

TIPE INTERVAL T2- HUMMOCKY PADA ENDAPAN BADAI (TEMPESTIT), FORMASI NANGGULAN, PEGUNUNGAN KULON PROGO, YOGYAKARTA

T2-HUMMOCKY INTERVAL TYPE IN STORM DEPOSITS (TEMPESTITE), NANGGULAN FORMATION, KULON PROGO MOUNTAINS, YOGYAKARTA

Siti Nuraini^{1,*}, Ildrem Syafri², Budi Muljana³, Adjat Sudradjat⁴

¹Department of Geology, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

*Email corresponding: siti.nuraini@itny.ac.id

^{2,3,4}Department of Geology, Faculty of Geology Technique, Padjadjaran University, Bandung, Indonesia

Email: ildrem@unpad.ac.id

Email: budimuljana@gmail.com

Email: asudradjat@yahoo.com

Cara sitasi: S. Nuraini, I. Syafri, B. Muljana, dan A. Sudradjat, "Tipe Interval T2- Hummocky pada Endapan Badai (Tempestit), Formasi Nanggulan, Pegunungan Kulon Progo, Yogyakarta," *Kurvatek*, vol. 10, no. 2, pp. 163-170, 2025. doi: 10.33579/krvtk.v10i2.5800 [Online].

Abstrak — Struktur *hummocky* dan *swalley* dari pola perlapisan menghalus ke atas dapat berasosiasi dengan model endapan turbidit. Bersamaan itu pula, struktur ini dapat terbentuk dalam susunan perlapisan endapan badai (tempestit). Interpretasi ini perlu didukung oleh pemahaman mendalam mengenai karakter arus utama dari masing-masing model endapan tersebut. Penelitian ini akan mengupas karakter perlapisan *hummocky* dan *swalley* pada Formasi Nanggulan yang dijumpai di tiga lokasi lintasan yaitu Kali Clumprit, Kali Watupuru dan Kali Songgo. Metode yang diterapkan meliputi pembuatan penampang stratigrafi pada 3 lintasan Kali Clumprit (CBC), Watupuru (WJA) dan Songgo (ST1), korelasi umur ketiga penampang stratigrafi dan analisis arus purba. Struktur *hummocky-swalley* dalam susunan perlapisan menghalus ke atas terbentuk karena dipicu oleh variasi arus yaitu arus oskilasi, arus dasar (*bottom current*) dan arus kombinasi. Model variasi arus yang hadir secara bersamaan mencirikan endapan badai atau tempestit. Arah arusnya bersifat polimodal: bertolak belakang dan bercabang. Dua arus utama yang datang dari arah laut bersifat oskilasi, sedangkan arus dasar (*bottom current*) berasal dari daratan. Di sisi lain, pola arus kombinasi cenderung bercabang dari dua pola arus utamanya. Badai telah menyerang wilayah daratan pinggir pantai dengan lapisan *hummocky* yang saling bertumpukan, maju ke arah barat laut sebagai pantai purbanya.

Kata kunci: *Hummocky*, tempestit, badai, arus

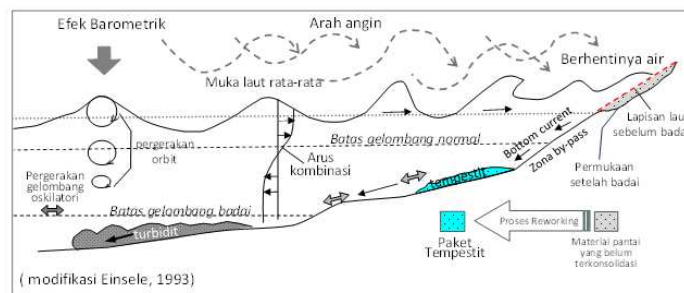
Abstract — The *hummocky* and *swaley* structures in the fining-upward layering pattern are indicative of turbidite deposition or storm sedimentary layers (*tempestites*). Understanding the main current characteristics of each sedimentary model is crucial for interpretation. This study focuses on the *hummocky* and *swalley* layers in the Nanggulan Formation at three track locations: Clumprit River (CBC), Watupuru River (WJA), and Songgo (ST1) River. Methods include creating stratigraphic cross sections at these locations, age correlation, and paleocurrent analysis. The *hummocky-swalley* structure is attributed to oscillatory, bottom, and combined currents, typical of storm sedimentary layers. Paleocurrent directions are polymodal, with oscillatory currents from the sea, bottom currents from the land, and combined currents branching off. Storms have impacted coastal areas, with *hummocky* layers advancing northwestward along the ancient coastline.

Keywords: *Hummocky*, tempestit, storm, current

I. PENDAHULUAN

Studi mengenai endapan badai kurang populer di negeri ini. Kondisi ini menggambarkan minimnya singkapan batuan endapan tempestit, sehingga sulit untuk mengaplikasikan teori terhadap singkapan yang ada. Endapan badai telah dipelajari menggunakan singkapan yang berumur tua yaitu Pra Kambrium (Myrow *et al.*, 2004) [1] sampai umur muda: Holosen (William, 2011) [2]. Secara definisi, istilah tempestit

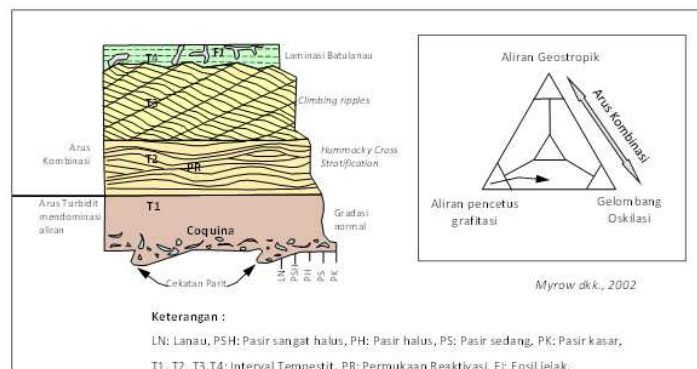
mengacu pada suatu produk endapan badai akibat badai yang melanda wilayah pesisir atau garis pantai menyebabkan sedimen tersebut tertransportasi dan terendapkan ulang ke lingkungan lebih dalam lagi di zona antara gelombang normal (*fair- weather wave base*) dan badai (*storm wave base*) (Einsele, 1993 [3]; Pomar, 2019) [4] atau *shoreface* (Gambar 1).



Gambar 1. Konsep kejadian endapan badai (Einsele, 1993 [3]).

Produk tempestit bisa terbentuk dari kombinasi pasang-surut dan badai (Grundvåg *et al.*, 2021) [5] yang dapat terjadi di paparan karbonat (Franco *et al.*, 20110 [6], delta (Legler *et al.*, 2014 [7]; Nuraini *et al.*, 2004 [8] dan sebagainya. Secara umum, dalam paket tempestit dikontrol oleh dua tipe arus pengendapan yaitu arus turbidit mengendapkan lapisannya, kemudian pengendapan berikutnya dikontrol oleh kombinasi tipe arus (Myrow *et al.*, 2002) [9] (Gambar 2).

Penemuan singkapan menghalus ke atas dari endapan badai dijumpai dalam Formasi Nanggulan terutama di Kali Clumprit, Watupuru dan Songgo (Rahardjo dkk., 1995) [10] (Gambar 3). Formasi Nanggulan diendapkan sejak umur Eosen Tengah berkomposisi batupasir (berbutir sangat kasar sampai sangat halus), batulanau dan batulempung yang disisipi oleh lapisan lignit, lapisan remukan cangkang (*coquina*), lensa-lensa batupasir dan batugamping kalsilitut, mengandung karbonatan, tuffan, kwarsaan, konglomeratan dan sebagainya. Endapan badai (tempestit) berkomposisi lapisan alas (T1) berlitologi batupasir kasar, lapisan berlitologi batupasir menengah berstruktur *hummocky-swalley* (T2), lapisan *current/ climbing ripple* berlitologi batupasir halus sampai sangat halus (T3), kemudian laminasi parallel berlitologi batulanau mengandung fosil jejak (T4) (Gambar 2).

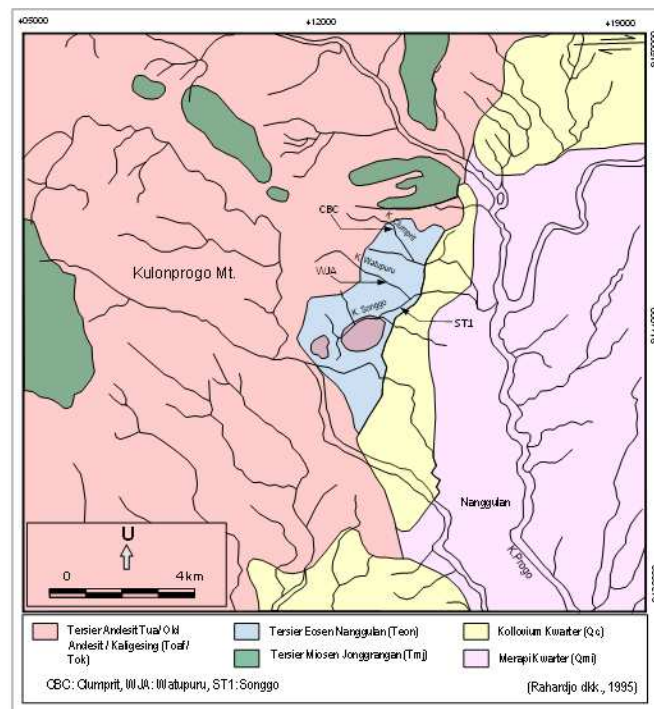


Gambar 2. Komposisi lapisan endapan badai beserta tipe aliran pengontrol (Myrow *et al.*, 2002) [9].

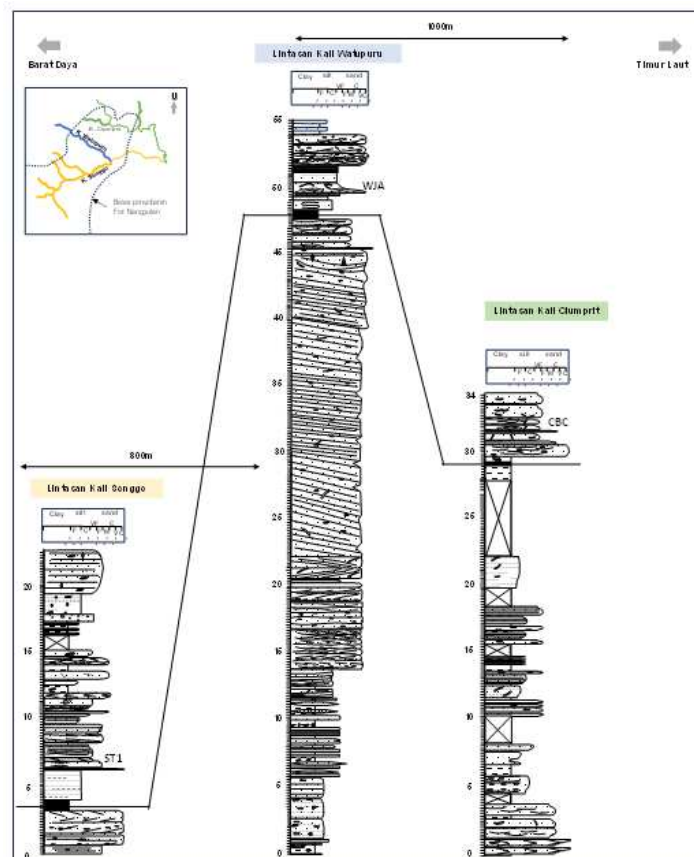
II. METODE PENELITIAN

Korelasi Formasi Nanggulan di ketiga penampang stratigrafi, melintasi Kali Clumprit, Watupuru dan Songgo telah menggunakan lapisan Batubara muda (lignit) (Gambar 3 & 4.). Pengendapan Formasi Nanggulan dimulai sejak umur Eosen Tengah berdasarkan fosil pollen - spora (*Dicopolopollis elegans Proxapertites sp 'smooth'*) adalah Eosen Tengah (Lutetian sampai Priabonian Awal/ 48-36 juta tahun lalu). Berdasarkan fosil foraminifera bentonik besar (*Nummulithes striatus* dan *Nummulites boninensis*) menunjukan umur Eosen Tengah (Lutetian sampai Bartonian/ 48-39 juta tahun lalu).

Pengukuran arus purba pada singkapan tempestit di ketiga lintasan, pada interval bagian alas dan bagian tengah (T2), sedangkan interval atas dijumpai terbatas di Watupuru saja. Diagram roset telah dihadirkan dengan kelompok segmen setiap 15° (Gambar 4). Hal ini untuk mengetahui arah dominan arus dalam kejadian badai. Adapun lapisan yang dijadikan kalibrasi untuk mengetahui arah pengendapan, menggunakan lapisan miring (*clinoform*) pada penampang Watupuru di ketebalan antara 22,5 sampai 45m (Gambar 4).



Gambar 3. Lokasi pengendapan Formasi Nanggulan pada poligon biru muda beserta lokasi pengamatan pada jalur Kali Clumpit, Kali Watupuru dan Kali Songgo, Kulon Progo, Yogyakarta (Rahardjo dkk., 1995) [10].



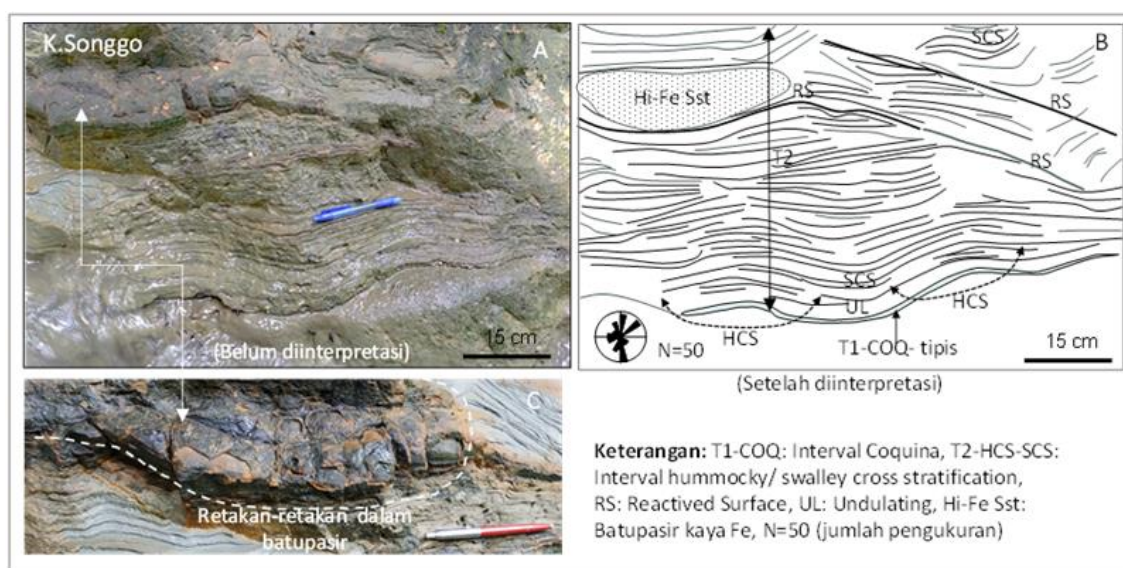
Gambar 4. Korelasi Formasi Nanggulan di tiga penampang stratigrafi dari timurlaut ke barat daya: Clumpit, Watupuru dan Songgo.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Tempestit Kali Songgo (ST1)

Pola vertikal endapan katastrofik Kali Songgo terdiri dari lapisan tipis alas (T1) (coquina), kemudian lapisan T2 (*hummocky* dan *swalley*) yang dipotong oleh bidang reaktifasi (RS/ R) (Gambar 5.A). Lapisan coquinanya memiliki ketebalan sangat tipis ($< 0,5$ cm) (Gambar 5.A dan B). Oleh karenanya, tidak terbentuk cetakan parit pada endapan ini. *Hummocky* bersudut landai muncul bersamaan yang disisipi oleh struktur *swalley* di tengahnya. Di atasnya muncul kantong batupasir berbutir medium, tidak berlapis (masif), kaya oksidasi besi, terpilah sedang, mengalami retakan-retakan. Kantong batupasir ini muncul di antara perselingan lapisan tipis (seperti kertas) batupasir menengah sampai sangat halus. Dengan kata lain struktur ini mencirikan fraksi kasar terperangkap dalam fraksi lebih halus. Jika memperhatikan lebih dekat lagi, batupasir ini mengisi struktur lekukan “*swalley*” (Gambar 5.C).

Retakan-retakan (*cracking*) pada batupasir kaya Fe ini dapat diakibatkan pada awalnya batupasir ini terjemur di bawah terik panas matahari. Kondisi ini menyebabkan terjadi pengurangan kadar air batupasirnya, sehingga terbentuklah retakan-retakan yang disebut “*sandcrack*”. Periode selanjutnya bongkahan batupasir kasar ini tertransport dan mengendap ulang ke laut sebagai material *allochthon* akibat badai menghantam wilayah pesisir.

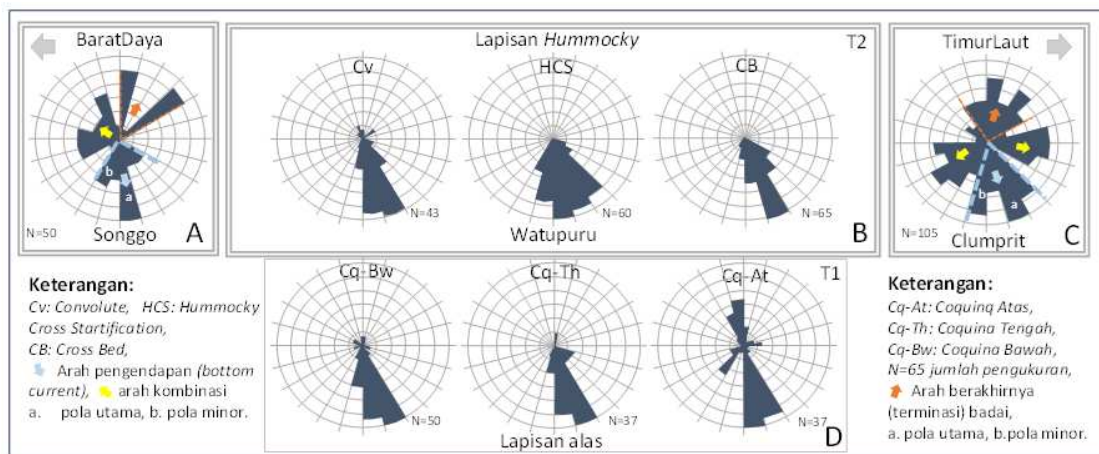


Gambar 5 A). Endapan katastrofik di Kali Songgo (ST1),
B). setelah diinterpretasi,

C). Kantong pasir dari struktur lentikuler mencirikan terperangkapnya fraksi kasar (batupasir kasar) dalam dominasi fraksi halus (batupasir halus).

Permukaan reaktifasi (RS) yang diamati dalam endapan tempestit Nanggulan hadir manakala terjadi perbedaan orientasi perlapisan. Arah arus purba yang diukur juga bersifat polimodal (berbagai arah, bertabrakan dan bercabang) pada diagram Rosetnya (Gambar 5.B). Hal ini dikarenakan selama pengendapan interval T2, ketika gelombang oskilasi badai menuju ke pantai maka di tengah perjalanannya akan bertemu dengan arus dasar (*bottom current*) yang bergerak berlawanan arah, sehingga menghadirkan arus kombinasi (Gambar 1). Arus kombinasi ini menyebabkan perbedaan orientasi perlapisan T2 atau berpola bergelombang atau undulasi (Gambar 5.B).

Pengukuran arus purba pada interval *hummocky* dan *swalley* (T2) menunjukkan arah utama pengendapan atau arus dasar (*bottom current*) N165-180°E (Gambar 6.A). Arah terminasi badai ke utara dan timurlaut, sedangkan arah arus kombinasi menuju ke baratlaut N 240-345°E (Gambar 6.A). Myrow *et al.* (2002) [9] menegaskan arus kombinasi bersifat modifikasi arus turbidit dengan badai.



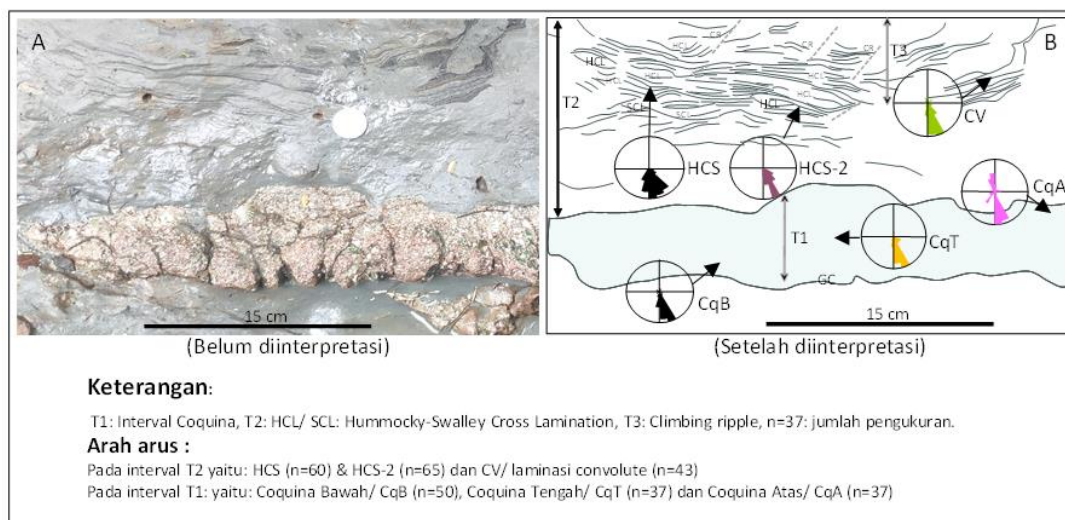
Gambar 6. Pengukuran arah arus pada interval T2 di: A. Kali Songgo (ST1), B. Watupuru (WJA) yang terdiri dari struktur *convolute* (Cv), *hummocky cross stratification* (HCS), *cross bed* (CB). C. Kali Clumprit-CBC (TimurLaut). D. Pengukuran interval alas T1 (*coquina*) Watupuru terdiri dari bagian atas (Cq-At), tengah (Cq-Th), bawah (Cq-Bw).

B. Tempestit Kali Watupuru (WJA)

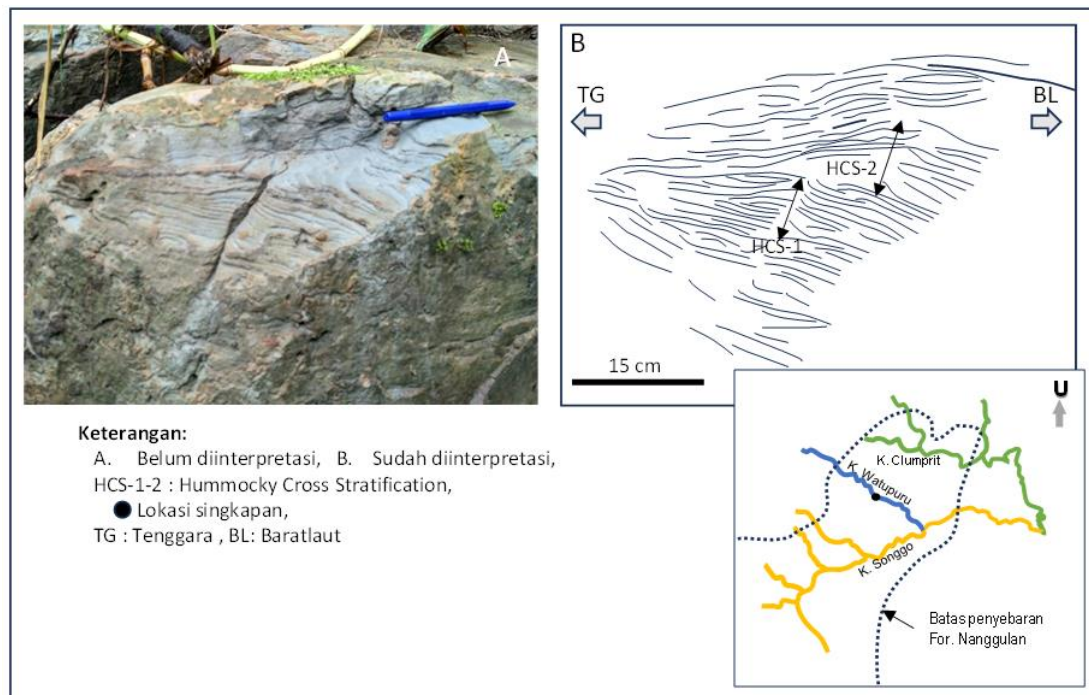
Endapan katastrofik di Kali Watupuru mencirikan penghalusan ke atas (*fining upward*), tersusun dari interval lapisan pecahan cangkang/ coquina (T1), kemudian perlapisan *hummocky* dan *swalley* (T2) dan ditutupi interval *current ripple* (T3). Keberadaan interval paralel horisontal (T4) dan lapisan lempung berfosil jejak (T5) tidak muncul, kemungkinan telah tererosi. Interval alas (T1) berasosiasi dengan remukan cangkang moluska setebal 5 sampai 10 cm, tersemen kuat oleh oksidasi besi, kemas tertutup, tertanam dalam matriks batupasir halus. Interval T2 mencerminkan laminasi batulempung *hummocky* dan *swalley* berwarna hitam. Interval berikutnya berasal dari perubahan gradasi interval laminasi lempung *hummocky* menjadi laminasi lempung *current ripple* (T3) (Gambar 7.A dan B).

Pengukuran arah arus purba pada penjabaran cangkang dalam interval coquina (T1) berarah tenggara-selatan. Arah ini mencerminkan arah longsoran interval dasar tempestit yang berfraksi kasar tergambar pada pola arus bawah dan tengah (Gambar 6.D). Namun pada bagian atas (Cq-At) terlihat pola bertolak belakang muncul. Hal ini mencirikan ada dua arah yaitu arus terminasi badai ke N 330-360°E dan arah pengendapan tempestit itu sendiri atau *bottom current* (Gambar 6.D)

Struktur perlapisan *hummocky* dan *convolute* pada interval T2 seragam menuju ke satu arah Utara-Tenggara (N150-N190°E). Di pihak lain, *hummocky* bertumpukan semakin maju ke arah baratlaut. Hal ini mencerminkan pergerakan arus oskilasi dalam tubuh air yang semakin berhenti ke daratan. Dalam hal ini posisi daratannya berada di baratlaut (Gambar 8.A,B).



Gambar 7. A). Endapan katastrofik K. Watupuru (WJA), B). setelah diinterpretasi.

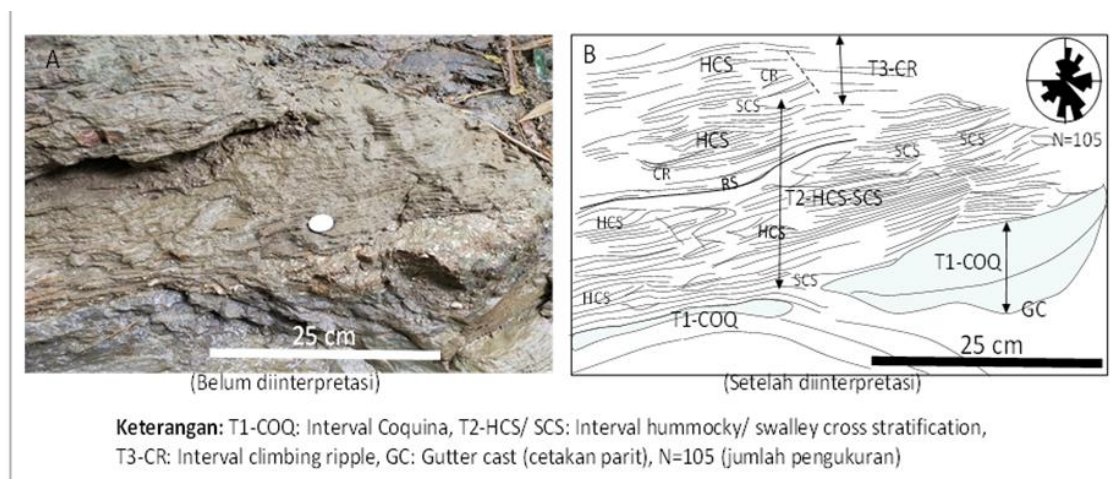


Gambar 8. A. Singkapan: A. Struktur *hummocky* pada interval T2 tempestit Watupuru (W JA), B. Setelah diinterpretasi. memperlihatkan gambaran saling menumpuk yang bermigrasi ke arah baratlaut,

C. Endapan Tempestit Clumprit (CBC)

Endapan tempestit Clumprit tersusun dari lapisan T1, T2 dan T3 saja, sedangkan lapisan T4 dan T5 telah tererosi. Lapisan alas (T1) menunjukkan bentukan cekung ke atas yang terisi oleh remukan cangkang (*coquina*), dinamakan cetakan parit/ *gutter cast*. Struktur ini terbentuk akibat pembebanan fraksi kasar bioklastik di atas sedimen lempung dasar laut (Gambar 9.A).

Arah pengendapan lapisan *hummocky* (T2) mencerminkan arah pengendapan (*bottom current*), arah terminasi badai/ gelombang dan arah arus kombinasi (Gambar 6.C). Arah pengendapan berada pada N135 -195°E (Selatan-Tenggara), sedangkan terminasi badai menuju ke arah N300°E sampai N60°E (Utara-Timurlaut), sedangkan arus kombinasi berada pada timur dan baratdaya. Permukaan reaktifasi (RS) dalam interval T2 Clumprit bersifat hampir horisontal (Gambar 9.B).



Gambar 9. A). Endapan katastrofik Kali Clumprit (CBC), B). Setelah diinterpretasi: dengan arus purba bercabang dan bertolak belakang

Arus kombinasi mencerminkan dua arah utama mengontrol dari efek oskilasi dalam tubuh air akibat badai dan aliran pengendapan yang dipicu oleh perbedaan densitas (Myrow *et al.*, 2002) [9]. Secara sederhana, arah pengendapan dengan garis pantai purba membentuk sudut ortogonal atau tegak lurus

(Leckie & Krystinik, 1989) [11]. Namun, wilayah paparan yang berkedalaman sama (isobath) tidak selalu menghadirkan orientasi garis pantai yang ortogonal.

Hal ini disebabkan selama proses transportasi sedimen bawah laut (*subaqueous*) dapat pula menunjukkan pola berkelok (Sneddewn & Swift, 1991) [12]. Jika sedimen yang diangkut terkena badai maka pola arah arusnya akan lebih variatif. Berdasarkan hal ini, arah pengendapan lapisan *hummocky* (T2) dari tempestit Formasi Nanggulan menunjukkan variasi yang terdiri dari arah pengendapan (*bottom current*), arah terminasi badai, dan arah arus kombinasi. Arah terminasi badai ini sangat memungkinkan searah dengan arus bolak-balik pasang-surut yang juga mengontrol pengendapan tempestit Formasi Nanggulan. Peneliti sebelumnya telah menyatakan (Grundvag *et al.*, 2021) [5] bahwa migrasi pola *hummocky* yang bertumpuk mencirikan peran gelombang badai berasosiasi pula dengan arus pasang-surut.

IV. KESIMPULAN

1. Pola arus yang dihasilkan dari endapan tempestit Nanggulan tergambarkan pada interval T2 berasal dari struktur *hummocky*, *swalley*, *convolute* dan perlapisan bersilang (*cross bed*).
2. Arah arus purba menggambarkan 3 arah yaitu arah pengendapan (*bottom current*) ke arah selatan-tenggara, kemudian arah terminasi badai/ gelombang ke arah baratlaut sampai utara, dan arah arus kombinasi (timulaut dan baratdaya). Maka lapisan *hummocky* akibat badai (T2) akan menghadirkan pola polimodal yang bertolak-belakang dan bercabang berasosiasi dengan permukaan reaktifasi.
3. Struktur *hummocky* yang bertumpuk menunjukkan berhentinya gelombang oskilasi badai menuju ke baratlaut sampai utara ketika menemui daratan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tak terhingga kepada institusi (ITNY) yang telah mendanai riset ini (S.K. no. 473/ITNY/ST-Dsn/IV/2022). Demikian pula atas bantuan yang diberikan oleh para mahasiswa selama mengambil data lapangan, penulis ucapkan terima kasih banyak dan semoga diberikan ganjaran lebih oleh Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Myrow, L. Tice, B. Archuleta, B. Clark, J. F. Taylor, and R. L. Ripperdan, "Flat-Pebble Conglomerate: Its Multiple Origins and Relationship to Metre-Scale Depositional Cycles," *Sedimentology*, vol. 51, no. 5, pp. 973-996, 2004.
- [2] H.F.L. William, "Shell Bed Tempestites in the Chenier Plain of Louisiana: late Holocene example and modern analogue," *Journal of Quaternary Science*, vol. 26, no. 2, pp. 199-206, 2011.
- [3] G. Einsele, "Marine Depositional Events Controlled by Sediment Supply and Sea-Level Changes," *Geologische Rundschau*, vol. 82, no. 2, pp. 173-184, 1993.
- [4] L. Pomar, J. M. Molina, P. A. Ruiz-Ortiz, and J. A. Vera, "Storms in the Deep: Tempestite-and Beach-like Deposits in Pelagic Sequences (Jurassic, Subbetic, South of Spain)," *Marine and Petroleum Geology*, vol. 107, pp. 365-381, 2019.
- [5] S. A. Grundvåg, M. E. Jelby, S. Olaussen, and K. K. Śliwińska, "The Role of Shelf Morphology on Storm-Bed Variability and Stratigraphic Architecture, Lower Cretaceous, Svalbard," *Sedimentology*, vol. 68, no. 1, pp. 196-237, 2021.
- [6] N. A. Franco, M. A. P. Peña, R. S. Silva, C. M. Ojeda, G. V. M. Edith, R. R. Ramiro, and V. M. C. Valois, "First Report of Tempestites in the Lower Tithonian Subsurface in Southern Mexico: Sedimentary Interpretation and Exploration Perspectives," *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, vol. 61, pp. 523-533, 2011.
- [7] B. Legler, G. J. Hampson, C. A. L. Jackson, H. D. Johnson, B. Y. G. Massart, M. Sarginson, and R. Ravnås, "Facies Relationships and Stratigraphic Architecture of Distal, Mixed Tide- and Wave-Influenced Deltaic Deposits: Lower Sego Sandstone, Western Colorado, U.S.A.," *Journal of Sedimentary Research*, vol. 84, no. 8, pp. 605-625, 2014.
- [8] S. Nuraini, I. Syafri, B. Muljana, and A. Sudradjat, "Ichnofossil of Nanggulan Deltaic System: Case Study of Watupuru Cross Section in Kulon Progo, Central Java, Indonesia," *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 11, no. 2, pp. 295-312, 2024.
- [9] P. M. Myrow, W. Fischer, and J. W. Goodge, "Wave-Modified Turbidites: Combined-Flow Shoreline and Shelf Deposits, Cambrian, Antarctica," *Journal of Sedimentary research*, vol. 72, no. 5, pp. 641-656, 2002.

- [10] W. Rahardjo, Sukandarrumidi, and H. M. D. Rosidi, Peta Geologi Yogyakarta, Jawa, skala 1:100,000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. 1995.
- [11] D. A. Leckie and L. F. Krystinik, "Is there Evidence for Geostrophic Currents Preserved in the Sedimentary Record of Inner to Middle-Shelf Deposits," *Journal of Sedimentary Research*, vol. 59, no. 5, pp. 862-870, 1989.
- [12] J. W. Snedden and D. J. Swift, "Is There Evidence for Geostrophic Currents, Preserved in the Sedimentary Record of Inner-to Middle-shelf Deposits", *Discussion, Journal of Sedimentary Research*, vol. 61, no. 1, 1991.



©2025. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).