



**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 23, No.2
Agustus 2025

**BIOSTRATIGRAFI KALA HOLOSEN TITIK CORE TR1926B, CEKUNGAN UTARA SELAT
MAKASSAR, BERDASARKAN KUMPULAN FORAMINIFERA PLANKTONIK**

Marvel Samgar Amadeus^{1*}, Lia Jurnaliah¹, Lili Fauzielly¹, Marfasran Hendrizan²

¹Laboratorium Paleontologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung

*Email Korespondensi: marveliszt@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada analisis biostratigrafi Kala Holosen di Cekungan Utara Selat Makassar berdasarkan kumpulan foraminifera planktonik dari inti core TR1926B. Interval core yang diteliti (182 – 206 cm) tersusun atas lempung berwarna hijau keabuan hingga abu-abu kehitaman dengan komponen fragmen cangkang skeleta. Berdasarkan penanggalan radiokarbon, interval yang diteliti berada pada rentang umur 9.966 hingga 11.774 tahun lalu. Sebanyak 8.136 individu foraminifera planktonik yang berasal dari 50 spesies dari 16 genus berhasil diidentifikasi dari total 23 sampel. Analisis biostratigrafi menurut zona Bolli & Saunders dan Blow menunjukkan bahwa interval yang diteliti masuk dalam Kala Holosen (Zona N23 Akhir), ditandai dengan kemunculan *Globorotalia unguata* yang konsisten dari 11.774 hingga 9.966 tahun lalu. Spesies pendukung lainnya seperti *Globigerina bermudezi*, *Globorotalia fimbriata*, *Globigerinella calida*, dan *Beella praedigitata* ditemukan secara episodik dan tidak konsisten. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mengenai biostratigrafi dan transisi iklim awal Holosen, serta menjadi landasan untuk studi paleoklimatologi lebih lanjut di wilayah ini.

Kata Kunci : Biostratigrafi, Holosen, Selat Makassar, Foraminifera Planktonik

ABSTRACT

*This study examines the biostratigraphic analysis of the Holocene Epoch in the North Basin of the Makassar Strait, based on planktonic foraminiferal assemblages from core TR1926B. The analyzed core interval (182–206 cm) consists of greenish-gray to dark gray clay containing skeletal shell fragments. Radiocarbon dating places this interval within the age range of 9,966 to 11,774 years BP. A total of 8,136 planktonic foraminiferal specimens, representing 50 species from 16 genera, were identified from 23 samples. Biostratigraphic analysis, following the Bolli & Saunders and Blow zonation, indicates that this interval corresponds to the Holocene Epoch (Zone N23), marked by the consistent presence of *Globorotalia unguata* from 11,774 to 9,966 years BP. Other supporting species, such as *Globigerina bermudezi*, *Globorotalia fimbriata*, *Globigerinella calida*, and *Beella praedigitata*, were found episodically and with inconsistent distribution. The findings provide valuable insights into Holocene biostratigraphy and early climate transitions in the region. These results establish a foundation for further paleoclimatological studies in the Makassar Strait and surrounding areas.*

Keywords: Biostratigraphy, Holocene, Makassar Strait, Planktonic Foraminifera

PENDAHULUAN

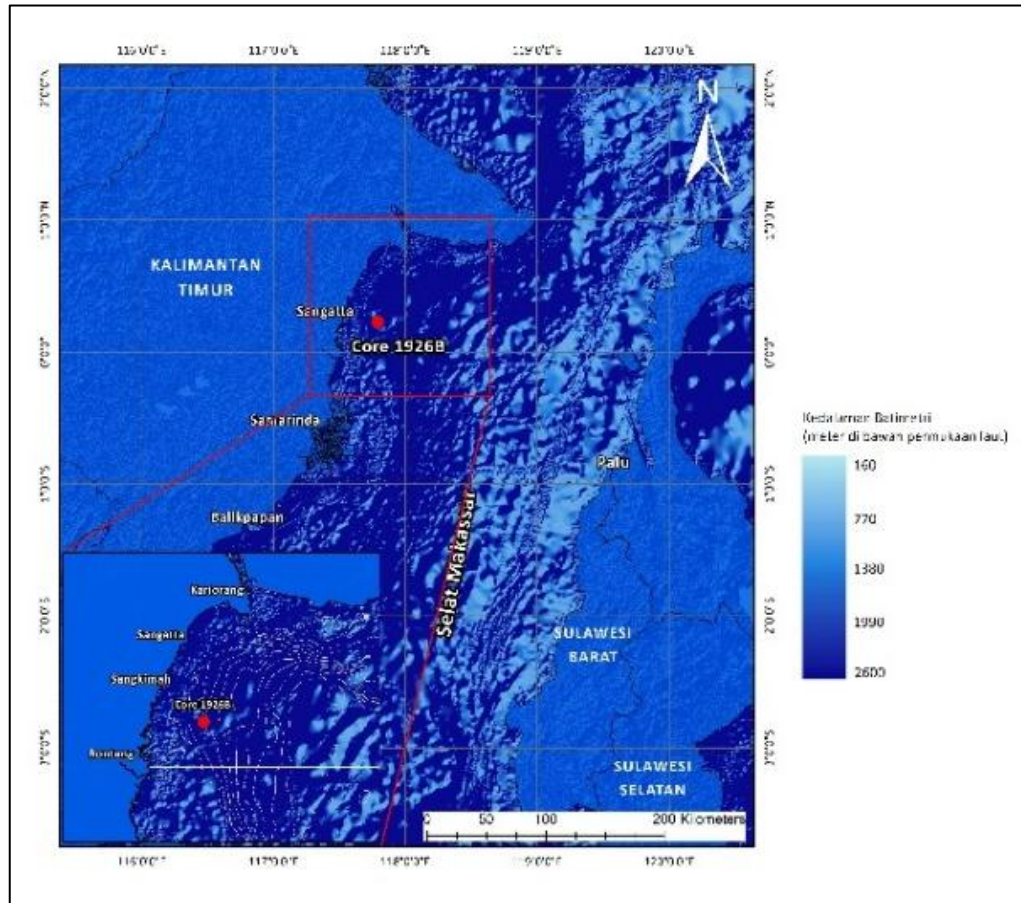
Studi terhadap distribusi makhluk hidup yang dikaitkan dengan suksesi waktu geologi dapat membantu dalam penentuan korelasi antar unit batuan dari berbagai macam variasi litologi (Ghosh, 2006). Pendekatan biostratigrafi yang memanfaatkan mikrofosil sebagai objek utama mampu menjadi salah satu indikator dalam penentuan zona umur berdasarkan penyebarannya yang melimpah (Armstrong & Brasier, 2005). Salah satu

organisme, foraminifera planktonik, dapat digunakan untuk menentukan umur relatif dari lapisan batuan yang mengendap secara bersamaan berdasarkan karakteristik ekologis yang mempengaruhi kelimpahannya di kolom air (Sen Gupta, 1999; Borsetti et al., 1995).

Penelitian biostratigrafi Kuartar yang mencakup Kala Pleistosen – Holosen dengan proksi foraminifera planktonik menjadi krusial dalam membagi berbagai siklus yang terjadi

dalam rentang waktu 20.000 tahun terakhir, seperti siklus glasial dan interglasial (Arz et al., 1999; Bradley, 2015). Penentuan ini berkaitan erat dalam menjelaskan kondisi iklim Indonesia, secara khusus pada dinamika Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang melewati Selat Makassar (Hendrizan et al., 2017; Morley et al., 2004). Penelitian ini menggunakan data inti *core* TR1926B milik Pusat Riset dan Atmosfer

(PRIMA), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), dari pelayaran riset “*Transport Indonesian Seas, Upwelling and Mixing Physics* (TRIUMPH)” menggunakan Kapal Riset Baruna Jaya VIII pada Desember 2019. Daerah kajian penelitian berada di Cekungan Utara Selat Makassar yang terletak pada koordinat 0°13,664’ LU dan 117°47,436’ BT, tercantum pada **Gambar 1**.



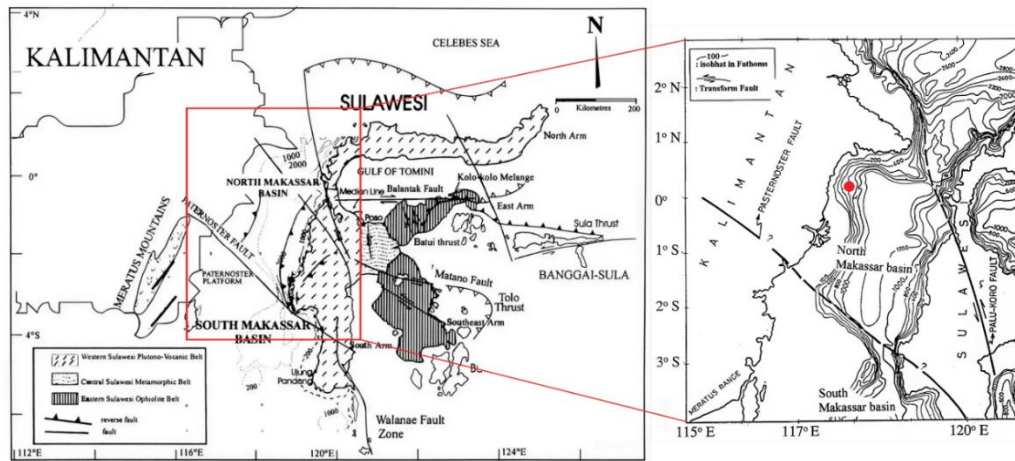
Gambar 1 Lokasi titik *core* TR1926B

TINJAUAN PUSTAKA Geologi Regional

Selat Makassar merupakan cekungan laut yang memisahkan Pulau Kalimantan dan Sulawesi, terletak pada konfigurasi tektonik lempeng yang kompleks dan dinamis (Daly et al., 1991). Selat Makassar memiliki kedalaman yang bervariasi mulai dari 100 hingga 200 km dan panjang mencapai 600 km, yang terbentuk pada Eosen Tengah ketika pemekaran lantai samudra terjadi (Hall et al., 2009). Aktivitas kompresi yang terjadi dari Miosen Akhir hingga Pliosen mengakibatkan terjadinya perkembangan sabuk lipatan dan patahan di sekitar margin

cekungan Selat Makassar (Bergman et al., 1996).

Secara stratigrafi, Cekungan Utara Selat Makassar dipengaruhi oleh material sedimen yang berasal dari Kalimantan Timur yang mengalami pengendapan di sekitar *shelf* hingga laut dalam (Satyana et al., 2012). Menurut Roberts & Sydow (2003), progradasi aktif yang terjadi di Delta Mahakam menjadi sumber utama pembentukan sedimen klastik di daerah ini, yang terdiri atas material lempungan, lanauan, hingga pasir. Zona struktural yang menjelaskan kondisi geologi Cekungan Selat Makassar dapat diamati pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Gambaran kondisi tektonik Selat Makassar, Kalimantan Timur dan Sulawesi Barat, daerah penelitian ditandai dengan simbol titik merah (modifikasi Simandjuntak, 1990; Biantoro et al., 1992; Bergman et al., 1996, Katili, 1978)

Zona Biostratigrafi Kala Holosen

Pendekatan biostratigrafi seringkali dimanfaatkan sebagai parameter penentuan umur relatif, yang membagi zona waktu ke dalam beberapa skala yaitu Super-Zona, Zona, Sub-Zona, dan Zonula (Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996). Menurut Armstrong & Brasier (2005), unit zona biostratigrafi didasarkan terhadap penamaan fosil indeks di suatu unit waktu tertentu. Kumpulan biozona ini juga mengacu pada asosiasi dari tiga atau lebih spesies yang berkaitan dengan rentang stratigrafi, bergantung pada ekologi lokal yang pada umumnya diaplikasikan pada skala cekungan. Pembagian zona biostratigrafi kemudian dibagi menjadi beberapa satuan, yaitu Zona Kumpulan, Zona Kisaran, Zona Puncak, Zona Selang, Zona Rombakan, dan Zona Padat (Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996; Murphy & Salvador, 1999).

Penelitian biostratigrafi Kala Holosen di perairan Indonesia, Samudra Hindia, telah dilakukan. Interpretasi ini didasarkan pada kemunculan pertama dari *Globorotalia hirsuta* sebagai penanda Kala Holosen (Adisaputra, 1995). Sementara itu di Perairan Sumba, Ardi et al. (2023) mengidentifikasi keberadaan spesies *Boliella adamsii* sebagai batas antara Pleistosen Akhir-Holosen di interval 11.653 tahun lalu, sesuai dengan kemunculan pertamanya di salah satu interval *core*. Di daerah yang sama juga, Ardi dkk. (2019) membatasi Kala Pleistosen-Holosen dengan kemunculan pertama *Globorotalia fimbriata*. Adanya perbedaan dalam fosil indeks tersebut dikontrol oleh karakteristik oseanografi lokal seperti suhu permukaan laut dan tingkat salinitas, yang tentu saja mempengaruhi kelimpahan beberapa spesies foraminifera planktonik (Huang et al., 2003;

Fairbanks et al., 1982). Selain itu, penelitian yang mengkaji zona biostratigrafi Kala Holosen di Selat Makassar masih terbatas. Mengingat pengaruh Arlindo yang melewati kawasan ini berdampak pada distribusi foraminifera planktonik dan selanjutnya zona biostratigrafi, penelitian terhadap pembagian zona umur di daerah ini perlu dilakukan secara komprehensif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 23 sampel sedimen laut hasil pengeboran ekspedisi TRIUMPH 2019 yang diinventarisasi oleh PRIMA-BRIN. Adapun interval dari inti *core* yang diambil sebesar 1 cm pada rentang 182 – 206 cm, di kedalaman 617.82 – 618.06 meter di bawah permukaan laut. Sampel sedimen laut direndam menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% untuk memisahkan cangkang foraminifera dari material sedimen, dan dicuci dengan air mengalir menggunakan *mesh* berukuran 280 μ m. Selanjutnya residu kering disaring dengan *mesh* berukuran 315 μ m dan 250 μ m. Pemilahan foraminifera planktonik dilakukan dengan menghitung spesimen hingga mencapai 300 spesimen per gram, yang dianggap telah merepresentasikan kelimpahan individu secara keseluruhan (Dennison & Hay, 1967). Setelah itu, spesimen diamati di bawah mikroskop binokuler *Carl Zeiss Stemi* dengan perbesaran lensa okuler 10x dan lensa objektif sebesar 0.63x hingga 5x. Identifikasi dan deskripsi spesimen foraminifera mengacu pada Bolli & Saunders (1985) dan Kenneth & Srinivasan (1983). Seluruh proses preparasi sampel dilakukan di *Workshop Tower 2* BRIN Bandung, sementara pengamatan dan identifikasi spesimen dilaksanakan di

Laboratorium Paleontologi Universitas Padjadjaran.

Penentuan umur absolut sampel sedimen TR1926B dilakukan dengan metode *radiocarbon dating* (AMS¹⁴C) dan geokimia rasio Mg/Ca yang diperoleh dari PRIMA-BRIN. Analisis zona umur pada interval *core* yang diteliti mengacu pada zona selang. Bolli & Saunders (1985) dan Blow (1969), mengaplikasikan satuan zona selang dengan membuat biozonasi berdasarkan kemunculan spesies indeks foraminifera planktonik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara keseluruhan, interval *core* TR1926B dicirikan dengan litologi lempung berwarna hijau keabuan dan abu-abu kehitaman, dengan komponen skeletal berupa fragmen pecahan cangkang, material pasir berkomposisi cangkang foraminifera, dan nodul mangan. Berdasarkan pengukuran *radiocarbon dating*, interval *core* 182 – 206 cm berada pada rentang waktu 9.966 – 11.744 tahun lalu.

Kelimpahan Foraminifera Planktonik

Berdasarkan identifikasi yang dilakukan terhadap 23 sampel, terdapat 8.136 total individu yang berasal dari 50 spesies foraminifera planktonik. Kumpulan individu berasal dari kelompok genus *Globigerinoides* sp., *Globigerina* sp., *Trilobatus* sp., *Neogloboquadrina* sp., *Pulleniatina* sp., *Globigerinella* sp., *Globorotalia* sp., *Hastigerina* sp., *Orbulina* sp., *Globoconella* sp., *Turborotalita* sp., *Globoturborotalita* sp., *Globoquadrina* sp., *Beella* sp., *Sphaeroidinella* sp., dan *Dentoglobigerina* sp.

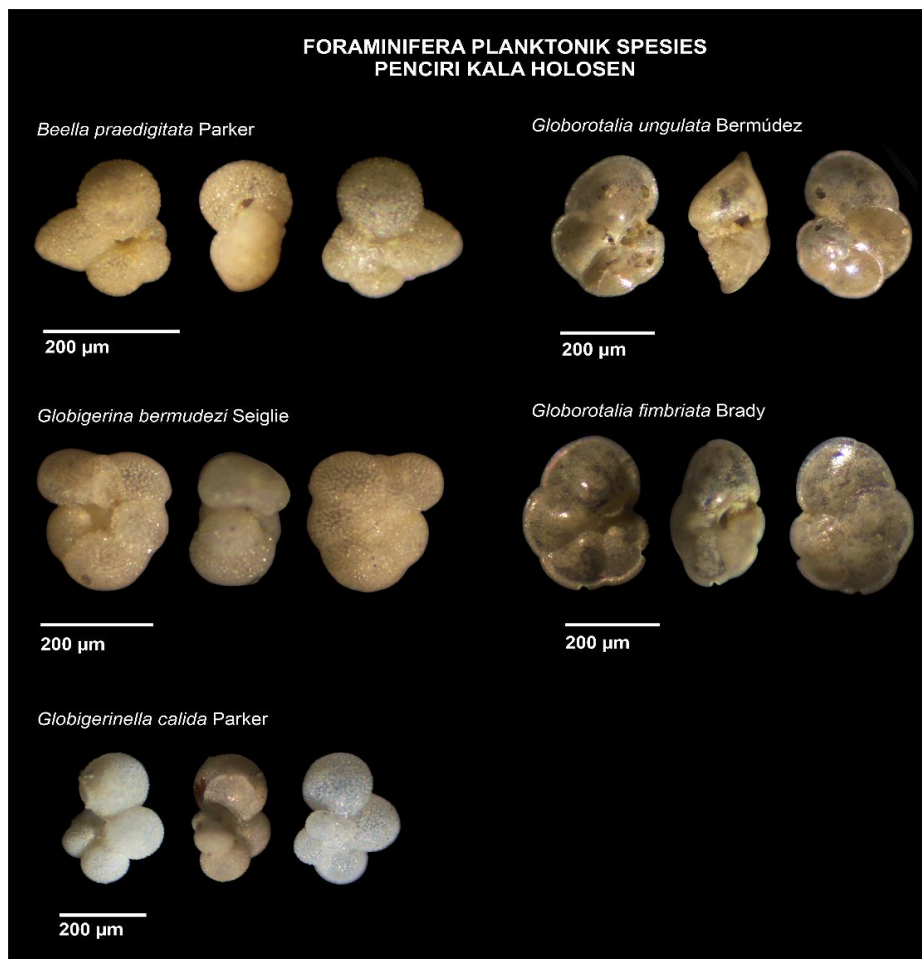
Zona Biostratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan analisis kumpulan spesies foraminifera planktonik secara keseluruhan, daerah penelitian masuk ke dalam Kala Holosen pada Zona N23 akhir, yang didasarkan pada zona biostratigrafi Bolli & Saunders (1985). Penentuan umur ini didasarkan pada kemunculan fosil *Globorotalia unguolata* pada interval terbawah daerah penelitian, yaitu 618,06 m. Spesies foraminifera planktonik ini muncul secara konsisten di sepanjang inti *core* hingga

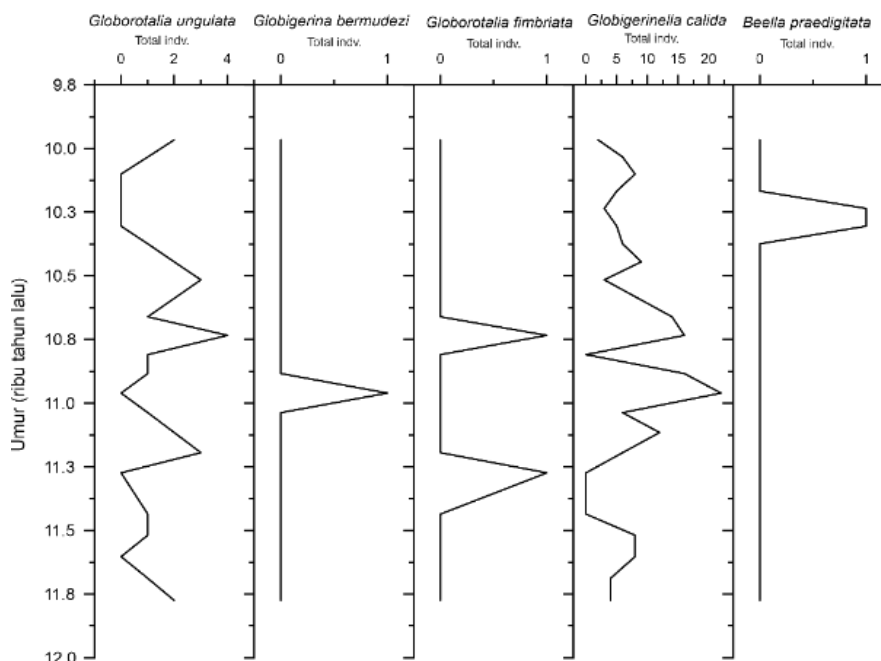
interval paling atas daerah penelitian, yaitu 617,82 m.

Penentuan Kala Holosen pada interval inti *core* didasarkan pada biozona yang diajukan oleh Bolli & Saunders (1985), yang menyatakan bahwa *Globorotalia unguolata* terdistribusikan pada rentang N23 akhir. Menurut zona biostratigrafi Bolli & Saunders (1985), sub-zona pada rentang ini dinamakan Zona *Globorotalia fimbriata*. Adapun spesies penciri (indeks) yang turut menentukan zona pada Kala Holosen didukung dengan keberadaan *Globigerina bermudezi*, *Globorotalia fimbriata*, *Globigerinella calida*, dan *Beella praedigitata* (**Gambar 3**) yang muncul secara tidak konsisten di sepanjang interval inti *core*. Distribusi spesies-spesies ini yang disandingkan dengan interval umur ribu tahun lalu dapat diamati pada **Gambar 4**.

Distribusi *Globorotalia unguolata* di interval *core* relatif konsisten dan merata dengan fluktuasi yang beragam. Spesies ini menunjukkan kelimpahan tertinggi di 10,8 ribu tahun lalu dan mengalami tren penurunan menuju 10,3 ribu tahun lalu. Spesies *Globigerina bermudezi* menunjukkan distribusi yang episodik, hanya muncul di interval 11 ribu tahun lalu. Sementara itu spesies *Globorotalia fimbriata* mengalami kemunculan di dua interval yaitu 11,4 dan 10,8 ribu tahun lalu. Menurut Bolli & Saunders (1985), kemunculan pertama spesies ini mampu menandakan zona N23 akhir (memasuki Kala Holosen, berakhirnya Pleistosen Akhir). Namun, indikator tersebut tidak bisa digunakan sebagai penanda awalnya Holosen di interval *core* ini. Hal tersebut dikarenakan dua hal. Pertama, kemunculan *Grt. unguolata* di interval yang paling bawah sudah secara otomatis mengunci zona N23 akhir di interval *core* secara keseluruhan. Kedua, kemunculan *Gg. bermudezi* di interval 11 ribu tahun lalu berkebalikan dengan zona yang ditentukan oleh Bolli & Saunders, di mana kemunculan spesies ini seharusnya berada lebih tua dibandingkan dengan *Grt. fimbriata*, yang pada interval *core* muncul lebih dahulu. Berdasarkan dua klaim tersebut, kemunculan *Grt. fimbriata* kurang relevan untuk dijadikan FAD (*First appearance datum*) di interval ini.



Gambar 3 Foraminifera Planktonik Kelompok Spesies Penciri Zaman Kuartar Inti Core TR1926B



Gambar 4 Distribusi kelimpahan spesies foraminifera planktonik penciri indeks Kuartar (Pleistosen-Holosen)

Selain itu, spesies *Beella praedigitata* menunjukkan distribusi yang terbatas, hanya muncul di interval 10,3 – 10,2 ribu tahun lalu. Spesies ini kurang relevan dijadikan sebagai spesies penciri Kala Holosen di interval *core* ini meskipun seringkali digunakan sebagai indeks fosil zona Kuartar (Pleistosen-Holosen).

Sementara itu, distribusi spesies *Globigerinella calida* menunjukkan fluktuasi yang cukup tinggi di sepanjang zona, dengan puncaknya di interval 11 ribu tahun lalu. Kelimpahan spesies ini mampu menjelaskan kondisi iklim yang secara unik mencirikan Kala Holosen Awal. Spesies ini diketahui mendiami kolom air *mixed layer*, yang merupakan lapisan kolom air teratas dengan salinitas dan temperatur seragam (Huang et al., 2003; Baohua et al., 1997). Kelimpahan *Globigerinella calida* merepresentasikan kondisi kolom air yang makin hangat dikarenakan aktivitas perpindahan lapisan air yang aktif, yang ternyata relevan pada interval 11.7 – 9.9 ribu tahun lalu (Marchitto et al., 2007). Hal ini dikarenakan adanya fenomena transisi *Younger Dryas* (YD) menuju Holosen di zona N23, yang terjadi di sekitar pada periode tersebut (Alley, 2000). Zona transisi ini diindikasikan oleh rata-rata temperatur global yang meningkat, mendorong sirkulasi angin yang makin intens dan berujung pada perpindahan lapisan air yang kaya nutrisi ke atas permukaan (Naidu & Malmgren, 1996). Karakteristik ekologis tersebut mampu menjadikannya sebagai salah satu spesies kunci yang merefleksikan batas stratigrafi zona N23 di daerah penelitian.

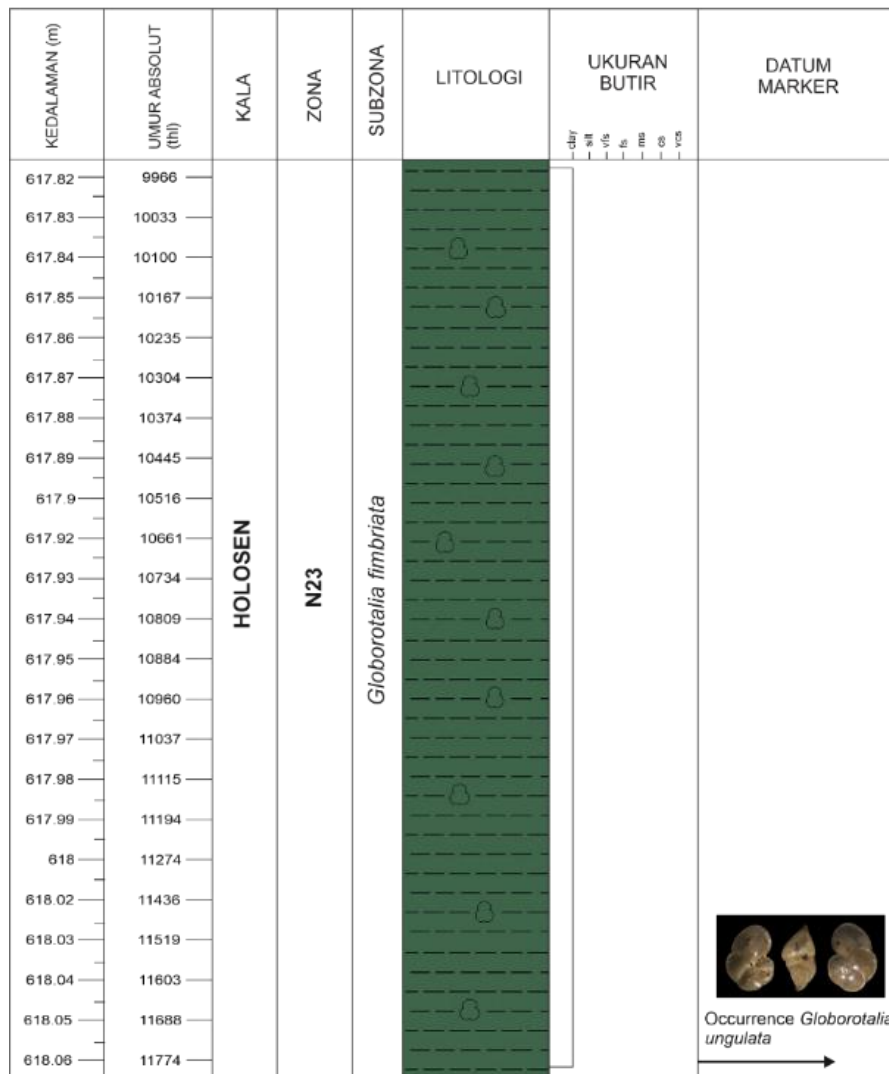
DISKUSI

Berdasarkan pembahasan yang didiskusikan di bab sebelumnya, interval *core* yang diteliti

pada penelitian ini berada pada rentang umur 11.774 – 9.966 tahun lalu. Kemunculan *Grt. unguolata* pada interval 11.774 tahun lalu secara konsisten hingga interval 9.966 tahun lalu menandakan bahwa Kala Holosen (N23) pada daerah penelitian berada pada rentang 11.774 tahun lalu hingga 9.966 tahun lalu, dan masuk ke dalam Sub-Zona *Globorotalia fimbriata*.

Permulaan Kala Holosen dalam kaitannya dengan skala waktu *millennial* (ribu tahun) menunjukkan rentang yang berbeda di berbagai daerah. Menurut penelitian Ardi et al., (2023), periode ini dimulai pada umur 11.653 tahun lalu berdasarkan kemunculan pertama *Boliella adamsii* sebagai fosil indeks penciri di Perairan Sumba, yang merupakan salah satu jalur lewatnya Arlindo. Di lokasi lain pada daerah lintang tinggi yaitu di Norwegia bagian barat, batas rentang kala ini ditentukan melalui berakhirnya fenomena *Younger Dryas* pada 11.525 tahun lalu melalui estimasi produktivitas vegetasi selama deglasiasi terakhir (Gulliksen et al., 1998).

Analisis terhadap berakhirnya periode *Younger Dryas* juga dianalisis oleh Möner (1976) yang menunjukkan penurunan drastis efek *Younger Dryas* terhadap proksi biologi dan sedimen pada 10.000 tahun lalu, yang menandakan permulaan Kala Holosen di Swedia. Selain itu, periode glasiasi yang merekam aktivitas mengecilnya gletser di Pegunungan Alpen setelah periode *Younger Dryas* terjadi di sekitar 11.700 tahun lalu, menandakan permulaan Kala Holosen di Prancis (Protin et al., 2019). Perbedaan rentang Kala Holosen beserta permulaannya di tiap lokasi menandakan pengaruh lingkungan yang turut membentuk kerangka umur Kala Holosen yang bersifat diakronis di berbagai daerah.



Gambar 5 Zona Biostratigrafi Inti Core TR1926B

Pada daerah penelitian, yaitu di Cekungan Selat Makassar bagian utara, dapat disimpulkan bahwa rentang waktu yang merekam Kala Holosen terdapat pada 11.774 – 9.966 tahun lalu. Hasil tersebut tidak menyatakan bahwa permulaan Holosen terjadi pada 11.774 tahun lalu. Hal ini dikarenakan kemunculan *Globorotalia unguolata* masih terbatas pada interval core yang diteliti, tanpa menganalisis keberadaannya pada beberapa interval core di bawah yang secara urutan stratigrafi berumur lebih tua. Meskipun begitu, analisis ini mampu menggambarkan rentang umur Holosen pada daerah penelitian yang nantinya dapat dikaitkan dengan analisis perubahan iklim. Grafik yang menampilkan zonasi biostratigrafi daerah penelitian dapat diamati pada **Gambar 5**.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kumpulan foraminifera planktonik pada inti core TR1926B, interval yang diteliti masuk ke dalam zona N23 (Holosen Awal), Sub-Zona *Globorotalia fimbriata*, dengan rentang waktu 11.774 hingga 9.966 tahun lalu. Klaim ini diidentifikasi melalui kemunculan *Globorotalia unguolata* pada interval terbawah sebagai indikator spesies yang sudah muncul di Zona N23 berdasarkan zona Bolli & Saunders (1985), dan ditandai dengan keberadaan beberapa spesies seperti *Globigerina bermudezi*, *Globorotalia fimbriata*, *Globigerinella calida*, dan *Beella praedigitata* secara periodis dan tidak konsisten di interval core.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset dan Atmosfer (PRIMA), BRIN yang telah memberikan sampel

sedimen hasil ekspedisi pengeboran untuk diteliti, serta kepada Laboratorium Paleontologi UNPAD atas fasilitas dan bantuan yang telah disediakan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisaputra, M. K. 1995. Quaternary plankton foraminifera biozonation in Indian Ocean, south of Jawa. *Bulletin of Marine Geological Institute*, 10(1).
- Alley, R. B. 2000. *The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 229 pp.
- Ardi, R. D. W., Maryunani, K., Yulianto, E., Putra, P., & Nugroho, S. 2019. Biostratigraphy and analysis of thermocline depth changes off the southwestern coast of Sumba since the Late Pleistocene based on planktonic foraminifera assemblages. *Bulletin of Geology*, 3(2): 355–362. doi.org/10.5614/bull.geol.2019.3.2.3
- Ardi, R. D. W., Aswan, A., Maryunani, K., Yulianto, E., Putra, P., & Nugroho, S. 2023. First occurrence of planktonic foraminiferal species *Boliella adamsii* as a marker for the Pleistocene-Holocene boundary in the sea around Sumba Island. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1245, 012025. doi.org/10.1088/1755-1315/1245/1/012025.
- Armstrong, H., & Brasier, M. D. 2005. *Microfossils*. Blackwell Publishing, Australia.
- Arz, H. W., Pätzold, J., & Wefer, G. 1999. Climatic changes during the last deglaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian continental margin. *Geo-Marine Letters*, 19: 209–218.
- Baohua, L., Zhimin, J., & Pinxian, W. 1997. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. *Marine Micropaleontology*, 32(1–2): 59–69. [doi.org/10.1016/S0377-8398\(97\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(97)00013-3).
- Bergman, S. C., Coffield, D. Q., Talbot, J. P., & Garrard, R. A. 1996. Tertiary tectonic and magmatic evolution of western Sulawesi and the Makassar Strait, Indonesia: evidence for a Miocene continent-continent collision. *Geological Society, London, Special Publications*, 106: 391–429.
- Blow, W. H. 1969. Late Middle Eocene to recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proceedings of the 1st International Conference on Planktonic Microfossils*, 1: 199–422.
- Bolli, H. M., & Saunders, J. B. 1985. Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera. In: Bolli, H. M., Saunders, J. B., & Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, pp. 155–262.
- Borsetti, A. M., Capotondi, L., Cati, F., Negri, A., Vergnaud-Grazzini, C., Alberini, C., Colantoni, P., & Curzi, P. 1995. Biostratigraphic events and Late Quaternary tectonics in the Dosso Gallignani (central-southern Adriatic Sea). *Giornale di Geologia*, 57(1–2): 41–58, Bologna.
- Bradley, R. S. 2015. *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. 3rd ed. Elsevier, Oxford. 675 pp.
- Biantoro, E., Muritno, B. P., & Mamuaya, J. M. B. 1992. Inversion faults as the major structural control in the northern part of the Kutai Basin, East Kalimantan. *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 21st Annual Convention*, Jakarta, pp. 45–68.
- Daly, M. C., Cooper, M. A., Wilson, I., Smith, D. G., & Hooper, B. G. D. 1991. Cenozoic plate tectonics and basin evolution in Indonesia. *Marine and Petroleum Geology*, 8: 2–21.
- Dennison, J. M., & Hay, W. W. 1967. Estimating the needed sampling area for subaquatic ecologic studies. *Journal of Paleontology*, 41(3): 706–708. doi.org/10.2110/jsr.67.0706.
- Fairbanks, R.G., M. Sverdrlove, R. Free, P.H. Wiebe, & A.W.H. Bé. 1982. Vertical distribution and isotopic fractionation of living planktonic foraminifera from the Panama Basin. *Nature* 298: 841–844.
- Ghosh, D. 2006. Index fossils. *Resonance* 11(10): 69–77. doi.org/10.1007/bf02835676.
- Gulliksen, S., H.H. Birks, G. Possnert, & J. Mangerud. 1998. A calendar age estimate of the Younger Dryas-Holocene boundary at Kråkenes, western Norway. *The Holocene* 8(2): 249–259. doi.org/10.1191/095968398672301347.
- Hall, R., I.R. Cloke, S. Nur'aini, S.D. Puspita, S.J. Calvert, & C.F. Elders. 2009. The North Makassar Straits: what lies beneath? *Petroleum Geoscience* 15(2): 147–158.
- Hendrizan, M., W. Kuhnt, & A. Holbourn. 2017. Variability of Indonesian Throughflow and Borneo runoff during the last 14 kyr. *Paleoceanography* 32: 1054–1069. doi.org/10.1002/2016PA003030.

- Hendrizan, M., Kuhnt, W., Holbourn, A., Cahyarini, S. W., & Ningsih, N. S. 2023. Kalimantan hydroclimate variability since the last glacial period. *International Journal of Earth Sciences*, 112, 615–629. doi.org/10.1007/s00531-022-02266-2.
- Huang, B., Z. Jian, X. Cheng, & P. Wang. 2003. Foraminiferal responses to upwelling variations in the South China Sea over the last 220,000 years. *Marine Micropaleontology* 47(1): 1–15. [doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00045-2).
- Katili, J. A. 1978. Past and present geotectonic position of Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics*, 45, 289–322.
- Kennett, J.P., & M.S. Srinivasan. 1983. *Neogene Planktonic Foraminifera: A Phylogenetic Atlas*. Hutchinson and Ross, Stroudsburg. 265 pp.
- Marchitto, T., S. Bryn, W.B. Curry, & D. McCorkle. 2007. Mg/Ca temperature calibration for the benthic foraminifer *Cibicides pachyderma*. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 22(1). doi.org/10.1029/2006PA001287.
- Morley, R.J., H.P. Morley, A.A.H. Wonders, Sukarno, & S. van der Kaars. 2004. Biostratigraphy of modern (Holocene and Late Pleistocene) sediment cores from the Makassar Straits. In *Proceedings of the Deepwater and Frontier Exploration in Asia & Australasia Symposium*, Indonesian Petroleum Association.
- Mörner, N.-A. 1976. The Pleistocene/Holocene boundary: A proposed boundary-stratotype in Gothenburg, Sweden. *Boreas* 5(4): 193–275. doi.org/10.1111/j.1502-3885.1976.tb00263.x.
- Murphy, M.A., & A. Salvador. 1999. International Stratigraphic Guide—An abridged version. *International Union of Geological Sciences* 22(4): 255–271.
- Naidu, P.D., & B.A. Malmgren. 1996. A high-resolution record of Late Quaternary upwelling along the Oman Margin, Arabian Sea based on planktonic foraminifera. *Paleoceanography and Paleoclimatology* 11(1). doi.org/10.1029/95PA03198.
- Protin, M., I. Schimmelpfennig, J.-L. Mugnier, L. Ravel, M. Le Roy, P. Deline, & K. Keddadouche. 2019. Climatic reconstruction for the Younger Dryas/Early Holocene transition and the Little Ice Age based on paleo-extents of Argenti re glacier (French Alps). *Quaternary Science Reviews* 221: 105863. doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105863.
- Roberts, H.H., & J. Sydn . 2003. Late Quaternary stratigraphy and sedimentology of the offshore Mahakam delta, east Kalimantan (Indonesia). *Tropical Deltas of Southeast Asia—Sedimentology, Stratigraphy, and Petroleum Geology SEPM Special Publication No. 76*: 125–145.
- Sandi Stratigrafi Indonesia*. 1996. Revisi kedua dari Sandi Stratigrafi Indonesia 1973. Ikatan Ahli Geologi Indonesia. 42 pp.
- Satyana, A.H., S. Damayanti, & C. Armandita. 2012. Tectonics, stratigraphy, and geochemistry of the Makassar Straits: Recent updates from exploring offshore West Sulawesi, opportunities, and risks. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association*.
- Sen Gupta, B.K. 1999. Introduction to modern foraminifera. In B.K. Sen Gupta, ed., *Modern Foraminifera*. Kluwer, Dordrecht, 3.
- Simandjuntak, T.O. 1990. Sedimentology and tectonics of the collision complex in the east arm of Sulawesi, Indonesia. *Geologi Indonesia* 13(1): 1–35.

