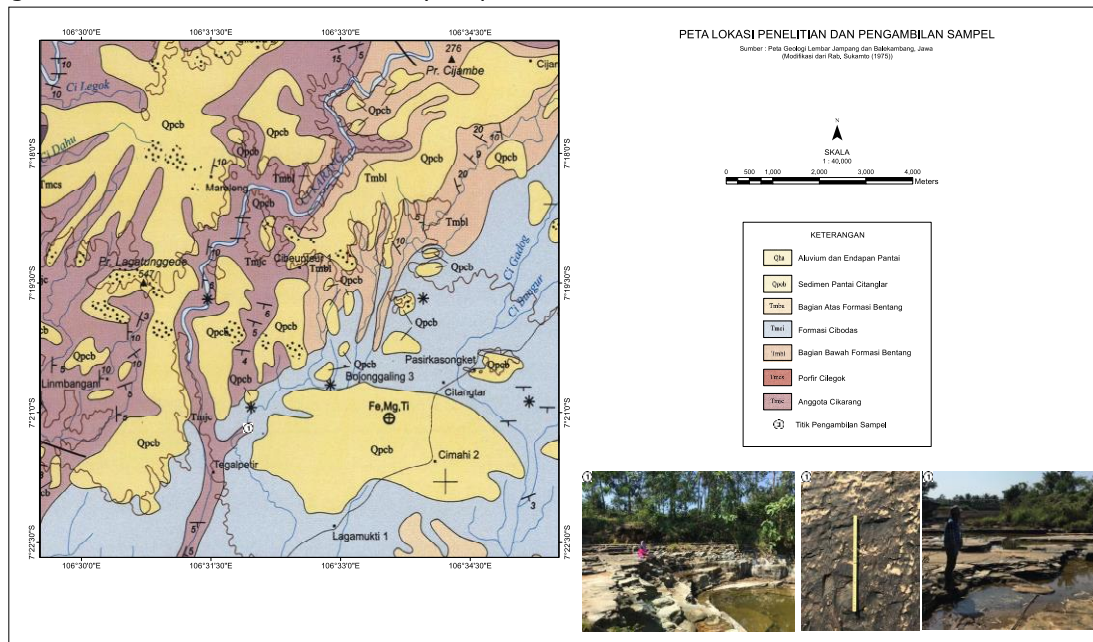
PENDAHULUAN

Era Kenozoikum ditandai dengan *trend* pendinginan global jangka panjang dari kondisi *ice-free greenhouse* pada Paleosen bagian bawah ke kondisi *greenhouse* pada Neogene (Zachos dkk., 2001). Distribusi nannofosil berkapur digunakan untuk menyimpulkan dinamika air permukaan, pola variasi suhu, sirkulasi laut, rekonstruksi lingkungan purba (*paleoenvironment*) dan paleoproduktivitas sejak zaman Mesozoikum hingga resen (Okada dan McIntyre, 1977; Raffi dan Flores, 1995; Wells dan Okada, 1997; Martini, 1970 dan 1971; Flores dkk., 2010; Senemari dan Mejía-Molina, 2021, 2022). Dalam fungsi biomineralisasi dan fotoautotrofinya, komunitas coccolithophores mempengaruhi siklus karbon global, siklus sulfur, dan parameter oseanografi lain (Takayama, & Kameo, 2004; Sato & Chiyonobu, 2009; Agnini dkk., 2014; Pratiwi dan Sato, 2016; Imai dkk., 2020). *Sphenolithus* merupakan salah satu genus nannofossil yang kemunculannya sejak zaman Kenozoikum yaitu pada Paleosen awal (Zona NP4 / Martini, 1971) dan di Oligosen kelimpahannya meningkat pada zona mid hingga low latitudes (Perch-Nielsen 1985) dan merupakan marker spesies biostartigrafi dan paleoenvironment yang sangat baik untuk Kenozoikum (Martini, 1971; Okada dan Bukry, 1980; Mejía-Molina dkk., 2010). Penelitian mengenai biostratigrafi dan lingkungan purba resolusi menengah hingga tinggi dengan nanofosil berkapur pada Miosen masih rendah jika dibandingkan dengan Pliosen dan Pleistosen (Fornaciari dkk., 1990; Backman dkk., 2012). Alasan mendasar dari kurangnya penelitian berdasarkan nannofosil berkapur bukan hanya karena penggunaan alat paleontologi yang terbatas, tetapi juga karena data yang tersedia hanya berupa laporan singkat dan publikasi-publikasi ini tidak menyertakan interpretasi detil dari paleosanografi dan *paleoenvironment*. parameter dalam menganalisis kondisi paleoseanografi antara lain dengan indikator warm water spesies, perubahan kelimpahan nannofossil dan indikator eutropik spesies yang dikenal dengan parameter *K-r strategist* (Young, 1994; Bown dkk., 2004). Kelompok Nannofosil yaitu *Reticulofenestra* yang berukuran kecil (1- 5 mikrometer) merupakan indikator kondisi produktivitas permukaan yang tinggi (kondisi eutrofik) dengan posisi nutricline/termoklin yang dangkal (Flores dkk., 2000). *Discoaster* telah menjadi indikator perubahan lingkungan dan paleoklimat dari banyak penelitian di dunia dan global, dimana coccolith ini hidup di

habitat perairan yang hangat, spesies *lower photic zone* dan oligotrofik (Bralower, 2002; Imai dkk., 2020; Farida dkk., 2022), dengan preferensi untuk perairan dangkal (Perch-Nielsen, 1985) yang digunakan sebagai genus *K-strategist* ("spesialis"). *Sphenolithus* dianggap terbatas pada massa air permukaan yang hangat dan teroksigenasi dengan baik di lingkungan lautan terbuka (Wade dan Bown, 2006) yang sering digunakan sebagai *k-selected taxa*, yang beradaptasi pada lingkungan yang hangat dan oligotropik (Flores dkk., 1995) yang memiliki kesamaan dengan *Discoaster*. Kemunculan dan kelimpahan *Sphenolithus* terbatas pada massa air permukaan yang hangat dan teroksigenasi dengan baik di lingkungan lautan terbuka (*k-selected taxa*, "*specialists*") yang beradaptasi pada lingkungan yang hangat dan oligotropik (Flores dkk., 1995; Mejía-Molina dkk., 2010), dan akan muncul dalam jumlah yang sangat banyak dalam kondisi yang tidak biasa (interval "*bloom*"). *Small reticulofenestrid coccoliths* atau *Reticulofenestra* spp. (ukuran kecil) merupakan penciri atau karakteristik dari lingkungan purba 'upwelling/eutropik' (Young, 1994; Takahashi and Okada, 2000) dan kenaikan jumlah produktivitas atau kelimpahan dari *small reticulofenestrids* merupakan indikator *higher productivity* pada Zaman Neogene (Flores dkk., 2000; Imai dkk., 2015; Imai dkk., 2020). Studi mengenai paleoseanografi dan paleoenvironment pada Miosen hingga Pleistosen di Samudera Pasifik dan Equator menggunakan nannofosil sudah signifikan (Mejía-Molina et al., 2010 ; Imai dkk., 2020; Young dkk., 2021; Pratiwi dkk., 2022; Farida dkk., 2022) namun masih terbatas untuk detil di wilayah Indonesia. Lokasi penelitian lebih detil terletak di cabang Sungai Cikarang yaitu Cikangkung, Desa Swakarya, Ciletuh Pelabuhanratu geopark (Gambar 1). Acuan untuk kajian posisi stratigrafi daerah Ciletuh, Sukabumi berdasarkan Peta geologi Lembar Jampang dan Balekambang skala 1:100.000 (Sukanto, 1975). Geopark Ciletuh terletak pada kompleks Teluk Ciletuh yang berada di zona Pegunungan Selatan Jawa (Rosana dkk., 2006). Formasi Jampang Anggota Cikarang di Sungai Cikarang, Geopark Ciletuh Pelabuhanratu diendapkan dari NN hingga NN4 berdasarkan identifikasi kemunculan delapan datum marker spesies nannofosil dari tua ke muda (Pratiwi dkk., 2022). Dalam penelitian ini, rekonstruksi *paleoenvironment* atau lingkungan pengendapan purba difokuskan pada *Reticulofenestra* spp. <5 µm dan *Sphenolithus* spp. yang digunakan untuk

mengidentifikasi perubahan produktivitas primer. Untuk *Discoaster* spp. tidak digunakan dimana kemunculannya pada

sampel sangat jarang dan tidak menerus pada lapisan singkapan (*outcrops*).

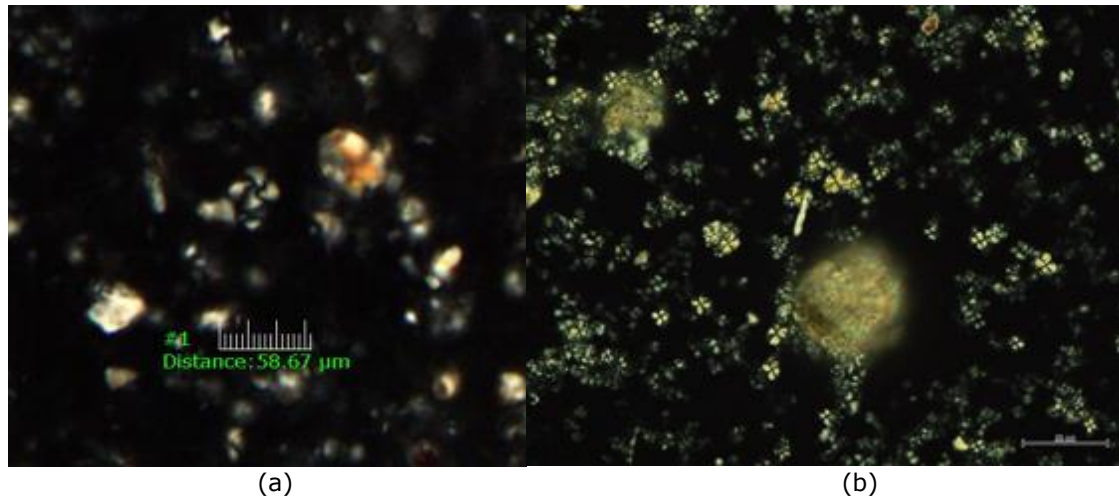


Gambar 1. Titik lokasi pengambilan sampel di Formasi Jampang Anggota Cikarang. Modifikasi peta menggunakan peta geologi regional Lembar Jampang dan Balekambang dari Sukanto (1975)

METODELOGI PENELITIAN

Preparasi *microslide* nannoplankton berkapur dibuat dengan menggunakan teknik *simple smear slide* (Young, 1998) yang memungkinkan analisis data yang homogen dan dapat dibandingkan antar sampel dan estimasi kelimpahan relatif coccolith. Identifikasi spesimen dari 35 sampel singkapan batuan dengan total 70 *prepare* nannofossil dilakukan pada perbesaran 1000× dengan mikroskop cahaya terpolarisasi Olympus BX-51 yang dikombinasikan dengan Olympus Bx53 dan mengikuti paleontologi sistematis dari Martini dan Worsley (1970). Identifikasi umur marker nannofossil berdasarkan Sato dan Chiyonobu (2013). Untuk memperkirakan kelimpahan menggunakan metode *Semi-quantitative counting* dan *Simple relative abundance counting* dengan sekitar 100-200 spesimen individu per-sampel dihitung dalam

pengamatan 30 *view of field* untuk mendeteksi semua spesies dengan proporsi yang lebih besar dari 1% (Young, 1998). Untuk evaluasi kuantitatif dalam Nannofossil *paleoenvironmental proxy* yaitu persentase *Reticulofenestra* <5 µm dan *Sphenolithus* spp. (Gambar 2) dalam jumlah total nannofossil sedimen sampel, beberapa pengukuran dilakukan dari masing-masing 50-100 spesimen individu *Reticulofenestra* dan *Sphenolithus* individu juga dihitung jumlah total serta persentase dalam satu sampel. Data tersebut kemudian diplot dalam grafik titik kedalaman (X-axis) berbanding persentase *Reticulofenestra* spp. dan *Sphenolithus* spp. (Y-axis). Kelimpahan dan distribusi *Discoaster* sangat sedikit dan tidak muncul di semua sampel sehingga tidak dapat digunakan sebagai parameter dalam penelitian ini.



Gambar 2. (a) *Reticulofenestra* spp. (small size < 5 μm), dan (b) *Sphenolithus* spp. di bawah mikroskop Binokular Polarisasi dengan perbesaran 1000 $\times$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara stratigrafi, singkapan batuan sedimen di daerah penelitian merupakan bagian dari Formasi Jampang Anggota Cikarang, Jawa Barat. Variasi dalam kemunculan dan kelimpahan spesies pada singkapan Formasi Jampang yaitu Anggota Cikarang di Ciletuh mungkin merupakan hasil dari spesies hidup yang terbatas pada area tertentu di lingkungan batial (Winarto, 2022). Tiga puluh enam spesies nannofosil berkapur yang telah dideskripsikan sebelumnya dari keseluruhan 70 *microslide* preparasi nannofosil yang mewakili 20 genera, diidentifikasi dengan mikroskop Binokular Polarisasi Olympus Bx-51 dan Bx-53 (Tabel 1). Pada bagian ini, kami menyajikan distribusi dan kelimpahan beberapa taksa proksi paleoenvironmental dan hubungannya dengan jumlah total nannofosil dan dirinci dalam section. Secara umum, spesimen nannofosil berkapur pada samples terawetkan dengan cukup baik (*moderate preservation*) dan cukup menunjukkan variasi kelimpahan namun kehadiran *Discoaster* sebagai indikator *warm water* tidak bisa ditemukan di seluruh *section* sedimen (1 spesimen pada sampel lapisan 1,33 m dan 9,07 m). Hasil identifikasi menunjukkan *Sphenolithus*, *Cyclicargolithus* dan *Reticulofenestra* berlimpah. *Reticulofenestra* dibagi menjadi empat kelompok dasar yaitu *Reticulofenestra* dengan size < 3 mikrometer, 3-5 mikrometer dan <5 mikrometer serta *Reticulofenestra* dengan size 7 mikrometer (Tabel 2). Dan yang digunakan dalam *paleonvironment* yaitu persentase dari total spesies *Reticulofenestra* dengan size sampai <5 mikrometer. Distribusi spesies di daerah penelitian terdiri dari : *Reticulofenestra* spp., *Ascidian spicules*, *Braarudosphaera bigelowii*, *Calcidiscus leptoporus*, *C. macintyreii*, *C. tropicus*, *Clausicoccus fenestratus*, *C.*

miopelagicus, *C. pelagicus*, *Cyclicargolithus abisectus*, *C. floridanus*, *Discoaster* spp., *Hayaster perplexus*, *Helicosphaera ampliaperta*, *H. carteri*, *H. euphratis*, *H. obliqua*, *Hughesius gizoensis*, *H. tasmaniae*, *Pontosphaera* sp., *Rhabdosphaera clavigera*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Sphenolithus dissimilis*, *S. abies*, *S. belemnus*, *S. disbelemnus*, *Sphenolithus heteromorphus*, *S. moriformis*, *Sphenolithus* sp., *Thoracosphaera heimii*, *Triquetrorhabdulus carinatus*, *T. milowii*, *Umbilicosphaera Jafari*, dan *Umbilicosphaera rotula* (Tabel 1). Berdasarkan rentang stratigrafi marker spesies yaitu dari karakteristik FO *Sphenolithus dissimilis* (NN1 Zone) pada ketebalan interval 9,43 m, FO *Sphenolithus disbelemnus* (NN2/NN1 Zone/9,40 m); LCO *Triquetrorhabdulus carinatus* (NN2 Zone/ interval 9,13 m); FCO *Helicosphaera carteri* (NN2 Zone/ interval 9,07 m); FO *Sphenolithus belemnus* (NN3/NN2 Zone/ interval 7,52 m); LO *Sphenolithus dissimilis* (NN3 Zone/ interval 6,97 m); LCO *Sphenolithus belemnus* (NN4/NN3 Zone/ interval 5,61 m); dan FCO *Sphenolithus heteromorphus* (NN4 Zone/ interval 3,39m). Data riset memungkinkan kami untuk menempatkan bagian yang diteliti pada zona NN1 (CN1) hingga NN4 (CN3) dari Martini (1971) dan Okada dan Bukry (1980), yang mengindikasikan umur Miosen Awal (Tabel 1). Nannofosil dengan kemunculan yang menerus selain *Reticulofenestra* dan *Sphenolithus* yaitu spesies dari *Cyclicargolithus*, *Helicosphaera*, dan sedikit berlimpah dari kemunculan spesies *Umbilicosphaera*. Anggota genus *Sphenolithus* yang dalam penelitian ini terdiri dari kemunculan *Sphenolithus dissimilis*, *S. abies*, *S. belemnus*, *S. disbelemnus*, *Sphenolithus heteromorphus*, *S. moriformis*, *Sphenolithus* sp., membentuk kelompok

yang tersebar luas, menerus dan strata kelompok mikrofossil yang penting secara grafis dari zona biostatigrafi NN1 sampai NN4. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Okada dan Honjo (1973), rekonstruksi *paleoenvironmental* yang disajikan dalam penelitian ini (Tabel 2) difokuskan pada perubahan produktivitas kelimpahan dari *Sphenolithus* dan *Reticulofenestra* ukuran kecil. Sifat "oportunistik" (r-strategis) dari plakolit kecil (*Reticulofenestra* kecil) dalam riset pada sedimen yang diperoleh dari Pasifik, menunjukkan kelimpahannya selama episode upwelling (eutropik). Selain itu, kelompok *Reticulofenestra* ukuran kecil merupakan indikator kondisi produktivitas permukaan yang tinggi (kondisi eutrofik) dengan posisi nutricline/termoklin yang dangkal.

Grafik hubungan antara persentase kelimpahan dari *Reticulofenestra* spp. (small size) dan *Sphenolithus* pada Miosen awal di Ciletuh ditunjukkan pada gambar 3. Dari NN1 (interval 9,44 m) sampai NN3 (interval 3,5 m), persentase kelimpahan *Reticulofenestra* spp. (small size) relative stabil yaitu 38% - 47% total kelimpahan. Korelasi positif dengan persentase distribusi kelimpahan *Sphenolithus* spp. yang relatif stabil pada kedalaman yang sama yaitu 15% hingga 18%. *Sphenolithus* spp. menunjukkan grafik kenaikan kelimpahan yang signifikan pada interval 3,39 m sampai dengan interval 1,11 m yaitu meningkat menjadi 30% hingga mendekati 40% dari total kelimpahan individu spesies nannofossil.

Tabel 1. Distribusi nannofossil dan zona umur berdasarkan datum marker.

Nomor sampel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Interval ketebalan lapisan (m)	0,42	1,11	1,21	1,33	2,11	3,02	3,29	3,39	4,14	4,34	5,21	5,29	5,36	5,61	5,7	5,78	6,04	6,16	6,42	6,97	7,11	7,42	7,52	7,89	7,96	8,63	8,77	8,89	8,99	9,07	9,13	9,23	9,4	9,43	9,44	
Zonal assignments	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN4	NN3	NN3	NN3	NN3	NN3	NN3	NN3	NN3	NN3	NN2	NN2	NN2	NN2	NN2	NN2	NN2	NN2	NN2	NN1	NN1	NN1	NN1	
Preservation	M	M	M	M	G	G	M	G	M	G	M	P	M	M	M	M	P	P	M	G	M	P	M	P	P	M	M	P	M	M	P	G	G	G	P	
<i>Reticulofenestra</i> spp. (>7 microns)	0	0	0	3	5	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Ascidian spicules</i>	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Braarudosphaera bigelowii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	0	0	0	0	0	0	8	7	6	2	5	1	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	
<i>Calcidiscus macintyreii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Calcidiscus tropicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Claustricococcus fenestratus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Coccolithus mioplagicus</i>	0	0	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1
<i>Coccolithus pelagicus</i>	7	0	0	4	3	4	1	0	1	4	3	1	3	3	2	3	2	0	4	3	0	1	5	0	5	3	4	2	5	6	5	4	5	7	5	
<i>Cyclicargolithus abietus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Cyclicargolithus floridanus</i>	8	12	12	7	11	7	3	12	13	11	10	1	10	10	12	10	1	1	3	12	2	1	3	5	1	3	5	6	12	3	1	11	12	11	2	
<i>Discoaster</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Hayaster perplexus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Helicosphaera ampliaperia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Helicosphaera carteri</i>	6	0	0	12	12	11	12	8	1	9	12	1	0	9	8	8	0	2	0	5	0	0	5	0	0	12	12	1	1	12	1	0	0	0	0	
<i>Helicosphaera euphratis</i>	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	0	4	3	+	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	
<i>Helicosphaera obliqua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
<i>Hughesius gizeensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	2	3	3	4	1	
<i>Hughesius tasmaniae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	1	4	0	0	0	0	0	
<i>Pontosphaera</i> sp.	1	0	0	1	1	0	0	0	0	7	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Reticulofenestra</i> spp. (<3 microns)	45	0	0	2	2	2	17	33	21	25	16	22	15	20	15	15	15	15	15	19	5	11	2	18	3	19	12	4	24	18	5	15	18	20	4	
<i>Reticulofenestra</i> spp. (3-5 microns)	30	0	0	4	2	2	28	17	29	25	16	14	19	15	25	27	22	22	15	20	16	13	22	5	22	5	18	24	14	14	5	15	18	18	1	
<i>Reticulofenestra</i> spp. (5-7 microns)	0	0	0	4	11	0	9	21	8	8	10	0	0	0	0	0	1	1	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	5	12	9
<i>Rhabdosphaera clavigera</i>	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Scyphosphaera apsteinii</i>	6	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sphenolithus dissimilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0	1	2	2	1	1	1	2	3	2	2	
<i>Sphenolithus abies</i>	5	0	0	5	22	16	1	1	4	+	17	3	3	3	6	10	9	8	8	9	+	1	3	8	1	1	4	1	8	3	3	3	2	2	0	
<i>Sphenolithus belemnus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sphenolithus disbelemnus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	0	
<i>Sphenolithus heteromorphus</i>	5	20	30	10	4	8	1	1	0	10	3	1	2	4	3	3	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Sphenolithus moriformis</i>	0	0	0	0	3	3	0	0	2	12	0	0	0	1	4	5	1	5	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	
<i>Sphenolithus</i> sp.	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	
<i>Thoracosphaera heimii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Thoracosphaera</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Triquetrorhabdulus carinatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1	1	
<i>Triquetrorhabdulus milovii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Umbilicosphaera jafari</i>	10	0	0	8	7	0	0	8	5	4	5	1	4	7	8	3	5	0	3	5	0	0	4	0	0	0	3	2	2	2	0	0	0	0	0	
<i>Umbilicosphaera rotula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	2	1	1	
<i>Umbilicosphaera</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	

Berdasarkan korelasi hubungan persentase *Reticulofenestra* spp. (<5 μm) dan *Sphenolithus* spp. dapat disimpulkan bahwa interpretasi stratigrafi dari NN1 hingga NN3, *Reticulofenestra* spp. (small size) kelimpahan genus ini relatif konstan dan persentasenya menurun sangat drastis pada NN4 pada interval lapisan ke-13 (3,8 m) sampai sample pada tebal lapisan 1,11 m. Indikator spesies *warm water* yaitu *Sphenolithus*, dari lapisan paling tua (NN1) hingga NN3 kelimpahan kemunculan juga konstan. Dari lapisan pada

lapisan di ketebalan 3,8 m ke atas, secara khusus dicirikan oleh interval kelimpahan *S. heteromorphus*, yang merupakan komponen dominan dari kumpulan nannofossil pada Formasi ini dan *Sphenolithus abies* juga menunjukkan kenaikan kelimpahan pada interval 3,8 m -1,11 m. Perubahan drastis dari kelimpahan *Cyclicargolithus*, dan *Umbilicosphaera* menjadi meningkat pada interval 3,39 m juga dapat menjadi indikator tambahan perubahan lingkungan menjadi eutropik dimana spesies-spesies tersebut

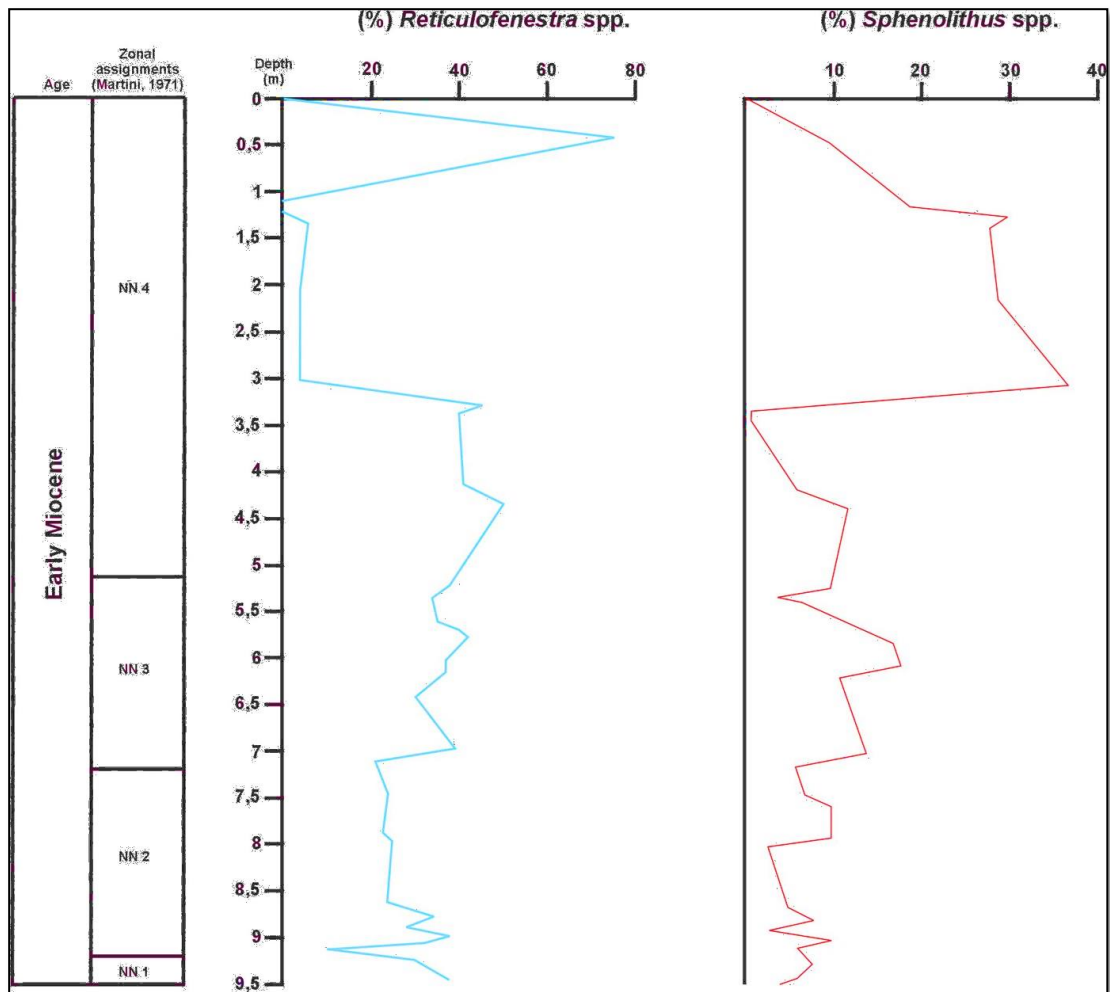
merupakan indikator *warm water* (Imai dkk., 2015; Young dkk., 2021).

Berdasarkan korelasi umur dari datum marker *First Common Occurrence* (FCO) *Sphenolithus heteromorphus*, dapat disimpulkan bahwa perubahan kondisi paleoenvironment dari oligotropik menjadi eutropik dimulai pada NN4 yaitu pada 17.721 Ma dan pada 22,8 Ma hingga 17,7 Ma, dan kondisi lingkungan purba pada Formasi Jampang Anggota Cikarang yaitu pada Zona Oligotropik. Biozonasi nannofossil didapatkan

pada rentang Zona NN1 - Zona NN4 dari datum marker dan perubahan iklim global dan regional yang terjadi tercermin dalam perubahan penting pada kumpulan fosil dan pola kelimpahan nanoplankton (*K-r strategic*). Episode paleoenvironment pada Miosen awal dari interval kenaikan kelimpahan *Sphenolithus coccolith* (K- mode), disertai dengan penurunan drastis dalam kelimpahan total *Reticulofenestra coccoliths* (r- mode) dari Zona NN1 hingga NN4.

Tabel 2. *Total abundance Reticulofenestra spp. dan Sphenolithus spp. dalam hubungan dengan kedalaman (m) dan zona biostratigrafi (Martini, 1971).*

Umur	Zonal Assignments (Martini, 1971)	Nomor Sampel	Ketebalan Lapisan (m)	Total Abundance of <i>Reticulofenestra</i> small size & <i>Sphenolithus</i>								
				<i>Reticulofenestra</i> spp. (3-5 microns)	<i>Reticulofenestra</i> spp. (<3 microns)	<i>Sphenolithus abies</i>	<i>Sphenolithus heteromorphus</i>	<i>Sphenolithus belemnos</i>	<i>Sphenolithus dissimilis</i>	<i>Sphenolithus moriformis</i>	<i>Sphenolithus disbelemnos</i>	<i>Sphenolithus</i> sp.
Miosen Awal	NN4	1	0,42	30	45	5	5	0	0	0	0	+
	NN4	2	1,11	0	0	0	20	0	0	0	0	+
	NN4	3	1,21	0	0	0	30	0	0	0	0	+
	NN4	4	1,33	4	2	5	10	0	0	0	0	1
	NN4	5	2,11	2	2	22	4	0	0	3	0	1
	NN4	6	3,02	2	2	16	8	0	0	3	0	1
	NN4	7	3,29	28	17	1	1	0	0	0	0	1
	NN4	8	3,39	17	33	1	1	0	0	0	0	1
	NN4	9	4,14	29	21	4	0	0	0	2	0	1
	NN4	10	4,34	25	25	+	10	0	0	12	0	1
	NN4	11	5,21	16	16	17	3	0	0	0	0	0
	NN4	12	5,29	14	22	3	1	0	0	0	0	1
	NN4	13	5,36	19	15	3	2	1	0	1	0	1
	NN3	14	5,61	15	20	3	4	2	0	4	0	1
	NN3	15	5,7	25	15	6	3	1	0	5	0	1
	NN3	16	5,78	27	15	10	3	3	0	1	0	+
	NN3	17	6,04	22	15	9	1	3	0	5	0	0
	NN3	18	6,16	22	15	8	2	1	0	0	0	0
	NN3	19	6,42	15	15	8	2	1	0	1	0	0
	NN3	20	6,97	20	19	9	0	1	3	1	0	+
	NN3	21	7,11	16	5	+	0	1	3	1	1	+
	NN3	22	7,42	13	11	1	0	3	1	1	1	+
	NN2	23	7,52	22	2	3	0	2	2	1	2	+
	NN2	24	7,89	5	18	8	0	0	0	0	2	+
	NN2	25	7,96	22	3	1	0	0	1	0	1	+
	NN2	26	8,63	5	19	1	0	0	2	0	2	+
	NN2	27	8,77	18	12	4	0	0	2	0	2	1
	NN2	28	8,89	24	4	1	0	0	1	0	1	0
	NN2	29	8,99	14	24	8	0	0	1	0	1	0
	NN2	30	9,07	14	18	3	1	0	1	2	1	0
	NN2	31	9,13	5	5	3	0	0	2	1	1	0
	NN2	32	9,23	15	15	3	0	0	3	0	2	1
	NN1	33	9,4	18	18	2	0	0	2	0	2	1
	NN1	34	9,43	18	20	2	0	0	2	0	0	1
	NN1	35	9,44	1	4	0	0	0	1	0	0	+



Gambar 3. Persentase *Reticulofenestra* spp. (<5 μ m) dan *Sphenolithus* spp. dalam jumlah total nannofossil sedimen kering.

KESIMPULAN

Dalam studi ini, nannoplankton cukup berlimpah dan tidak semua zona terawetkan dengan baik selama Miosen awal. Kondisi pengawetan nannofossil sangat baik yang dicirikan oleh struktur perisai yang sangat halus dari beberapa taksa dapat dikenali serta dapat digunakan sebagai penciri perubahan lingkungan pengendapan purba. Peristiwa episode untuk interval "bloom" dari *Sphenolithus* spp. telah teridentifikasi, disertai dengan penurunan drastis dalam kelimpahan nannofossil total dan kenaikan drastis pada jumlah produktivitas pada plakolit kosmopolitan kecil (*Reticulofenestra* spp.) yaitu pada Zona N4 (17,7 Ma) berdasarkan datum marker *First Common Occurrence* (FCO) *Sphenolithus heteromorphus*. Formasi Jampang Anggota Cikarang secara umum dapat disimpulkan terendapkan pada kondisi oligotropik dimana lingkungan pengendapan purba ini dicirikan oleh dominasi kemunculan *Sphenolithus* spp. sebagai indikator temperatur panas yang menerus dari NN1- NN4. Penelitian lebih

lanjut pada umur Miosen dapat menjadi dasar rekonstruksi paleoseanografi yang berkaitan dengan peristiwa tektonik dan perubahan iklim global di Kawasan Ciletuh Pelabuhanratu Geopark.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pengulas atas komentar-komentar yang konstruktif dan berharga serta saran-saran yang mendalam. Terima kasih untuk laboratorium kerjasama riset Akita University. Karya ini merupakan kontribusi dari proyek penelitian Hibah Internal Unpad untuk Riset Kompetensi Dosen Unpad (RKDU: 1549/UN6.3.1/PT.00/2023) dan Riset Percepatan Lektor Kepala (RPLK: 1549/UN6.3.1/PT.00/2023).

DAFTAR PUSTAKA

Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catanzariti, R., Pälike, H., Backman, J., dan Rio, D. 2014. Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from

- low and middle latitudes. *Newsl. Stratigr.*, 7 (2) : 131-181.
- Aubry, M.-P. 1992. Late Paleogene calcareous nannoplankton evolution: A tale of climatic deterioration. In D. R. Prothero & W. A. Berggren (Eds.), *Eocene-oligocene climatic and biotic evolution* (pp. 272-309). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Backman, J., Raffi, I., Rio, D., Fornaciari, E. dan Palikey, H. 2012: Biozonation and biochronology of Miocene through Pleistocene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. *Newsletters on Stratigraphy* 45, 221-244.
- Bown, P., Lees, J.A., Young, J.R., 2004. Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time. In: Thierstein, H.R., Young, J.R. (Eds.), *Coccolithophores: From molecular processes to global impact*. Springer-Verlag, New York, 481-508.
- Bralower, T.J. 2002. Evidence of surface water oligotrophy during the paleocene-eocene thermal maximum: nannofossil assemblage data from ocean drilling program site 690 maud rise, weddell sea. *Paleoceanography*, 17 : 1-13.
- Farida, M., Jaya, A., dan Nugraha, J. 2022. Calcareous Nannofossil Biostratigraphy of Tonasa Formation at Barru River Traverse, South Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 9 (3): 371-381.
- Fischer, A.G. 1981. Climatic oscillations in the biosphere. M.H. Nitecki (Ed.), *Biotic Crises in Ecological and Evolutionary Time*, Academic Press, New York, Vol. 103-131.
- Flores, J.A., Sierro, F.J., dan Raffi, I. 1995. Evolution of the calcareous nannofossil assemblage as a response to the paleoceanographic changes in the eastern equatorial Pacific Ocean from 4 to 2 Ma (Leg 138, Sites 849 and 852). *Proc. Ocean Drill. Progr. Sci. Results*, 138:163-176.
- Flores, J.A., Bárcena, M.A., dan Sierro, F.J. 2000. Ocean surface and wind dynamics in the Atlantic Ocean off Northwest Africa during the last 140.000 years. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 161: 459-478.
- Fornaciari, E., Raffi, I., Rio, D., Villa, G., Backman, J., dan G. Olafsson. 1990. Quantitative distribution patterns of Oligocene and Miocene calcareous nannofossils from the western equatorial Indian Ocean. *Proceeding of the ODP, Scientific Results*, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 115 : 237-254.
- Haq, B.U., Premoli-Silva, I., dan Lohmann, G.P. 1976. Calcareous plankton paleobiogeographic evidence for major climatic fluctuations in the early Cenozoic Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 82:3861-3876.
- Imai, R., Sato, T., Chiyonobu, S., dan Iryu, Y. 2020. Reconstruction of Miocene to Pleistocene sea-surface conditions in the eastern Indian Ocean on the basis of calcareous nannofossil assemblages from ODP Hole 757B. *Island Arc*, 29.
- Martini, E. 1971. Standard tertiary and quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci, A. (Editor), *Proceedings of the second planktonic conference*, Rome, 1970, Rome, pp. 737-785.
- Martini, E., Worsley, T. 1970. Standard Neogene calcareous nannoplankton zonation. *Nature*, 225 :289.
- Mejía-Molina, A., Flores, J.A., Torres Torres, V., Sierro, F.J. 2020. Distribution of calcareous nannofossils in upper eocene-upper Miocene deposits from northern Colombia and the Caribbean Sea. *Rev. Espanola Micropaleontol*, 42 (3): 279-300.
- Nannotax3. 2014 website: <http://ina.tmsoc.org/Nannotax3>. Date accessed: 29/11/2022.
- Okada, H. & Bukry, D. 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropaleontology* 5: 321-325.
- Okada, H., dan McIntyre, A. 1979.. Seasonal distribution of modern coccolithophores in the western North Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 54(4): 319-328.
- Pratiwi, S.D., Chiyonobu, S., dan Rosana, M.F. 2022. Identifikasi Umur Formasi Jampang Anggota Cikarang Berdasarkan Kumpulan Nannofossil Gampingan di Sungai Cikarang, Geopark Ciletuh Pelabuhanratu. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 20 (3): 137-142.
- Pratiwi, S. D., dan Sato, T. 2016.. Reconstruction of paleoceanography significance in the Western Pacific and Atlantic oceans during the neogene based on calcareous nannofossil productivity and size variations, related to the global tectonic events. *Open Journal of Geology*, 6: 931-943.
- Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic calcareous nannofossils. In Bolli, H.M., Saunders, J.B. & Perch-Nielsen, K. (eds): *Plankton Stratigraphy*, 427-554. Cambridge University Press, Cambridge.
- Raffi, I., dan Flores, J. A. 1995. Pleistocene through Miocene calcareous nannofossils from eastern equatorial Pacific Ocean (Leg 138). In N. G. Pisias, L. A. Mayer, T. R. Janecek, A. Palmer-Julson, & T. H. van

- Andel (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* (Vol. 138, pp. 233–286). College Station, TX: Ocean Drilling Program.
- Rosana, M. F. 2006. *Geologi Kawasan Ciletuh Sukabumi : Karakteristik, Keunikan, dan Implikasinya*. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Sato, T. dan Chiyonobu, S. 2013. *Manual of Microfossil Study*. Asakura Publishing Co., Ltd., Japan, 108. *Science*, 292: 686-693.
- Sato, T., Yuguchi, S., Takayama, T., dan Kameo, K. 2004. Drastic change in the geographical distribution of the cold-water nannofossil *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller at 2.74 Ma in the late Pliocene, with special reference to glaciation in the Arctic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 52: 181–193.
- Sukamto. 1975. *Peta Geologi Regional Lembar Jampang dan Balekambang Skala 1 : 100.000*. Bandung : Direktorat Geologi Pusat Survey Geologi Indonesia.
- Wade, B.S., dan Pälike, H. 2004. Oligocene climate dynamics. *Paleoceanography*, 19 (4019) : 1-16.
- Wells, P., dan Okada, H. 1997. Response of nannoplankton to major changes in sea-surface temperature and movements of hydrological fronts over Site DSDP 594 (south Chatham Rise, southeastern New Zealand), during the last 130 kyr. *Marine Micropaleontology*, 32: 341–363.
- Winarto, J.B., 2022. *Paleogeomorfologi Formasi Cibodas dan Catatan Temuan Fosil Gigi Hiu di Daerah Gunung Sungging dan Sekitarnya, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat*. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 23 (1): 61-69.
- Young, J. R. 1998. Neogene. In: Bown, P.R. (Editor), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publications Series. Chapman & Hall, London, 225-265.
- Young, J.R., Archontikis, O.A., Su, X., dan Pratiwi, S.D. 2021. Nannofossil palaeoecology of Lower Miocene sapropels from IODP Expedition 359, the Maldives. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Zachos, J.C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., dan Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present.

