



**Distribusi Nannofosil dan Foraminifera pada Batas Pliosen-Plistosen
 Formasi Batilembuti di Pulau Yamdena, Provinsi Maluku dan Relevansinya
 dengan Tektonik Regional**
*Nannofossil and Foraminifera Distribution at the Pliocene-Pleistocene
 Boundary of the Batilembu Formation on Yamdena Island, Maluku Province and
 Their Relevance to Regional Tectonics*

Masykur Widhiyatmoko^{1,3}, Vijaya Isnaniawardhani², Moh Heri Hermiyanto Zajuli³

¹Program Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,
 Jalan Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat

²Departemen Geosains, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,
 Jalan Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat

³Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung, Jawa Barat

e-mail: masykur20001@mail.unpad.ac.id

Naskah diterima: 13 Juli 2022, Revisi terakhir: 29 November 2022, Disetujui: 30 Januari 2023 Online: 1 Februari 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i1.737>

Abstrak - Analisis mikropaleontologi (foraminifera dan nannofosil) merupakan data pendukung dalam merekonstruksi stratigrafi sedimen laut. Studi ini dilakukan untuk menganalisis keragaman dan kelimpahan nannofosil serta foraminifera untuk menentukan umur dan lingkungan pengendapan, serta hubungannya dengan aktifitas tektonik. Berdasarkan kumpulan nannofosil yang terkandung pada empat sampel dari Formasi Batilembuti, batuan ini berumur NN18-NN19, atau batas Pliosen-Plistosen, yang ditandai oleh akhir kemunculan *Discoaster brouweri* dan awal kemunculan *Gephyrocapsa caribbeanica*. Berdasarkan foraminifera planktonik, batuan tersebut berumur N21-N22, yang ditentukan dari akhir kemunculan *Globigerinoides trilobus fistulosus*, *Sphaeroidinellopsis seminulina*, *Globorotalia multicamerata*, dan *Globigerinoides obliquus extremus* dan awal munculnya *Globorotalia truncatulinoides*. Kumpulan foraminifera bentonik mengindikasikan Formasi Batilembuti diendapkan pada lingkungan batial atas. Rekonstruksi stratigrafi menggambarkan Formasi Batilembuti ditutupi secara tidak selaras oleh batugamping Formasi Saumlaki yang terbentuk pada lingkungan lebih dangkal (sublitoral luar atau neritik luar). Hal ini relevan dengan tektonik regional *collision*, berlangsung sejak dua juta tahun lalu (batas Pliosen-Plistosen), yang mengakibatkan Kepulauan Tanimbar mengalami pengangkatan hingga akhirnya muncul di permukaan.

Abstract- *Micropaleontological analysis (nannoplankton and foraminifera) is supporting data in the stratigraphy reconstruction of marine sediment. This study was conducted to analysis of diversity and abundance of nannofossil as well as foraminifera in order to age determination and depositional environment, and its relevancy to tectonic activity. Based on nannofossil assemblages contained at four samples on Batilembuti Formation, it is NN18-NN19 aged, or Pliocene-Pleistocene boundary, which marked by last appearance of Discoaster brouweri and first appearance of Gephyrocapsa caribbeanica. Based on planktonic foraminifera, it is N21-N22 aged, which determined by last appearance of Globigerinoides trilobus fistulosus, Sphaeroidinellopsis seminulina, Globorotalia multicamerata, and Globigerinoides obliquus extremus, and first appearance of Globorotalia truncatulinoides. Benthic foraminifera assemblages indicated that Batilembuti was deposited in upper bathyal. Stratigraphic reconstruction illustrated that Batilembuti Formation is unconformity overlaid by limestone of Saumlaki Formation that formed at shallower condition (outer sublittoral or neritic). It is relevant to collision regional tectonic that occurred since two million years ago (Pliocene-Pleistocene boundary), that caused the uplifting and emerging of the Tanimbar Island.*

Keywords: *Foraminifera, nannofossil, Pliocene, Pleistocene, Yamdena.*

Katakunci: Foraminifera, nannofosil, Pliosen, Plistosen, Yamdena.

PENDAHULUAN

Fosil nannoplankton dan foraminifera adalah kelompok fosil berukuran kecil yang umumnya terdapat melimpah dan sangat baik digunakan untuk studi sedimen marin. Fosil nannoplakton, atau biasa disebut nannofosil, berukuran $\pm 1-25\mu\text{m}$, berbentuk oval, batang, bintang, dan lain-lain. Nannofosil terdiri atas *coccolith* dan *nannolith*. *Coccolith* merupakan pecahan kalsit dengan struktur tertentu yang dihasilkan alga laut bersel satu, *coccolithophorid*. *Nannolith* merupakan badan kalsit organik yang belum diketahui asal usulnya dan dimasukkan dalam Genera *incertae sedis*. *Nannolith* selalu terdapat bersamaan dengan kelompok *coccolith* (Kapid, 2003). Adapun foraminifera adalah organisme bersel satu, mempunyai satu atau lebih kamar-kamar yang terpisah satu sama lainnya oleh sekat-sekat (septa) yang ditembus oleh lubang-lubang halus (foramen). Berdasarkan cara hidupnya dibedakan menjadi planktonik yang mengapung di permukaan, dan bentonik yang tertambat di dasar endapan sedimen (Pringgoprawiro & Kapid, 2000). Studi biostratigrafi di Indonesia dilakukan terbatas pada daerah yang potensial untuk eksplorasi migas, khususnya di Indonesia bagian barat. Studi di Indonesia bagian timur akan mendorong kontribusi dalam pengembangan keilmuan yang mengalami penurunan (Isnaniawardhani dkk., 2021).

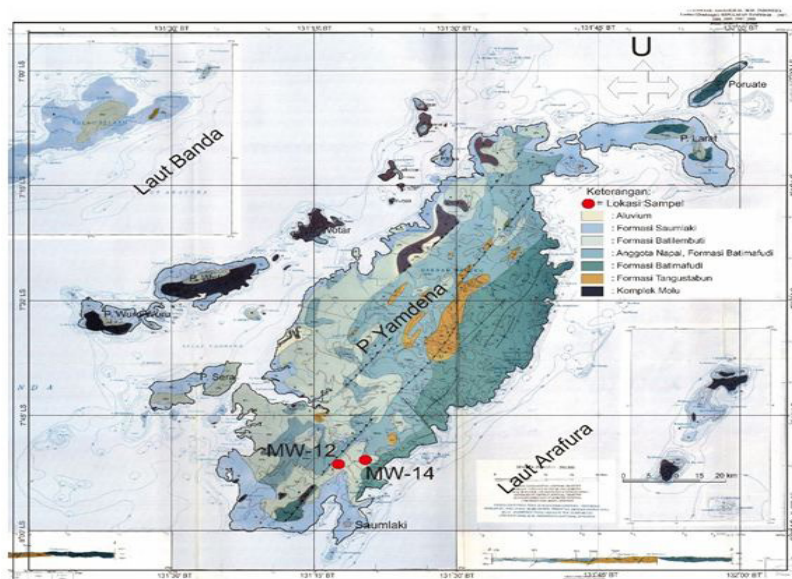
Nannoplankton dan foraminifera planktonik memiliki kisaran stratigrafi pendek dan kelimpahan relatif tinggi sehingga memberikan resolusi tinggi untuk biostratigrafi atau penentuan umur. Lingkungan pen-

gendapan dan paleogeografi diinterpretasikan berdasarkan foraminifera bentonik.

Studi nannofosil dan foraminifera digunakan untuk merekonstruksikan paleogeografi Pulau Yamdena, Provinsi Maluku. Fenomena perubahan paleogeografi Pulau Yamdena, yang berada di Cekungan Tanimbar, bagian tenggara jalur Busur Banda Luar, terindikasikan dari pengamatan lapangan. Cekungan Tanimbar, pada perkembangannya dipengaruhi oleh pergerakan Busur Banda dan bagian barat laut Lempeng Benua Australia. Cekungan ini diisi oleh batuan Proterozoikum hingga Neogen yang telah mengalami deformasi intensif (Charlton, 2000; 2004; 2016; Gambar 1). Rekonstruksi paleogeografi yang didasarkan pada kumpulan nannofosil dan foraminifera dapat menjelaskan tektonik regional Pulau Yamdena.

GEOLOGI REGIONAL

Batuan dasar Cekungan Tanimbar tersusun oleh sekuen Proterozoikum (batuan beku, batuan klastik dan vulkanik), sekuen Paleozoikum Bawah (batupasir karbonat dengan dolomit tebal), serta sekuen Paleozoikum Atas (batuan klastik dan karbonat), yang dikenal sebagai *pre-rift megaquences*. Cekungan Tanimbar terbentuk pada Mesozoikum, yang diisi terutama oleh batuan sedimen klastik, dan karbonat endapan turbidit, berumur Trias-Kapur Awal, yang mendangkal menjadi endapan fluvio-deltaik Formasi Maru. Endapan ini terbentuk pada tatanan-tektonik *early-rift* hingga *post rift* (*passive margin*; Charlton, 2004).



modifikasi dari Sukardi & Sutrisno (1989).

Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel berdasarkan peta geologi regiona

Pada transgresi Jura Tengah, Paparan Tanimbar mulai terisi oleh sedimen, berupa pasir dan lempung, hingga melewati *shelf* di bagian timur. Sedimen berumur muda semakin *onlapping* ke arah timur, sampai *maximum flooding* mencapai masa Albian. Sekuen ini disusun oleh batuan klastik halus yang disebut unit batuan regional *seal* (*unamed*). Regresi utama terjadi selama Kapur Akhir dan dicirikan dengan adanya *prograding clastic* ke arah barat. Pada fase ini disusun oleh batuan klastik Formasi Ungar (Charlton, 2004; Gambar 2).

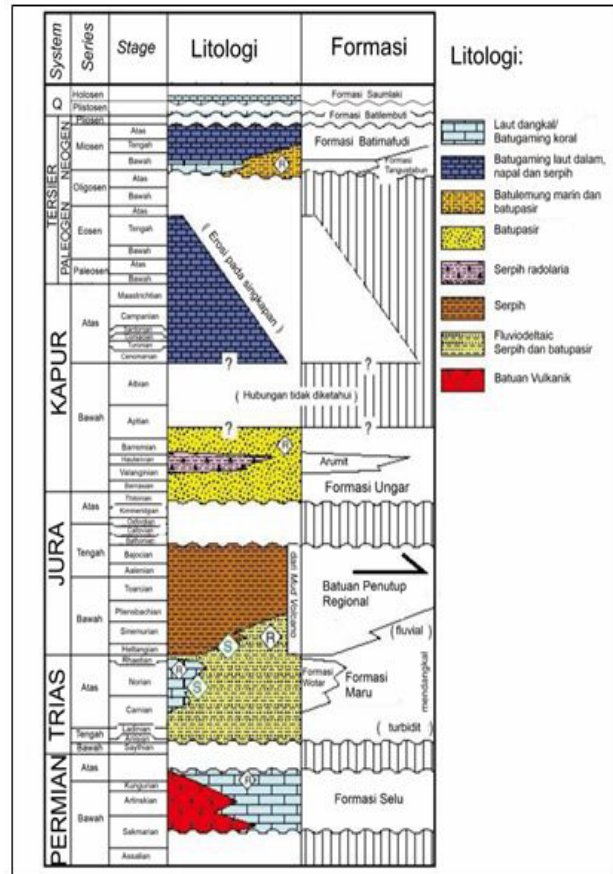
Sedimentasi regresif berlanjut hingga Paleosen-Oligosen Tengah, yang ditandai oleh pembentukan batuan karbonat Formasi Labobar. Pada Oligosen Tengah terjadi pengangkatan regional dan pembentukan *unconformity* yang tersebar luas. Formasi Tangustabun, berupa perselingan batulempung merah dan batulempung hitam karbonan, batupasir tufan halus berlaminasi bagus, selang seling laminasi karbon, terbentuk pada Miosen. Ke arah barat (*basinwestward*), terendapkan sekuen tebal *deepwater marl* berumur Miosen-Pliosen pada zona batial hingga paparan luar, yang dikenal sebagai Formasi Batimafudi dan Batilembuti. Formasi Batifumi berupa batugamping pasir selang-seling napal, mengandung nodul gamping dan lempung, yang diendapkan pada paparan atau sublitoral luar (atau neritik luar). Formasi Batilembuti berupa napal, *fossiliferous*, berlapis bukur, diendapkan pada batial atas.

Endapan pada masa ini dapat dibandingkan dengan batuan yang terendapkan di daerah Papua. Batuan-batuan ini dikelompokkan di dalam Sekuen *New Guinea Limestone*. Tumbukan *Australian Plate* dan *Banda Sea Plate* selama Mio-Pliosen mengakibatkan adanya elevasi pada *foldbelt* dan pengembangan dari *fringing reefs offshore*. Terumbu ini terlihat di pantai Kepulauan Tanimbar yang dinamakan Formasi Saumlaki. Formasi Saumlaki dicirikan dengan batugamping koral, padat, banyak mengandung fosil (moluska, koral), di beberapa tempat breksi batugamping.

METODOLOGI

Objek kegiatan ini menggunakan data permukaan, berupa sampel batuan yang diambil dari lapangan di Pulau Yamdena, Kabupaten Kepulauan Tanimbar. Batuan yang diambil merupakan bagian dari Formasi Batilembuti yang terletak pada 2 lokasi, yaitu:

- a. Lokasi pengamatan MW-12, terletak pada koordinat 7° 51' 8,2" LS dan 131° 15' 19,8" BT
- b. Lokasi pengamatan MW-14, secara posisi stratigrafi berada di atas sampel MW-12 pada koordinat 7° 50' 16,62" LS dan 131° 17' 52,2" BT.



modifikasi dari Charlton, (2004)

Gambar 2. Stratigrafi regional Tanimbar

Dari singkapan MW-14 yang menunjukkan litologi homogen, diambil satu sampel batuan, dan pada MW-12 diambil sebanyak 3 sampel batuan untuk dianalisis, dengan interval 1 m.

Setiap sampel dianalisis untuk diidentifikasi kandungan nanofossil dan foraminifera. Analisis kuantitatif dilakukan pada fosil nanofossil untuk mengetahui tingkat keragaman dan jumlah kelimpahan pada setiap sampel. Penghitungan jumlah nanofossil dengan menggunakan *cascading counting method* (Styzen, 1997) di mana pengamatan nanofossil dilakukan dengan menggunakan mikroskop polarisasi (Kapid, 2003).

Dalam satu preparat yang siap diamati, luas *cover-glass* standar adalah ± 120 x 250 µm. 1 x pengamatan yang biasanya disebut sebagai *field of view* (FOV) mempunyai luas ± 250 µm. Jadi, untuk 1 preparat kita mempunyai 120 FOV. Pengamatan dilakukan pada 10 FOV secara acak dan jumlah seluruh individu yang didapat dikalikan 12 (Styzen, 1997). Selain mengetahui jumlah individu dalam suatu preparat, diperlukan juga untuk mengetahui kelimpahan jumlah suatu spesies dibandingkan jumlah individu yang

teramati dalam preparat untuk selanjutnya dapat diketahui, spesies apakah yang melimpah pada suatu preparat. Klasifikasi kelimpahan spesies (Tabel 2) yang digunakan berdasarkan Kapid & Suprijanto (1996).

Tabel 2. Klasifikasi kelimpahan spesies nannofosil dalam satu preparat (Kapid & Suprijanto, 1996)

| KLASIFIKASI | JUMLAH |
|--------------|-----------------------------------|
| A = Abundant | Lebih dari 15 % |
| C = Common | Lebih dari 10 %, kurang dari 15 % |
| F = Few | Lebih dari 1 %, kurang dari 10 % |
| R = Rare | Kurang dari 1 % |

Dari data kelimpahan spesies nannofosil dapat diperoleh indeks keragaman spesies yang pada studi ini menggunakan rumus Shannon – Weaver (H) yaitu:

$$H = - \sum p_i \cdot \ln p_i$$

Dengan H : Indeks keragaman (*index diversity*)
 p_i : Perbandingan jumlah individu suatu jenis dengan keseluruhan jenis

Hasil (H) yang diperoleh akan menunjukkan indeks keragaman dengan pengelompokan sebagai berikut:

- $0 < H < 2,302$: Keragaman rendah
 $2,302 < H < 6,907$: Keragaman sedang
 $H > 6,907$: Keragaman tinggi

HASIL DAN DISKUSI

Litologi

Pada lokasi pengamatan MW-12, terdapat singkapan batulempung karbonatan setebal 3 m yang tampak homogen di tebing. Batulempung karbonatan ini berwarna abu-abu kecoklatan, bagian bawah tampak lebih masif dibandingkan dengan bagian atas yang lebih lapuk. Tidak terlihat perlapisan yang baik pada singkapan ini. Dari pengamatan megaskopis, terlihat bintik-bintik putih, yang mengindikasikan batulempung karbonatan ini kaya akan foraminifera (Gambar 3). Dari singkapan tersebut, diambil sebanyak 3 sampel batuan setiap interval 1 m untuk dianalisis. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan atau

perubahan keragaman spesies fosil dalam satu lapisan batuan yang dapat memberikan gambaran baik untuk penentuan umur relatif batuan maupun lingkungan pengendapan.

Pada lokasi MW-14 terdapat singkapan berupa batulempung karbonatan, berwarna abu-abu dan coklat, dengan tebal mencapai 1 m, tidak terlihat adanya perlapisan, kondisi singkapan telah mengalami pelapukan. Secara megaskopis terlihat bintik-bintik putih pada batuan yang merupakan indikasi batulempung karbonatan ini kaya akan foraminifera (Gambar 4). Dari singkapan ini diambil satu sampel batuan untuk dianalisis.

Rekonstruksi stratigrafi dan lokasi pengambilan sampel digambarkan sebagaimana terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. Batulempung karbonatan pada lokasi MW-12.



Gambar 4. Batulempung karbonatan pada lokasi MW-14.

| KETEBALAN (Tanpa Skala) | LITOLOGI | KOORDINAT | DESKRIPSI LITOLOGI | FOTO |
|-------------------------|---|-------------------------------------|---|---|
| m | | | | |
| 1 |  → MW-14 | S 7° 50' 16.62" E 131° 17' 52.2" | batulempung karbonatan; berwarna abu - abu kecoklatan, kondisi singkapan segar, tidak menunjukkan perlapisan. |  |
| 0 | | | | |
| 3 |  → MW-12/C | S 7° 51' 8.2" E 131° 15' 19.8" | batulempung karbonatan; berwarna abu - abu kecoklatan, ukuran butir lempung, kondisi singkapan segar, terlihat fosil foraminifera |  |
| 2 |  → MW-12/B | | | |
| 1 |  → MW-12/A | | | |
| 0 | | | | |

Gambar 5. Stratigrafi dan posisi sampel yang merupakan bagian dari Formasi Batilembuti.

Umur Relatif Berdasarkan Nannofosil

Hasil analisis nannofosil pada Formasi Batilembuti yang didapatkan dari sampel-sampel batuan dari lokasi pengamatan MW-12 dan MW-14 (Gambar 6A-Q), menunjukkan bahwa batuan ini berumur relatif pada Zona NN18-NN19 menurut Martini (1971), atau batas Pliosen dan Plistosen (Gambar 7). Zona NN18 (Martini, 1971) adalah akhir Kala Pliosen, sedangkan NN19 (Martini, 1971) adalah awal Kala Plistosen. Zona ini ditentukan berdasarkan kemunculan akhir *Discoaster brouweri* (Choiriah dkk., 2016) dan awal munculnya *Gephyrocapsa caribbeanica*, atau zona *Zona Discoaster brouweri – Gephyrocapsa caribbeanica* (Choiriah dkk., 2016; 2020). Pada zona ini nannofosil yang ditemukan adalah *Calcidiscus macintyreii*, *Coccolithus pelagicus*, *Discoaster brouweri*, *Ceratolithus acutus*, *Ceratolithus cristatus*, *Ceratolithus rugosus*, *Gephyrocapsa caribbeanica*, *Pseudoemiliania lacunosa*, *Helicosphaera kamptneri*, *Helicosphaera selli*, *Pontosphaera multipora*, dan *Scyphosphaera pulcherrima*. Hasil analisis ini sesuai dengan Sukardi & Sutrisno (1989) yang menyebutkan bahwa Formasi Batilembuti berumur Pliosen-Plistosen.

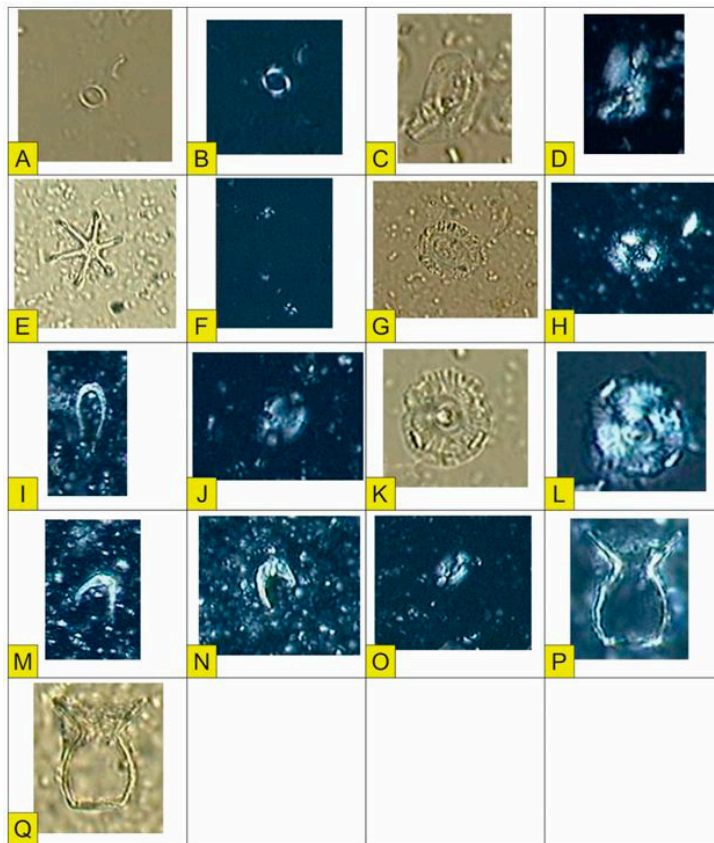
Distribusi nannofosil pada MW-12 dan MW-14 menunjukkan spesies *Discoaster brouweri* dan *Gephyrocapsa caribbeanica* masuk dalam kategori melimpah (abundant), dengan kisaran umur sebagaimana terlihat pada Gambar 8.

Umur Relatif Berdasarkan Foraminifera

Hasil analisis foraminifera pada Formasi Batilembuti yang didapatkan sampel-sampel MW-12 dan MW-14 (Gambar 9A-T dan 10A-E), menunjukkan bahwa batuan ini berumur relatif Zona N21-N22, atau Zona *Globigerinoides trilobus fistulosus - Globorotalia*

truncatulinoides menurut Bolli & Saunders (1985) dan Blow (1969). Zona ini terletak pada batas Pliosen dan Plistosen (Gambar 11). Zona *Globigerinoides trilobus fistulosus - Globorotalia truncatulinoides* ditandai oleh kemunculan terakhir *Globigerinoides trilobus fistulosus* serta awal munculnya *Globorotalia truncatulinoides*. Kemunculan akhir *Globigerinoides trilobus fistulosus* bersamaan dengan *Sphaeroidinellopsis seminulina*, *Globorotalia multicamerata*, dan *Globigerinoides obliquus extremus* dan awal munculnya *Globorotalia truncatulinoides*. Batas Pliosen dan Plistosen juga ditandai oleh *Globorotalia tosaensis tosaensis* yang memiliki kisaran umur relatif Zona N21 sampai N22. Hasil analisis ini sesuai dengan penelitian Sukardi & Sutrisno (1989) yang menyebutkan bahwa Formasi Batilembuti berumur Pliosen-Plistosen.

Pada zona ini spesies-spesies foraminifera yang ditemukan adalah *Globorotalia tumida tumida*, *Sphaeroidinella dehiscens*, *Globigerinoides trilobus immaturus*, *Pulleniatina primalis*, *Globigerinoides trilobus saccuiferus*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides elongatus*, *Globorotalia humerosa humerosa*, *Globigerinoides ruber*, *Sphaeroidinellopsis seminulina*, *Orbulina universa*, *Globorotalia multicamerata*, *Globorotalia truncatulinoides*, *Globorotalia pseudopima*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *Hastigerina siphonifera*, *Globorotalia crassaformis crassaformis*, *Globorotalia tosaensis tosaensis*, *Hastigerina aquilateralis*, *Globorotalia menardii cultrata*, *Globorotalia crassaformis hessi*, *Globigerinoides obliquus extremus*, dan *Globorotalia pseudomiocenica* (Gambar 12). Distribusi foraminifera planktonik pada sampel MW-12 dan MW-14 menunjukkan spesies *Globigerinoides trilobus fistulosus* dan *Globorotalia truncatulinoides* hadir bersama *Globorotalia tosaensis tosaensis* pada Zona N21-N22



Deskripsi Nannofosil Plate 1

- A – B. *Pseudoemiliana lacunosa*.
- C – D. *Helicosphaera kauptneri*.
- E. *Discoaster brouweri*
- F. *Gephyrocapsa caribbeanica*
- G – H. *Coccolithus pelagicus*
- I. *Ceratolithus cristatus*

- J. *Pontosphaera multipora*
- K – L. *Calcidiscus macintyreii*
- N. *Ceratolithus acutus*
- M. *Ceratolithus rugosus*
- O. *Ceratolithus cristatus*
- P – Q. *Scyphosphaera pulcherrima*

Gambar 6. Plate nannofosil di daerah studi.

| KETEBALAN (Tanpa Skala) | LITOLOGI | ZONASI | LUMUR (Sukardi & Sutrisno, 1989) | KUMPULAN NANNOFOSIL |
|-------------------------|----------|--|----------------------------------|--|
| m | | <p><i>Gephyrocapsa caribbeanica</i></p> <p>Zona <i>Discoaster brouweri</i> - <i>Gephyrocapsa caribbeanica</i></p> <p>NN18 - NN19</p> <p><i>Discoaster brouweri</i></p> | Pliosen - Plistosen | <p><i>Calcidiscus macintyreii</i>, <i>Coccolithus pelagicus</i>, <i>Discoaster brouweri</i>, <i>Ceratolithus acutus</i>, <i>Ceratolithus cristatus</i>, <i>Ceratolithus rugosus</i>, <i>Gephyrocapsa caribbeanica</i>, <i>Pseudoemiliana lacunosa</i>, <i>Helicosphaera kauptneri</i>, <i>Helicosphaera sellii</i>, <i>Pontosphaera multipora</i>, <i>Scyphosphaera pulcherrima</i></p> |

Gambar 7. Zonasi nannofosil 4 sampel batuan berumur Pliosen-Plistosen (Formasi Batilembuti).

| MIOSEN | | | | | | | | | | | | PLIOSEN | | | | PLISTOSEN - HOLOSEN | | | | UMUR | | SAMPel | | |
|---------------------------|--------------------|-------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------|--|--|
| Discoster hamatus | Discoster caudatus | Discoster kugleri | Discoster exilis | Sphenolithus heteromorphus | Helicosphaera ampliaperta | Sphenolithus belemnos | Discoster dirigii | Trifarina angulosa | Discoster calcaris | Discoster quinqueramus | Discoster rotundatus | Discoster asymericus | Ceratolithus rugosus | Ammobaculites tricorniculatus | Reticuloflexina pseudomultica | Discoster brouweri | Discoster pentaradiatus | Discoster surculus | Pseudoeulimania lacunosa | Gephyrocapsa oceanica | Eulimania huxleyi | | | |
| 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | | Marker Martini (1971) | | |
| a | b | c | d | e | f | g | h | i | a | b | c | d | e | f | a | b | c | d | e | f | | Marker Okada & Bukry (1980) | | |
| Helicosphaera kampfneri | C | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gephyrocapsa caribbeanica | A | A | A | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Discoster brouweri | A | A | A | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pseudoeulimania lacunosa | - | A | A | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ceratolithus rugosus | F | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calcidiscus macintyreii | - | R | F | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ceratolithus cristatus | - | F | R | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coccolithus pelagicus | F | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Helicosphaera selli | F | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Scyposphaera pulcherrima | F | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ceratolithus acutus | F | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pontosphaera multipora | F | F | F | F | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

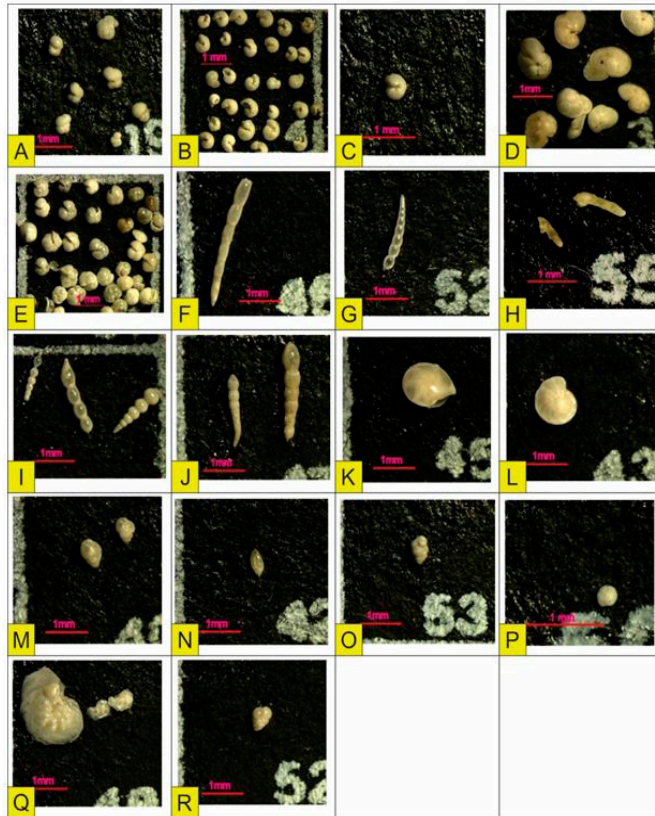
Gambar 8. Kisaran umur nanfossil yang terdapat pada MW-12 dan MW-14.



Deskripsi Foraminifera Plate 1

- A. Globigerinoides conglobatus
- B. Globigerinoides elongatus
- C. Globigerinoides obliquus extremus
- D. Globigerinoides ruber
- E. Globigerinoides trilobus fistulosus
- F. Globigerinoides trilobus immaturus
- G. Globigerinoides trilobus sacculiferus
- H. Globigerinoides trilobus trilobus
- I. Orbulina universa
- J. Sphaeroidinella dehiscens
- K. Sphaeroidinellopsis seminulina
- L. Hastigerina aequilateralis
- M. Hastigerina aequilateralis
- N. Candaina nitida
- O. Globorotalia crassaformis crassaformis
- P. Globorotalia crassaformis hessi
- Q. Globorotalia humerosa humerosa
- R. Globorotalia menardii cultrate
- S. Globorotalia multicamerata
- T. Globorotalia pseudomiocenic

Gambar 9. Plate foraminifera 1 di daerah studi.



Deskripsi Foraminifera Plate 2

- A. *Globorotalia pseudopima*
- B. *Globorotalia tosaensis tosaensis*
- C. *Globorotalia truncatulinoides truncatulinoides*
- D. *Globorotalia tumida tumida*
- E. *Pulleniatina primalis*
- F. *Dentalina filiformis*
- G. *Dentalina fracimen*
- H. *Dentalina inornate*
- I. *Dentalina subsoluta*
- J. *Nodosaria flintii*
- K. *Lenticulina convergens*
- L. *Robulus thalmanni*
- M. *Bulimina costata*
- N. *Bulimina notovata*
- O. *Bulimina pupoides*
- P. *Gyroidina neosoldanii*
- Q. *Laticarinina halophora*
- R. *Eggerella brady*

Gambar 10. Plate foraminifera 2 di daerah studi.

| KETEBALAN (Tanpa Skala) | LITOLOGI | ZONASI | UMUR (Sukardi & Sutrisno, 1989) | KUMPULAN FORAMINIFERA PLANKTONIK |
|-------------------------|-------------|--|---------------------------------|---|
| m | Tanpa Skala | <i>Globorotalia truncatulinoides</i> | Pliosen - Plistosen | <i>Globorotalia tumida tumida</i> , <i>Sphaeroidinella dehiscens</i> , <i>Globigerinoides trilobus immaturus</i> , <i>Pulleniatina primalis</i> , <i>Globigerinoides trilobus sacculiferus</i> , <i>Globigerinoides conglobatus</i> , <i>Globigerinoides elongatus</i> , <i>Globorotalia humerosa humerosa</i> , <i>Globigerinoides ruber</i> , <i>Sphaeroidinellopsis seminulina</i> , <i>Orbulina universa</i> , <i>Globorotalia multicamerata</i> , <i>Globorotalia truncatulinoides</i> , <i>Globorotalia pseudopima</i> , <i>Gobigerinoides trilobus trilobus</i> , <i>Hastigerina siphonifera</i> , <i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i> , <i>Globorotalia tosaensis tosaensis</i> , <i>Hastigerina aquilateralis</i> , <i>Globorotalia menardi cultrata</i> , <i>Globorotalia crassaformis hessi</i> , <i>Globigerinoides obliquus extremus</i> , <i>Goborotalia pseudomicenica</i> |
| 1 | MW-14 | | | |
| 0 | | Zona <i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i> - <i>Globorotalia truncatulinoides</i> | | |
| 3 | MW-12/C | N21 - N22 | | |
| 2 | MW-12/B | | | |
| 1 | MW-12/A | | | |
| 0 | | <i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i> | | |

Gambar 11. Zonasi foraminifera 4 sampel batuan berumur Pliosen-Plistosen (Formasi Batilembuti).

| | | MIOSEN | | | | PLIOSEN | | | PLISTOSEN | | H | ZONASI FORAMINIFERA PLANKTONIK | SAMPSEL | | | | | |
|--|---|--------|--|--|--|---------|--|--|-----------|--|---|--------------------------------|---------|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia tumida tumida</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Sphaerodinellosis dehiscentis</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides trilobus immaturus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Pulleniatina primalis</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides trilobus sacculiferus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides conglobatus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides elongatus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia humerosa humerosa</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides ruber</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Sphaerodinellosis seminulina</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Orbulina universa</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia multicamerata</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia pseudopima</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia crassaformis crassaformis</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia tosaensis tosaensis</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hastigerina aquilateralis</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia truncatulinoides</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hastigerina siphonifera</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia menardii cultrata</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia crassaformis hessi</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globorotalia pseudomiocenica</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides trilobus fistulosus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Globigerinoides obliquus extremus</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Candinia nitida</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Gambar 12. Kisaran umur foraminifera yang terdapat pada sampel MW-12 dan MW-14.

Kelimpahan Nannofosil

Dari sampel-sampel batuan yang dianalisis, diketahui kumpulan nannofosil menunjukkan keragaman sedang (lebih dari 11.040 individu). Dilihat dari jumlah total individu ini, sampel-sampel batuan tersebut (4 preparat mengandung 12 individu per spesies) dikategorikan dalam keragaman rendah. Indeks keragaman dengan menggunakan rumus Shannon - Weaver (H) didapatkan hasil nilai H sebesar 2,8471, maka nilai tersebut berada di rentang keragaman sedang (2,302 < H < 6,907).

Bignot (1985) mengemukakan bahwa berkembang baik pada daerah cahaya matahari tembus dan kaya oksigen terlarut, yaitu pada lingkungan atau zona photik (kedalaman 0-200 m). Formasi Batilembuti, yang mengandung nannofosil dengan kelimpahan rendah sampai sedang, mengindikasikan lingkungan pengendapan zona batial atas atau pada kisaran kedalaman 200-500 m.

Lingkungan Pengendapan

Penentuan lingkungan pengendapan Formasi Batilembuti didasarkan pada kumpulan foraminifera bentonik, mengacu pada Rauwerda dkk. (1983) yang melakukan penelitian tentang foraminifera bentonik di Asia tenggara, dan Barker (1960) yang merangkum taksonomi foraminifera beserta lingkungan hidupnya. Zona batimetri ditentukan mengikuti Hedgpeth (1957), Tipword (1966), dan Ingle (1980; dalam Pringgoprawiro & Kapid, 2000).

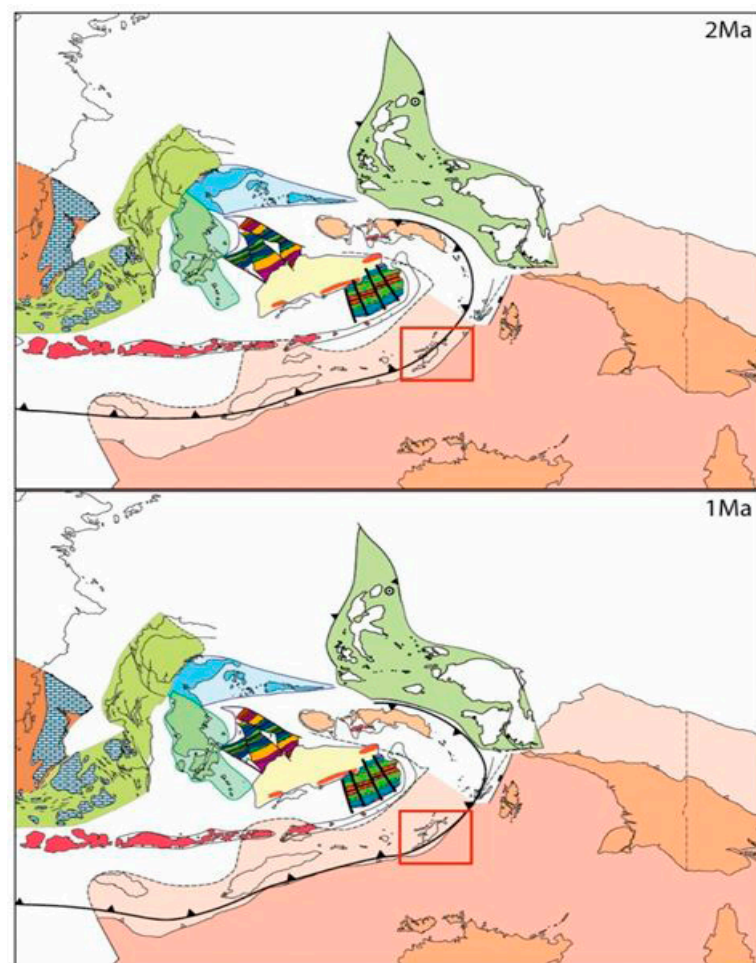
Kumpulan foraminifera bentonik menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan pada lingkungan yang cukup dalam (200-500 m), yaitu pada zona batial atas atau disebut juga upper slope. Kumpulan foraminifera bentonik pada zona ini adalah *Dentalina subsoluta*, *Robulus thalmanni*, *Eggerella brady*, *Lenticulina convergens*, *Lenticarina halophora*, *Bulimina costata*, *Dentalina filiformis*, *Bulimina notovata*, *Nodosaria flintii*, *Bulimina pupoides*, *Gyroidina neosoldanii*, *Dentalina fracimen*, dan *Dentalina inornata* (Gambar 10F-R).

Perubahan Lingkungan sebagai Indikasi Pengangkatan


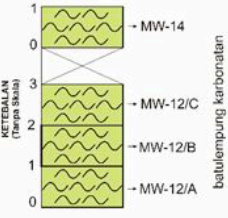
Hasil analisis nannofosil dan foraminifera menunjukkan bahwa Formasi Batilembuti terbentuk pada batas Pliosen-Plistosen pada lingkungan laut. Hasil ini mengindikasikan bahwa Pulau Yamdena dan Kepulauan Tanimbar masih merupakan laut. Kesimpulan tersebut sesuai dengan model rekonstruksi *collision* yang dibuat Charlton (2016) di area *Banda Arc* (Gambar 13), yang memberikan gambaran bahwa tumbukan antara paparan Australia dengan Banda. Dari model tersebut terlihat posisi zona tumbukan berada di bagian utara dan barat Pulau Yamdena pada dua juta tahun lalu. Posisi tumbukan bergeser ke selatan pada satu juta tahun lalu. Tumbukan ini menghasilkan pengangkatan yang ditandai dengan mulai naiknya Pulau Yamdena ke zona batimetri yang lebih

dangkal, dan bahkan muncul di permukaan (Gambar 13).

Pusat Survei Geologi (2010) mengemukakan bahwa Formasi Saumlaki, berupa batugamping teras, terletak tidak selaras di atas Formasi Batilembuti. Formasi Saumlaki diketahui diendapkan pada zona sublitoral luar (atau neritik luar) dan paparan luar pada kedalaman 100-200 m. Posisi stratigrafi Formasi Saumlaki serta hubungannya dengan tektonik regional yang berkembang dapat dilihat pada Gambar 14. Rekonstruksi Formasi Saumlaki dari hasil studi ini (Gambar 15) menunjukkan perubahan lingkungan yang mendangkal. Hasil relevan ditunjukkan oleh Roosmawati & Harris (2009) yang menyimpulkan bahwa tektonik (tumbukan) berkembang pada batas Pliosen-Plistosen di Savu dan Rote.



Gambar 13. Rekonstruksi tumbukan lempeng di Busur Banda pada interval dua hingga satu juta tahun lalu (Charlton, 2016).

| UMUR | ZONA NANNOFOSIL | ZONA FORAMINIFERA | LITOLOGI | FORMASI | LINGKUNGAN PENGENDAPAN | TEKTONIK |
|---------------------|-----------------|-------------------|--|---------------------|--|--|
| Plistosen - Holosen | ? | ? |  batugamping teras | Formasi Saumlaki | Marginal Marine Laut Dangkal | Collision (Charlton, 2016) |
| Pliosen - Plistosen | NN 18 - NN 19 | N 21 - N 22 |  KETEBALAN (Tanpa Skala) | Formasi Batilembuti | Outer Shelf Laut Dalam Bathyal / Upper Slope | Collision 2 - 1 Juta tahun lalu (Charlton, 2016) |

Gambar 14. Rekonstruksi stratigrafi Formasi Batilembuti dan Formasi Saumlaki.



Gambar 15. Batugamping teras Formasi Saumlaki di Pulau Maru (Pusat Survei Geologi, 2010).

KESIMPULAN

Kumpulan nanofossil yang terkandung pada empat sampel dari Formasi Batilembuti menunjukkan Zona NN18-NN19, atau batas Pliosen-Plistosen, yang ditandai oleh akhir kemunculan *Discoaster brouweri* dan awal kemunculan *Gephyrocapsa caribbeanica*. Kumpulan foraminifera planktonik yang terkandung pada empat sampel dari Formasi Batilembuti menunjukkan Zona N21-N22, yang ditentukan dari akhir kemunculan *Globigerinoides trilobus fistulosus*,

Sphaeroidinellopsis seminulina, *Globorotalia multicamerata*, dan *Globigerinoides obliquus extremus* dan awal munculnya *Globorotalia truncatulinoides*. Kumpulan foraminifera bentonik mengindikasikan Formasi Batilembuti diendapkan pada lingkungan batial atas. Rekonstruksi stratigrafi menggambarkan Formasi Batilembuti ditutupi secara tidak selaras oleh batugamping Formasi Saumlaki yang terbentuk pada lingkungan lebih dangkal (sublitoral luar atau neritik luar).

ACUAN

Barker, R.W., 1960. *Taxonomic Notes*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication No. 9: Tulsa, Oklahoma. USA.

Bignot, G., 1985. *Elements of Micropaleontology: The Microfossils Their Geological and Paleocological Applications*. Graham and Trotman Limited, Manchester, UK.

Blow, W.H., 1969. *Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminifera Biostratigraphy*. Int., Conf., Plank. Microfossil 1st, vol.1, 199-442.

Bolli, H.M and Saunders, J.B., 1985. *Oligocene to Holocene Low Latitude Planktic Foraminifera*, in: *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 155-262.

- Charlton, T.R., 2000. Tertiary Evolution of the Eastern Indonesia Collision Complex. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 603-631
- Charlton, T.R., 2004. The Petroleum Potential of Inversion Anticlines in the Banda Arc. *AAPG Bulletin*, 88: 565-586
- Charlton, T.R., 2016. Neogene Plate Tectonic Evolution of The Banda Arc. *Proceeding. Indones Pet. Assoc. Fortieth*.
- Choiriah, S.U., Danisworo, C., Triwibowo, B., 2016. Biostratigrafi Nannoplankton pada Lintasan Kaliasin Daerah Pinggir dan Sekitarnya, Kecamatan Lengkong Nganjuk, Jawa Timur. *Seminar Nasional Kebumihan XI Proceedings*.
- Choiriah, S.U., Prasetyadi, C., Yudiantoro, D.F., Kapid, R., Nurwantari, N.A., 2020. Miocene to Pleistocene Biostratigraphy Of Rembang Zone Based On Nannofossil, Nglebur River Section, Blora, Central Java. *AIP Conf. Proc.* 2020; 2245(July). doi:10.1063/5.0006851.
- Kapid, R. dan Suprijanto S.E., 1996. Batas Miosen-Pliosen Berdasarkan Nannoplankton pada Formasi Ledok dan Mundu di daerah Bukit Kapuan, Jawa Timur. *Bulletin Geologi*, 26(1): 55-64.
- Kapid, R., 2003. *Nannofosil Gampingan: Pengenalan dan Aplikasi Biostratigrafi*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Isnaniawardhani, V., Abdullah, C.I., Pratiwi, S.D., 2021. Korelasi Biostratigrafi Foraminifera Plankton dan Nannoplankton Tersier Indonesia Bagian Timur (Studi Kasus: Pulau Sumba). *Bulletin Scientific Contribution Geology*, 19.
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary Nannoplankton Biozonation. *FARRINACCI A. Ed. Proc. 2nd Plank. Conf. Roma, 1970, vol. 2, Technoscienza, 739-785: Roma, Italia*.
- Pringgoprawiro, H. dan Kapid, R., 2000. *Foraminifera : Pengenalan Mikrofosil dan Aplikasi Biostratigrafi*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Pusat Survei Geologi, 2010. Laporan Studi Stratigrafi Cekungan Tanimbari. Laporan teknis internal, tidak dipublikasikan.
- Rauwerda, P.J., Morey, R.J., Troelstra, S.R., 1983. *Assessment of Depositional Environment and Stratigraphy on the Basis of Foraminiferal Paleoecology*. Robertson Research, Singapore.
- Roosmawati, N. and Harris, R., 2009. Surface Uplift History of the Incipient Banda Arc-Continent Collision: Geology and Synorogenic Foraminifera of Rote and Savu Islands, Indonesia. *Tectonophysics Elsevier*.
- Styzen, M.J., 1997. Cascading Counts of Nannofosil Abundance. *Journal of Nannoplankton Research*, 19(1): 49.
- Sukardi dan Sutrisno, 1989. *Geological Map of the Tanimbar Islands Quadrangle, Maluku*. 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.