Benthic foraminiferal assemblages as proxies for paleoenvironmental indicators in the Indo-Pacific (Indonesia)

Ria Fitriany[1], Khoiril Anwar Maryunani[1], Purna Sulastya Putra[2], Septriono Hari Nugrohos[2], and Sri Ardhyastuti[2]

[1] Geological Engineering Study Program, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat 40132, Indonesia
[2] Research Center for Geological Disaster, National Research and Innovation Agency, Bandung, Jawa Barat 40135, Indonesia

Latar Belakang Penelitian

Perairan Indonesia yang berada di kawasan Indo-Pasifik merupakan bagian dari *Coral Triangle*, pusat keanekaragaman hayati laut dunia dengan kondisi geografis dan oseanografi kompleks yang mendukung keberagaman organisme laut, termasuk foraminifera. Suhu hangat, salinitas relatif stabil, serta dinamika Arus Lintas Indonesia (*Indonesian Throughflow*) memengaruhi distribusi nutrisi dan karakteristik lingkungan laut. Foraminifera merupakan organisme bersel tunggal bercangkang kalsium karbonat yang distribusi dan kelimpahannya dipengaruhi oleh kedalaman, suhu, salinitas, nutrisi, substrat, dan oksigen terlarut. Meskipun kawasan Indo-Pasifik memiliki asosiasi foraminifera yang unik, informasi mengenai distribusi dan hubungannya dengan kedalaman serta faktor ekologis di perairan Indonesia masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengkaji karakteristik asosiasi foraminifera bentonik pada berbagai zona batimetri di perairan Indonesia melalui analisis ukuran butir sedimen, kelimpahan, keanekaragaman, dan parameter ekologi untuk mengembangkan model lingkungan pengendapan. Hasil penelitian diharapkan dapat memperjelas hubungan foraminifera dengan kondisi lingkungan laut serta menjadi dasar interpretasi lingkungan pengendapan dalam studi paleontologi dan stratigrafi, sekaligus mendukung pemantauan ekosistem laut dan dampak perubahan iklim terhadap biodiversitas laut.

Keyword: karakteristik foraminifera, Indo-Pasifik, batuan

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model analog lingkungan pengendapan berdasarkan mikrofosil foraminifera di kawasan Indo-Pasifik, khususnya perairan 7 Indonesia dengan maksud untuk mengkarakterisasi foraminifera pada setiap zona batimetri dari lingkungan transisi hingga batial bawah.

Metode Penelitian

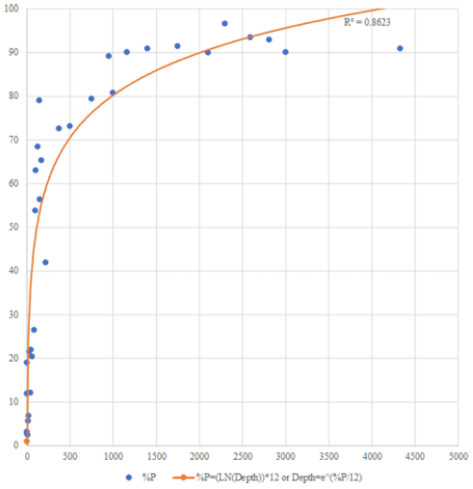
Metodologi penelitian meliputi analisis sedimentologi melalui analisis ukuran butir untuk mengkarakterisasi tipe substrat, serta analisis mikropaleontologi untuk determinasi dan kajian ekologi foraminifera. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik multivariat yang mencakup P/B ratio untuk memvalidasi klasifikasi lingkungan dan gradien batimetri, analisis klaster untuk mengelompokkan sampel berdasarkan kesamaan komunitas, *Indicator Value* (IndVal) untuk menentukan spesies penciri setiap lingkungan, DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) untuk mengidentifikasi pola distribusi dan pengelompokan sampel berdasarkan gradien lingkungan, serta PCA (*Principal Component Analysis*) untuk menentukan karakteristik foraminifera dan faktor ekologis yang memengaruhi distribusinya.

Hasil Penelitian

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi asosiasi dan spesies penciri foraminifera bentonik pada enam zona batimetri di perairan Indonesia (Tabel 1), yaitu zona transisi yang dicirikan oleh *Amphistegina* dan *Sphaerogypsina*; neritik dalam yang memiliki asosiasi berbeda berdasarkan jenis substrat; neritik tengah yang didominasi *Quinqueloculina seminulum* dan *Pseudorotalia* sp.; neritik luar yang dicirikan oleh *Brizalina aenariensis*, *Gyroidina broeckhiana*, dan *Cibicides* sp.; batial atas yang didominasi *Bulimina marginata*, *Uvigerina asperula*, dan *Hyalinea balthica*; serta batial bawah yang dicirikan oleh *Lenticulina orbicularis*, *Uvigerina peregrina*, dan *Globobulimina pacifica*. Persentase foraminifera planktonik (%P) pada Gambar 1 menunjukkan peningkatan secara eksponensial seiring bertambahnya kedalaman, sehingga dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif paleobatimetri. Selain kedalaman, jenis substrat juga berperan penting dalam menentukan komposisi asosiasi foraminifera, khususnya pada zona neritik dalam.

Faktor pengontrol distribusi foraminifera menunjukkan perubahan dari faktor fisik, seperti energi gelombang, jenis substrat, dan salinitas pada lingkungan dangkal, menjadi faktor biokimia, seperti kandungan oksigen, aliran bahan organik, dan ketersediaan nitrat pada lingkungan yang lebih dalam.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asosiasi foraminifera di perairan Indonesia memiliki karakteristik regional yang khas, sehingga model lingkungan pengendapan dari kawasan beriklim sedang, seperti Atlantik dan Mediterania, tidak dapat diterapkan secara langsung pada lingkungan tropis Indonesia. Temuan ini menghasilkan kerangka acuan spesies penciri yang tervalidasi secara kuantitatif untuk interpretasi lingkungan pengendapan dan rekonstruksi paleobatimetri di perairan Indonesia. Namun, penelitian lanjutan dengan pengukuran parameter geokimia, identifikasi foraminifera hidup dan mati, serta analisis mikrohabitat sedimen masih diperlukan untuk meningkatkan ketepatan interpretasi paleoenvironmental dan paleoekologi.



Gambar 1. Hubungan antara kedalaman perairan dan persentase foraminifera planktonik di perairan Indonesia.

Tabel 1. Pemodelan distribusi foraminifera pada setiap lingkungan pengendapan

Lingkungan Pengendapan	Transisi	Neritik Dalam	Neritik Tengah	Neritik Luar	Batial Atas	Batial Bawah
Parameter	Pasir kasar	Pasir halus; Lanau	Lanau (20–54%)	Lanau (56–79%)	Lanau (42–89%)	Lanau (90–97%)
P/B Ratio	0%	Pasir halus: 3%; lanau: 3–19%	20–54%	56–79%	42–89%	90–97%
Diversitas Bentonik	10–16 spesies	Pasir halus: 34 spesies; lanau: 17–32 spesies	27–46 spesies	15–33 spesies	12–40 spesies	6–30 spesies
Primary Foraminifera (Species) Assemblages	*Amphistegina* sp., *Sphaerogypsina* sp.	Pasir halus: *Ammonia* sp., *Asterorotalia trispinosa, Elphidium hispidulum, Ammonia beccarii, Ammonia tepida* Lanau: *Haplophragmoides* sp., *Elphidium* sp., *Elphidium neosimplex*	*Quinqueloculina seminulum, Pseudorotalia* sp.	*Brizalina aenariensis, Gyroidina broeckhiana, Cibicides* sp.	*Bulimina marginata, Uvigerina asperula, Rectobolivina bifrons, Eponides* sp., *Hyalinea balthica, Bolivina quadrilatera, Dentalina* sp., *Brizalina robusta, Lenticulina calcar, Cassidulina* sp., *Heterolepa praecincta*	*Lenticulina orbicularis, Uvigerina peregrina, Anomalina colligera, Globobulimina pacifica, Uvigerina* sp.
Secondary Foraminifera (Genus) Assemblages	*Calcarina*	Pasir halus: *Peneroplis, Adelosina, Operculina Baggina, Cellanthus, Spiroloculina Triloculina, Haplophragmoides, Ammobaculites* Lanau: *Florilus, Edentostomina, Peneroplis, Ammonia, Ammobaculites,*	*Bombulina, Discorbis, Nonionella, Operculina, Cibicides, Ammonia, Brizalina, Elphidium*	*Nonion, Neogenevirina, Virgulina, Amphistegina*	*Oolina, Hyalinea, Cassidulina, Anomalina, Sigmoilopsis, Saracenaria, Pullenia, Brizalina, Baggina, Hoeglundina, Neoevgerina, Lagena*	*Uvigerina, Lenticulina, Cibicides, Amphicoryna, Brizalina, Anomalina, Bulimina, Bolivina, Dentalina, Heterolepa, Hoeglundina, Cancris, Vulvulina, Nodosaria, Astacolus, Planularia, Martinottiella, Oridorsalis, Uvigerina*

DOI: 10.5194/jm-45-487-2026