

# ANALISIS INPUT SEDIMEN SEJAK PLEISTOSEN AKHIR DI PERAIRAN UTARA PAPUA, SAMUDRA PASIFIK

## *Sediment Input Analysis Since Last Pleistocene in North Papua Waters, Pacific Ocean*

Adrianus Damanik<sup>1</sup>, Khoiril Anwar Maryunani<sup>1</sup>, Septriono Hari Nugroho<sup>2</sup>, Purna Sulastya Putra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132

<sup>2</sup> Pusat Riset Geoteknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

Email: adrianusdamanik@gmail.com; khoiril.anwar.m@itb.ac.id; harry.lipi@gmail.com; purna.putra@gmail.com

Diterima : 28-05-2020, Disetujui : 03-11-2021

### ABSTRAK

Perairan Indonesia, salah satunya Perairan Utara Papua, memiliki peran penting dalam sirkulasi global, yaitu sebagai salah satu pintu masuk Arlindo yang mengalir dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Rekonstruksi perubahan input sedimen sejak ~19 ribu tahun lalu dilakukan pada sampel sedimen laut dalam (OS-07) sepanjang 246 cm yang diambil dari kedalaman 4327 m di Perairan Utara Papua, Samudra Pasifik. Sampel diambil pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018 dengan menggunakan penginti gravitasi pada Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Rekonstruksi input sedimen dilakukan berdasarkan data kandungan unsur kimia Fe, Ti, dan Rb dan normalisasi unsur darat terhadap unsur laut. Input sedimentasi yang tinggi ditunjukkan pada Plesitosen Akhir (~19.5-16 ribu tahun BP) yang kemudian menurun pada ~12.5-10 ribu tahun BP yang diinterpretasikan berkaitan dengan peristiwa *Younger Dryas*. Pada Kala Holosen, input sedimen yang tinggi ditunjukkan pada ~8-5 ribu tahun BP dan ~2-0,5 ribu tahun BP, dan input sedimen yang rendah pada ~11-8 ribu tahun BP dan ~5-2 ribu tahun BP.

**Kata kunci:** geokimia unsur jejak, input sedimen, Samudra Pasifik.

### ABSTRACT

*Indonesian waters, especially North Papua Waters, have an important role in global circulation, as one of the entrances for The Indonesian Throughflow (ITF). Reconstruction of sediment input since ~19 k years were carried out on a 246 cm long deep sea sediment samples (OS-07) taken from 4327 m depth in the North Papua Waters, Pacific Ocean. Samples were taken at the 2018 Manggala Expedition using gravity corer on the Baruna Jaya VIII Research Vessel. Reconstruction of sediment input were carried out based on data on the chemical contents of Fe, Ti, and Rb and normalized terrestrial elements by marine elements. High sedimentation inputs were shown in the Late Pleistocene (~19.5-16 k years BP) and decreased at ~12.5-10 k years BP which is interpreted related to the Younger Dryas event. In the Holocene, high sediment inputs were shown at ~8-5 k years BP and ~2-0.5 thousand years BP, and low sediment inputs at ~11-8 k years BP and ~5-2 k years BP.*

**Keyword:** geochemical trace elements, sediment input, Pacific Ocean.

#### Kontribusi:

Semua kontributor memiliki kontribusi yang sama sebagai penulis utama.

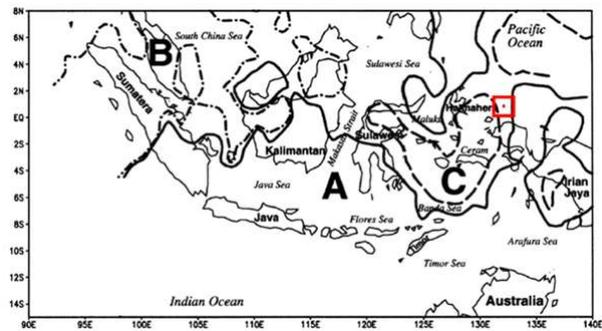
## PENDAHULUAN

Perairan Indonesia memiliki peran penting dalam sirkulasi global (*global scale oceanic belt*). Sebagai negara kepulauan yang diapit oleh Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, Indonesia memiliki peran sebagai pintu masuk bagi massa air yang melintas dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia (Hasanudin, 1998).

Berdasarkan data Tim Oseanografi pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018 (Surinati and Corvianawatie, 2019), dinamika oseanografi di Perairan Utara Papua secara dominan dipengaruhi oleh sirkulasi massa air dalam skala regional di Samudra Pasifik. Analisis menggunakan diagram T-S (Temperatur-Salinitas), menyimpulkan bahwa massa air di Perairan Utara Papua terbagi menjadi tiga jenis yaitu 1) massa air *South Pacific Subtropical Water* (SPSW; kedalaman 0–500 m) (Gordon, 2005; Emery, 2008; Sprintall et al., 2014; Surinati, 2018); 2) massa air *Antarctic Intermediate Water* (AAIW; kedalaman 500–1500 m) (Emery, 2008; Fine dkk., 1994) dan 3) massa air *Circumpolar Deep Water* (CDW; kedalaman 1500m–dasar perairan) (Emery, 2001).

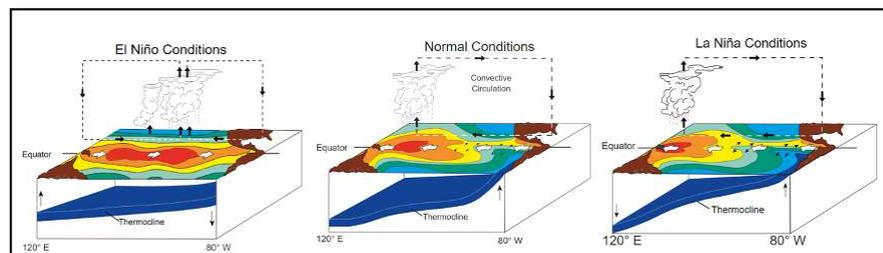
Penelitian mengenai curah hujan di Indonesia yang dilakukan oleh Aldrian dan Susanto (2013) menunjukkan bahwa iklim di Indonesia dapat dibagi menjadi tiga bagian menurut tingkat curah hujannya (Gambar 1). Region A, bagian selatan dan tengah Indonesia dipengaruhi oleh monsun barat daya (Australia) dan monsun Asia; Region B, bagian barat laut Indonesia dengan dua puncak curah hujan per tahun berkaitan dengan pergeseran *Inter-Tropical Convergence Zone* (ITCZ)/monsun Asia; dan Region C, wilayah Maluku (rute timur Arlindo) dipengaruhi *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) dan Arlindo. Daerah penelitian terletak di Perairan Utara Papua, wilayah barat Samudra Pasifik dan diinterpretasikan tidak hanya merupakan bagian dari Region C yang tingkat curah hujannya dipengaruhi oleh sirkulasi samudra dan berkaitan dengan ENSO, namun juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti monsoon, Arlindo, dan arus Eddy (Gambar 1).

Selain sebagai pintu masuk Arlindo, Perairan Utara Papua merupakan bagian dari sirkulasi global dan dipengaruhi oleh ENSO (Gordon, 2005; Sprintall et al., 2014; Surinati, 2018). ENSO merupakan pola iklim berulang yang melibatkan sirkulasi air dan perubahan suhu di Samudra Pasifik. Philander (1990) dan NOAA (2020) mengartikan bahwa kondisi El Niño diindikasikan dengan tingginya tekanan di atas Pasifik bagian barat, angin pasat yang melemah, dan kolam air panas Pasifik Barat/ WPWP (*West Pacific Warm Pool*) bergeser ke bagian timur, konsekuensi dari peristiwa tersebut adalah penurunan suhu permukaan laut (SPL), pendangkalan termoklin dan penurunan curah hujan secara signifikan di



Gambar 1. Pembagian region iklim di Indonesia (Aldrian dan Susanto, 2003). Region A dibatasi garis, Region B dibatasi garis-titik putus-putus, dan Region C dibatasi garis putus-putus. Titik merah menunjukkan lokasi penelitian.

Samudra Pasifik Barat antara lain bagian Asia Tenggara (termasuk di daerah penelitian). Sebaliknya, di daerah timur Pasifik curah hujan meningkat, *upwelling* melemah, pendalaman termoklin, dan penurunan nutrisi. Pada kondisi La Niña, SPL akan lebih rendah, terjadi pendangkalan termoklin, dan peningkatan *upwelling* di Pasifik bagian timur, sedangkan di daerah penelitian (Pasifik barat pada umumnya) terjadi peningkatan SPL, peningkatan curah hujan dan pendalaman termoklin (Gambar 2; Philander, 1990 NOAA, 2020).



Gambar 2. Diagram skematik kondisi El Niño, normal, dan La Niña (NOAA, 2020)

Untuk mengetahui perubahan iklim, salah satunya perubahan curah hujan menjadi sangat mendasar untuk diketahui. Perubahan curah hujan dapat juga mengakibatkan perubahan input sedimen yang dapat direkonstruksi berdasarkan data kandungan unsur. Penelitian perubahan iklim telah dilakukan oleh Maryunani (2009) di Teluk Cendrawasih, Gustiantini et al. (2015) di Laut Halmahera yang merupakan lokasi jalur masuk ITF. Damanik dkk. (2020) telah melakukan rekonstruksi suhu permukaan laut (SST) dari data foraminifera di lokasi penelitian yang menunjukkan dua pola yaitu Plesitosen dan Holosen dan juga dapat menunjukkan perubahan antara suhu yang lebih rendah pada Pleistosen terhadap Holosen. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bagian dari studi pendahuluan pada kawasan terluar Indonesia dan jalur masuk Arlindo di Indonesia.

## METODE

Pengambilan data dilakukan menggunakan penginti gravitasi. Data sedimen inti dengan kode OS-07 diambil dari kedalaman 4327 m (Nugroho and Damanik, 2018) di Perairan Utara Papua, Samudra Pasifik (Gambar 1) pada Ekspedisi Nusa Manggala 2018 dari Kapal Riset Baruna Jaya VIII. Sedimen inti sepanjang 246 cm kemudian dipotong setiap satu cm menghasilkan 246 subsampel.

Penentuan umur absolut sampel sedimen dilakukan dengan metoda analisis AMS  $^{14}\text{C}$  (*radiocarbon dating*). Analisis ini dilakukan pada dua sampel yaitu bagian tengah (kedalaman 125-126 cm) dan bagian paling bawah (kedalaman 245-246 cm) dari sedimen inti. Analisis  $^{14}\text{C}$  dilakukan terhadap cangkang foraminifera planktonik yang terkandung di dalam sedimen. Preparasi foraminifera dilakukan di Laboratorium Sedimentologi, Pusat Riset Geoteknologi, BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional), sementara analisis *dating*  $^{14}\text{C}$  dengan menggunakan alat AMS  $^{14}\text{C}$  dilakukan oleh Laboratorium Beta Analytic Inc. Miami, Florida. Tiga spesies foraminifera yang dipilih untuk analisis *dating* yaitu *Pulleniatina* spp., *Neogloboquadrina* spp., dan *Globorotalia* spp., karena kelimpahannya yang tinggi sehingga volume sampel yang dibutuhkan alat AMS  $^{14}\text{C}$  (*radiocarbon dating*) dapat tercapai (4 mg). Hasil analisis umur kemudian dikalibrasikan terhadap database MARINE13 yang merupakan bagian dari program INTCAL 2013 (Reimer et al., 2013; Beta Analytic Inc., 2019).

Analisis kandungan unsur kimia dilakukan dengan interval satu cm menggunakan alat pemindai unsur jejak, yaitu Thermo NITON XL3t 500 Analyzers di Laboratorium Kimia Sumber Daya Geologi, Pusat Riset Geoteknologi, BRIN. Unsur Fe, Ti, dan Rb diinterpretasikan sebagai input sedimen darat (Dypvik and Harris, 2001; Meissner, 2007; Mollier-vogel et al., 2013; Bradley, 2015; Croudace and Rothwell, 2015), sedangkan intensitas pelapukan diinterpretasikan dengan menggunakan unsur Rb dan K. Unsur Rb cenderung lebih bertahan pada residu hasil pelapukan (akibat absorpsi atau berubah menjadi lempung), sehingga pada proses pelapukan yang lebih intens akan lebih banyak Rb yang dihasilkan daripada K (Nesbitt et al., 1980). Unsur Ca dan Sr diinterpretasikan sebagai hasil dari banyaknya proses biogenik, prediksi kandungan oksigen, kandungan

karbonat dan transgresi laut (Langer, 2008; Croudace and Rothwell, 2015).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Umur

Hasil penentuan umur terdapat pada Tabel 1. Hasil analisis umur ini digunakan untuk mengetahui rata-rata kecepatan sedimentasi dengan asumsi bahwa kecepatan sedimentasi linier (mengabaikan faktor-faktor sedimentasi

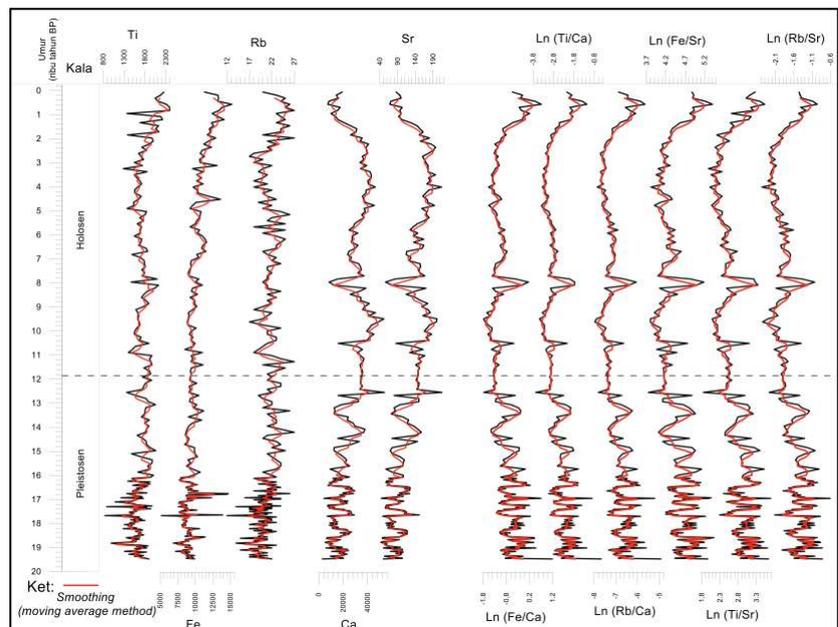
Tabel 1. Hasil penentuan umur pada sampel sedimen inti.

Interval Kedalaman (cm)	Spesies	Umur $^{14}\text{C}$ Terkalibrasi (Before Present/BP)
125-126	<i>Neogloboquadrina</i> spp.	16057 +/- 40
245-246	<i>Pulleniatina</i> spp. <i>Globorotalia</i> spp.	19490 +/- 60

seperti kompaksi, masa jenis butir, viskositas fluida) serta pada kedalaman 0 meter mewakili umur 0 tahun. Kecepatan sedimentasi yang relatif tinggi terjadi selama Pleistosen Akhir (sebelum 16057 +/- 40 BP atau pada kedalaman 126–246 cm) yaitu sekitar 34,95 cm/1000 tahun, sedangkan pada Holosen-Pleistosen Akhir (0–16057 +/- 40 BP atau pada kedalaman 0-126 cm) memiliki kecepatan sedimentasi yang lebih rendah yaitu atau 7,85 cm/1000 tahun.

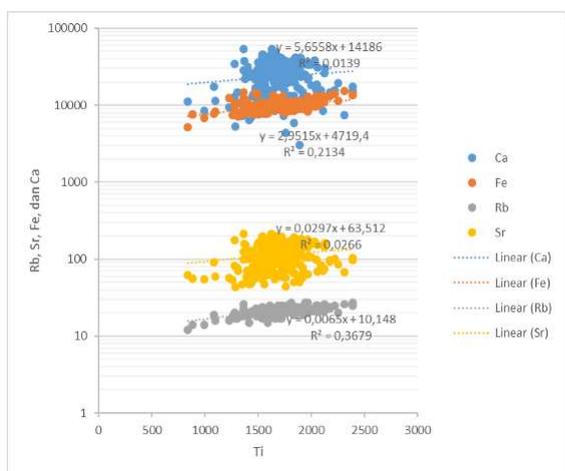
### Data Input Sedimen

Hasil analisis kandungan unsur darat (Fe, Ti, dan Rb) dan unsur laut (Ca dan Sr) ditunjukkan pada Gambar 3. Kandungan unsur darat (Fe, Ti, dan Rb) dan unsur laut (Ca dan Sr) masing-masing memiliki pola yang cukup sama. Nilai perubahan unsur Fe, Ti, dan Rb secara umum



Gambar 3. Grafik kandungan unsur darat (Fe, Ti, dan Rb), unsur laut (Ca dan Sr), dan normalisasi unsur darat terhadap unsur laut. Garis hitam putus-putus merupakan interpretasi batas Pleistosen-Holosen. Warna merah merepresentasikan *smoothing* grafik dengan menggunakan metode *moving average*.

meningkat, sedangkan perubahan nilai unsur Ca dan Sr yang memiliki pola yang berfluktuatif dengan pola yang meningkat secara signifikan..



Gambar 4. Grafik korelasi kandungan unsur unsur Rb, Sr, Fe, dan Ca terhadap Ti.

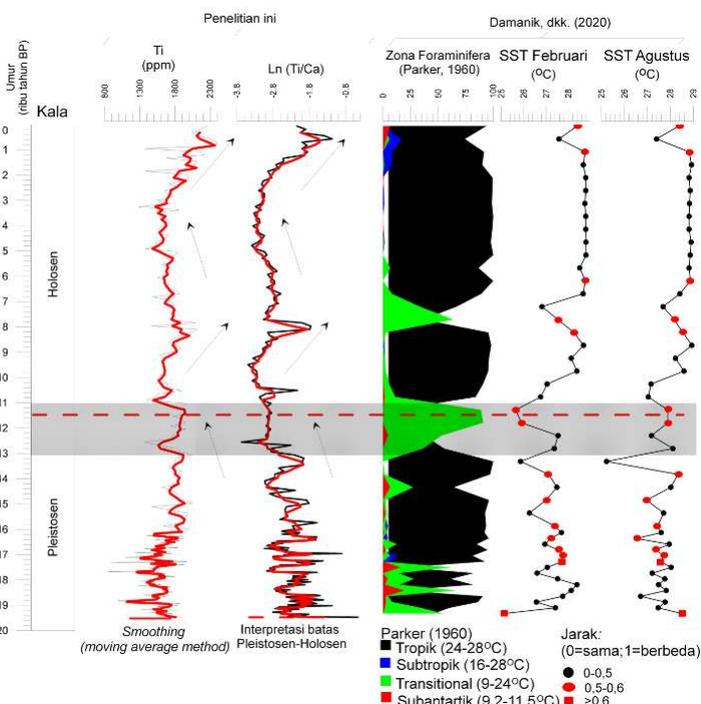
Plot bivariate (Gambar 4) antara Ti dengan unsur laut dan unsur darat lainnya menunjukkan bahwa unsur darat seperti Fe dan Rb memiliki pola yang cukup sama dengan unsur Ti, sedangkan unsur Ca dan Sr memiliki pola yang berbeda dengan nilai korelasi yang rendah ( $R^2=0,02$  dan  $0,01$ ). Hal ini mengkonfirmasi bahwa unsur Ca dan Sr sebagai unsur yang berasal dari laut pada lokasi penelitian sehingga dapat digunakan untuk menghilangkan pengaruh laut pada data unsur darat. Normalisasi unsur darat (Fe, Ti, dan Rb) terhadap unsur laut (Ca dan Sr) memperlihatkan pola yang sama yang mempertegas sumber unsur kimia tersebut dan dapat dijadikan dasar untuk analisis input sedimen (Gambar 3). Perbandingan Rb/Ca dan Rb/Sr (Gambar 3) dapat menunjukkan intensitas pelapukan, nilai yang semakin tinggi menunjukkan pelapukan yang semakin intens (Ardi, 2018; Ardi et al., 2020).

Berdasarkan hasil interpretasi input sedimen darat (Ti, Fe, Rb) terlihat tren input sedimen yang lebih tinggi pada awal Pleistosen Akhir dan kemudian terdapat pola menurun sebelum mulai meningkat lagi pada pertengahan Holosen. Normalisasi unsur darat terhadap unsur laut (Gambar 3) serta intensitas pelapukan yang diwakili nilai Ln (Rb/Ca) dan Ln (Rb/Sr) juga menunjukkan pola perubahan yang sama dengan yang ditunjukkan unsur input sedimen (Ti, Fe, Rb).

Pada Pleistosen Akhir diawali dengan input sedimen yang cukup tinggi dan berfluktuatif (~19,5-16 ribu tahun BP) yang sejalan dengan hasil penentuan umur yang menunjukkan kecepatan sedimentasi yang tinggi. Input sedimen kemudian menunjukkan penurunan secara signifikan (~16-12,5 ribu

tahun BP). Pada batas Pleistosen Akhir-Holosen (~12,5-10 ribu tahun BP) menunjukkan perubahan input sedimen yang diinterpretasikan berkaitan dengan peristiwa iklim lintang tinggi seperti yang ditunjukkan pada umur ~11-13 ribu tahun BP. Peristiwa ini diinterpretasikan sebagai *Younger Dryas* yang pada umumnya menunjukkan perubahan ekologi dan kehidupan yang cukup signifikan antara Pleistosen-Holosen (Watson dan Wright, 1980), pada lokasi penelitian memperlihatkan kelimpahan foraminifera yang sangat rendah, peningkatan kelompok foraminifera transitional (Damanik dkk., 2020; Gambar 5), penurunan input sedimen yang dapat diakibatkan penurunan curah hujan, yang kemudian diikuti peningkatan SPL, kelimpahan foraminifera (Damanik dkk., 2020), dan peningkatan input sedimen yang dapat diakibatkan peningkatan curah hujan yang signifikan yang diinterpretasikan sebagai awal Holosen.

Pada Holosen terdapat dua peningkatan input sedimen (~10-8 ribu tahun BP dan ~3-0,5 ribu tahun BP), dan dua penurunan input sedimen (~7-3 ribu tahun BP dan ~0,5 ribu tahun lalu-sekarang). Perubahan input sedimen yang salah satunya dapat diakibatkan sebagai perubahan curah hujan yang meningkat setelah pertengahan Holosen sejalan dengan penelitian sebelumnya (Damanik dkk., 2020) yang menunjukkan SPL yang lebih tinggi dan kelimpahan foraminifera yang lebih tinggi dibandingkan Pleistosen. Peningkatan kelimpahan foraminifera yang sangat signifikan pada awal Holosen ini sejalan dengan perubahan nilai unsur Ca dan Sr yang meningkat yang diinterpretasikan sebagai perubahan produktivitas laut yang signifikan (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik perubahan nilai input sedimen dan umur, serta interpretasi peristiwa iklim.

Berdasarkan indeks mean NINO3 (Clement et al., 1999) sebagai indeks ENSO, Pleistosen Akhir cenderung menunjukkan peristiwa El Niño yang berkaitan dengan penurunan curah hujan di daerah Perairan Utara Papua, sedangkan Holosen cenderung menunjukkan La Niña yang berkaitan dengan peningkatan curah hujan di daerah Perairan Utara Papua. Hal ini dapat menjadi salah satu kemungkinan faktor dalam menginterpretasikan variabilitas input sediment pada daerah penelitian, seperti penurunan input Pleistosen Akhir (~16-12,5 ribu tahun BP) dan dengan peningkatan input sedimen pada Holosen (~10-8 ribu tahun BP dan ~3-0,5 ribu tahun BP). Adapun input sedimen yang tinggi pada Pleistosen Akhir dan dua penurunan input sedimen pada Holosen (~7-3 ribu tahun BP dan ~0,5 ribu tahun lalu-sekarang) yang tidak berkaitan dengan ENSO dapat diinterpretasikan terjadi akibat interupsi dari faktor lain seperti monsun, Arlindo, *vertical mixing*, arus Eddy, ataupun juga berkaitan dengan kedalaman pengambilan sampel yang juga dapat menyebabkan anomali input sedimen.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis kandungan kimia dapat menunjukkan perubahan input sedimen pada lokasi penelitian terlihat tren input sedimen yang lebih tinggi pada awal Pleistosen Akhir dan kemudian terdapat pola menurun sebelum mulai meningkat lagi pada pertengahan Holosen. Penurunan input sedimen terjadi pada batas Pleistosen-Holosen diduga berkaitan dengan peristiwa *Younger Dryas*. Sebagian dari variabilitas input sedimen dapat diinterpretasikan berkaitan dengan perubahan ENSO, namun dapat juga berkaitan dengan faktor lain seperti monsun, Arlindo, *vertical mixing*, arus Eddy, ataupun juga berkaitan dengan kedalaman pengambilan sampel yang juga dapat menyebabkan anomali input sedimen. Variabilitas input sedimen yang tinggi mengindikasikan Perairan Utara Papua sebagai bagian terluar Indonesia dan jalur masuk Arlindo mendapatkan pengaruh yang kompleks sehingga perlu dilakukan penelitian paleoklimat yang lebih detail dan didasarkan pada multi proksi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Oseanografi, BRIN yang melaksanakan Ekspedisi Nusa Manggala 2018. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada Coremap-CTI yang telah memberikan dana dalam ekspedisi dan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Riset Geoteknologi, BRIN atas fasilitas yang diberikan untuk melakukan analisis laboratorium. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada para reviewer yang telah memberikan saran dan masukan untuk tulisan ini, serta kepada pihak-pihak yang telah membantu dan tidak dapat disampaikan satu persatu kami ucapkan terima kasih.

## DAFTAR ACUAN

- Ardi, R. D. W. 2018. *Rekonstruksi paleoklimatologi dan paleo-oseanografi sejak Pleistosen Akhir berdasarkan kumpulan foraminifera di lepas pantai barat daya Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur.*, Tesis Magister, Insitut Teknologi Bandung, 84.
- Ardi, R. D. W., Maryunani, K. A., Yulianto, E., Putra, P. S., and Nugroho, S. H. (2020). Last Deglaciation—Holocene Australian-Indonesian Monsoon Rainfall Changes Off Southwest Sumba, Indonesia. *Atmosphere*, 11(9), 932.
- Beta Analytic Inc. 2019. *Radiocarbon Dating Result*, 8.
- Bradley, R. S. 2015. *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary* (Third Edit), Elsevier, Oxford, 1–36.
- Clement, A. C., Seager, R., and Cane, M. A. 1999. Orbital controls on the El Niño/Southern Oscillation and the tropical climate, *Paleoceanography*. 14(4). 441–456. <https://doi.org/10.1029/1999PA900013>
- Croudace, I. W., and Rothwell, R. G. 2015. *Micro-XRF Studies of Sediment Cores: Applications of a non-destructive tool for the environmental sciences, Developments in Paleoenvironmental Research*, Springer, London, 17, 656. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5>
- Dypvik, H., and Harris, N. B. 2001. Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+Rb)/Sr ratios, *Chemical Geology*. 181. 131–146.
- Emery, W. J. 2001. Water Types and Water Masses, *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 6. 3179–3187.
- Emery, W. J. 2008. Water Types and Water Masses, *Encyclopedia of Ocean Sciences: Second Edition*. 291–299. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00108-9>
- Fine, R. A., Lukas, R., Bingham, F. M., Warner, M. J., and Gammon, R. H. 1994. The western equatorial Pacific: A water mass crossroads, *Journal of Geophysical Research*. 99(C12). 25063. <https://doi.org/10.1029/94JC02277>
- Gordon, A. L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow, *Oceanography*. 18(4). 14–27. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.18>
- Gustiantini, L., Maryunani, K. A., Zuraida, R., Kissel, C., Bassinot, F., and Zaim, Y. 2015. Distribusi Foraminifera di Laut Halmahera dari Glasial Akhir sampai Resen, *Jurnal Geologi Kelautan*. 13(236). 25–36.
- Hasanudin, M. 1998. Arus Lintas Indonesia (Arlindo), *Oseana*. XXIII(2). 1–9.
- Langer, M. R. 2008. Assessing the Contribution of Foraminiferan Protists to Global Ocean Carbonate Production, *Journal Eukaryot Microbiology*. 55(3).

- 163–169. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2008.00321.x>
- Maryunani, K. A. 2009. *Microfossil approached based on Cendrawasih Bay data, to interpreting and reconstructing Equatorial Western Pacific paleoclimate since Last Glacial (Late Pleistocene)*, Disertasi Doktorat, Institut Teknologi Bandung, 141.
- Meissner, K. J. 2007. *Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography, Developments in Marine Geology*, 1, 799–811. [https://doi.org/10.1016/S1572-5480\(07\)01025-1](https://doi.org/10.1016/S1572-5480(07)01025-1)
- Mollier-vogel, E., Leduc, G., Bösch, T., Martinez, P., and Schneider, R. R. 2013. Rainfall response to orbital and millennial forcing in northern Peru over the last 18 ka, *Quaternary Science Reviews*. 76. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.06.021>
- Nesbitt, H. W., Markovics, G., and Price, R. C. 1980. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering, *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 44. 1659–1666.
- NOAA 2020. What is El Niño?
- Nugroho, S. H., and Damanik, A. 2018. *On Board Report - Dinamika Iklim Masa Lalu (Paleoklimatologi) - Ekspedisi Nusa Manggala 2018*, 10.
- Philander, S. G. 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*, Academic Press, San Diego, California, 289.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk, C., Caitlin, R., Hai, E. B., and Edwards, R. L. 2013. Intcal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0 – 50,000 years cal bp, *Radiocarbon*. 55(4). 1869–1887.
- Sprintall, J., Gordon, A. L., Koch-Larrouy, A., Lee, T., Potemra, J. T., Pujiana, K., and Wijffels, S. E. 2014. The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system, *Nature Geoscience*. 7(7). 487–492. <https://doi.org/10.1038/ngeo2188>
- Surinati, D. 2018. *Dinamika Oseanografi di perairan sekitar pulau-pulau kecil terluar*, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, 9.
- Surinati, D., and Corvianawatie, C. 2019. Dinamika Massa Air di Sekitar Pulau-Pulau Kecil Terluar (PPKT) Perairan Utara Papua, *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*. 4(3). 187. <https://doi.org/10.14203/oldi.2019.v4i3.251>

