



Analisis Kondisi Arah Pergerakan Sedimen Berdasarkan Arus di Zona Litoral Perairan Teluk Ulee Lheue, Kabupaten Aceh Besar

Arisna Fauzia^{a,*}, Syamsidik^b, Teuku Muhammad Rasyif^c

^aProgram Studi Teknik Sipil, Universitas Samudra, Meurandeh, Kota Langsa, Aceh, Indonesia

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Kota Banda Aceh, Aceh, Indonesia

^cJurusan Teknik Sipil, Fakultas Perencanaan Infrastruktur, Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, 12220, Indonesia

*Corresponding author, email address: arisnafauzia@unsam.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 22 June 2023

Accepted 18 September 2023

Online 30 September 2023

Keywords:

Current movement

Littoral zone

Dominant current

Ulee Lheue Bay

ABSTRACT

Indonesia is a maritime country that most of its territory consists of tens of thousands of islands with a very wide coastal area. One of the zones of the coastal area is the littoral zone. The littoral zone also a place for changes in the shape of the coastal profile. Changes in the coastal profile such as sedimentation and accretion processes are affected by waves and currents along the coast. The location of this research was conducted in Ulee Lheue Bay, Aceh Besar District. Currently, the degree of influence of the current direction on morphological changes around the coast is unknown in Ulee Lheue Bay. The research methodology used includes: current analysis, wave analysis and sediment transport. To analyze the data, four measuring devices were used, namely a water level recorder to measure the water level, a current meter to measure current speed, and a turbidity meter to measure water turbidity. The data obtained from these measurements were analyzed using the Fortran programming language through the DFT (Discrete Fourier Transform) equation. The type of filter used to process current and wave data in this study is the HPF (High Pass Filter) method. The results of the dominant current shows the dominant current movement at each observation point located in an east-west direction that is more dominant than the north-south current direction. Then, The angle of movement of north-south and east-west currents appears to still be influenced by tidal currents, so the data obtained varies.

©2023 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Sebagaimana diketahui lebar suatu pantai selalu mengalami perubahan bentuknya sedemikian rupa sehingga relatif dinamis selama periode rentang waktu dimulai dari hari hingga dekade (Rocha dkk., 2023). Hal ini terjadi karena profil pantai menjadi tempat pertemuan pengaruh dua daerah yang berbeda (Baztan dkk., 2015; Dong dkk., 2023) antara pertemuan wilayah daratan dan lautan. Pertemuan ini merupakan pengaruh yang berasal dari daerah daratan yaitu pengaruh kondisi hidro-oseanografi seperti pasang surut, angin laut, dan arus laut. Sedangkan pengaruh yang berasal dari lautan mencakup bagian laut dipengaruhi oleh proses alam seperti sedimentasi dan erosi pantai. Bentuk profil pantai juga merespon segala bentuk transportasi dan pertukaran sedimen dengan dipengaruhi oleh pergerakan sedimen litoral yang teletak di daerah *nearshore zone* serta disebabkan oleh gelombang dan arus sepanjang pantai. Kombinasi angin, gelombang, arus, pasang surut, sedimen, dan faktor lainnya dapat menyebabkan proses litoral yang berlangsung di pantai (Samarasekara dkk., 2022), misalnya di daerah dengan kecepatan arus rendah,

sedimen yang berasal dari proses dinamis pantai mengendap dan terakumulasi membentuk gundukan pasir di dasar pantai.

Zona litoral (*littoral cell*) merupakan wilayah pantai yang dinamis dan terletak antara batas wilayah pasang naik dan pasang surut air laut. Lingkungan ini memiliki geografis yang terbatas dan menjadi tempat siklus sedimentasi yang berasal dari berbagai sumber sedimen ke garis pantai, jalur transportasi sedimen, serta proses erosi pantai yang mengarah ke laut (Inman, 2003). Ketika terjadi arus pantai dan gelombang pecah di kawasan litoral, maka perlahan proses dinamis pantai ini dapat ditemukan di sekitar pantai. Di Pantai Timur Malaysia, kawasan litoral yang mengalami erosi akibat pengaruh monsoon musiman memberikan dampak terhadap ekosistem di sekitarnya (Ariffin dkk., 2023).

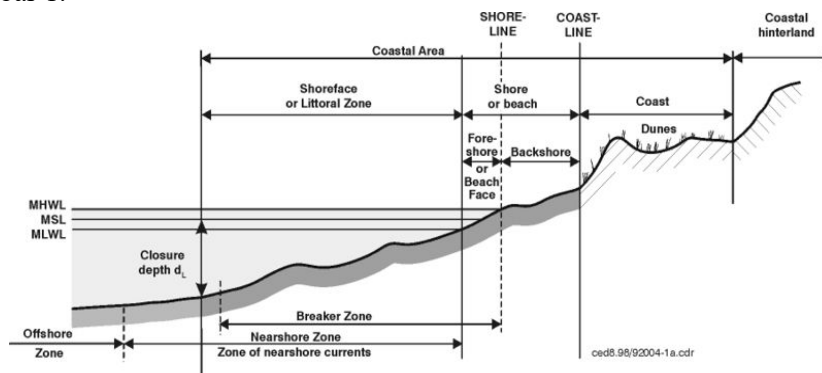
Tsunami Aceh Tahun 2004 memberikan dampak yang dahsyat melanda garis pantai yang terdapat di sekitar perairan Aceh, termasuk pantai barat Sumatera (Monecke dkk., 2017) dan perairan utara Sumatera (Tursina dkk., 2021). Pada pantai yang terkena tsunami, erosi garis pantai dapat ditemukan secara masif. Degradasi lahan yang terjadi di Pantai utara Sumatera akibat Tsunami Aceh 2004 mempengaruhi area lahan persawahan hingga menjadi rawa payau dan memiliki tingkat pemulihan yang tinggi (Daly dkk., 2017). Pemulihan pantai tersebut juga terindikasi mengalami peningkatan lebar pantai tepat di depan pantai dan disertai pengendapan sedimen (Kumar dkk., 2008). Seiring dengan perubahan waktu, garis pantai yang ditemukan di sekitar Teluk Ulee Lheue, Kabupaten Aceh Besar kembali mengalami akresi (Syamsidik dkk., 2015). Arah transportasi sedimen dan batas-batas sel sedimen yang dilakukan pemetaan akan membantu pengelolaan titik-titik erosi (Reef dkk., 2023).

Beberapa negara seperti Australia telah melakukan pendekatan melalui studi pola pergerakan sedimen yang sudah diterapkan sebagai awal manajemen pengelolaan sistem pesisir yang baik dengan mempertimbangkan perilaku garis pantai (Thom dkk., 2018). Di pesisir Pulau Sumatera belum dipastikan lebih lanjut terkait adanya akresi yang diakibatkan oleh proses pantai yang terjadi. Perubahan garis pantai ini umumnya terjadi disebabkan oleh pengaruh kondisi hidro-oseanografi tersebut. Salah satu komponennya adalah arus laut yang diindikasikan dapat mengangkut sedimen di sepanjang pantai. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi arah dan sudut arus pergerakan sedimen yang terjadi di kawasan litoral pantai sebagai kontribusinya dalam perubahan garis pantai di Teluk Ulee Lheue, Aceh Besar.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pantai dan Zona Litoral

Wilayah Laut yang berada di antara garis pasang tertinggi dan garis pasang surut terendah air laut pada sisi pantai sampai beberapa jauh dari *breaker zone* merupakan kawasan zona litoral. *Breaker zone* adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut mencapai ketidakstabilan dan akhirnya pecah. Daerah gelombang pecah ini memiliki karakteristik nilai amplitudo tinggi yang dipengaruhi oleh akumulasi jumlah energi gelombang dalam bentuk turbulensi energi kinetik (Ondara dan Husrin, 2017). Profil pantai dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil pantai (US Army Coastal Engineering Research Center, 1973)

Zona litoral merupakan kawasan pantai dimana terjadinya proses *littoral transport* dan *littoral drift*. Proses *littoral sedimentation* (Marchena dkk., 2023) dibedakan menjadi dua macam yaitu angkutan sepanjang pantai (*longshore transport*) dan angkutan sedimen tegak lurus pantai (*cross shore sediment transport*). Proses *littoral drift* merupakan proses sedimentasi non-kohefif di sepanjang garis pantai yang disebabkan oleh arah gelombang pecah dan arus sejajar pantai.

2.2 Arus Laut

Arus adalah pergerakan kontinyu massa air secara horizontal yang disebabkan adanya perubahan ketinggian permukaan laut. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhi arus. Gaya yang dapat menyebabkan terjadinya arus yaitu: pasang surut, gravitasi, gesekan angin, tekanan atmosfer, Coriolis, perbedaan densitas. Berbagai macam gaya tersebut bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air adalah vektor yang mempunyai besaran kecepatan dan arah. Salah satu yang menggerakkan partikel sedimen adalah arus. Di daerah muara Teluk Montevideo pantai Amerika Selatan, arus mendorong *suspended sediment* ke dalam pola aliran sehingga terjadinya pergerakan (Santoro dkk., 2017). Partikel sedimen yang digerakkan oleh arus ini dapat menyebabkan perubahan pada morfologi dasar pantai yaitu terjadi pengendapan (*deposition*) dan erosi (*erosion*).

Bentuk morfologis pantai merupakan hasil dari bolak-balik arus dominan, *cross-shore fluks sediment*, serta dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamik (Dahmani dkk., 2021). Terutama di daerah tempat laju *longshore sediment* sering terjadi erosi (Shawler dkk., 2021). Erosi tersebut ditandai dengan tergerusnya sedimen dasar perairan pantai menjadi sedimen tersuspensi. Partikel sedimen di permukaan dasar tererosi jika tegangan geser dasar melebihi tegangan geser kritis erosi. Hal ini tergantung pada karakteristik material dasar (komposisi mineral, material organik, salinitas, densitas, dan lain-lain) atau struktur dasar (Rijn, 1993).

3. METODE PENELITIAN

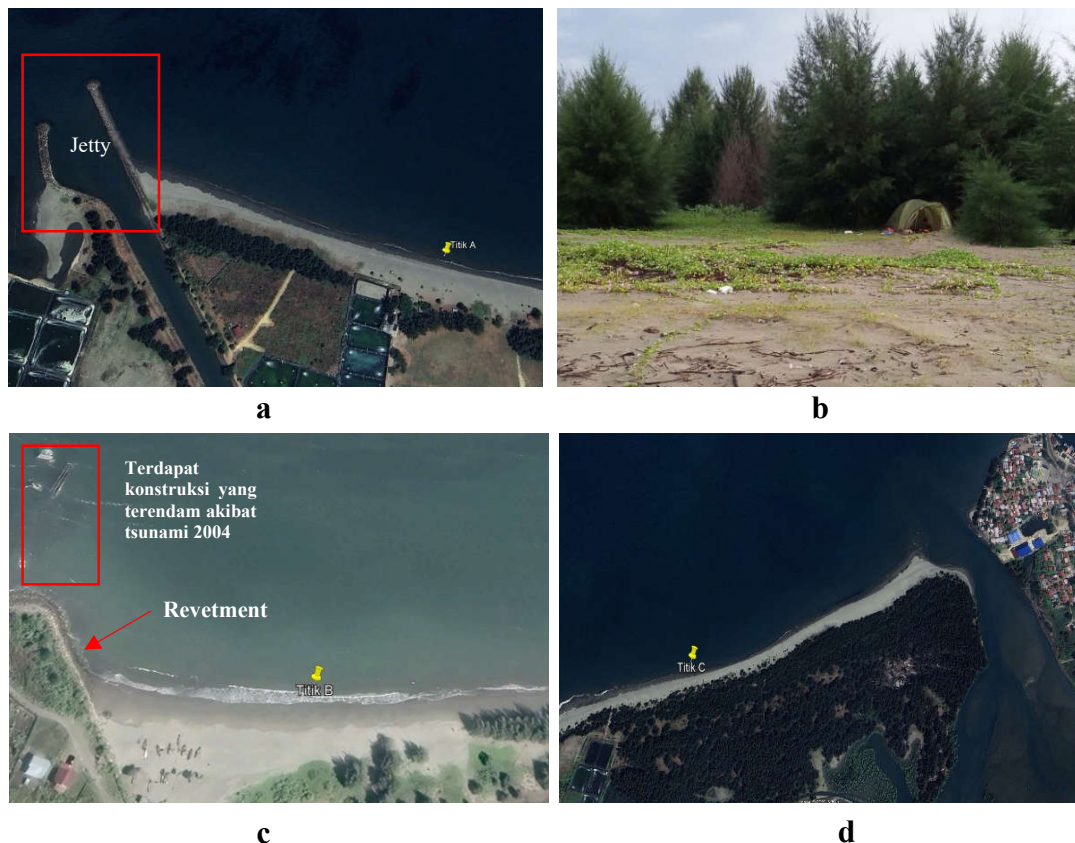
3.1 Lokasi Studi

Lokasi studi dipilih pada tiga titik pengamatan pada kawasan perairan Teluk Ulee Lheue yang terletak di ujung Pulau Sumatera, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar. Pantai ini dapat ditempuh melalui darat sekitar 25 menit dari Pelabuhan Ulee Lheue. Pantai ini menjadi salah satu pantai yang mengalami proses pemulihan yang signifikan setelah Tsunami Samudra Hindia Tahun 2004 (Syamsidik dkk., 2018). Titik A terletak di $5^{\circ} 32' 54,4''$ LU dan $95^{\circ} 15' 27,3''$ BT, Titik B terletak di $5^{\circ} 32' 55,8''$ LU dan $95^{\circ} 16' 6,5''$ BT, dan Titik C terletak di $5^{\circ} 33' 22,03''$ LU dan $95^{\circ} 15' 58,9''$ BT. Ketiga titik pengamatan tersebut yaitu titik A, B, dan C yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Secara letak geologinya, di Titik A merupakan Pantai Lamteungoh dengan memiliki mulut *inlet jetty* dari TPI (Tempat Pelelangan Ikan) Lamteungoh. Sedimentasi terlihat mengisi sisi kanan jetty dan di sebelah sisi kiri jetty terindikasi akresi. Titik B terletak di daerah Pantai Lam Awe dengan karakteristik pantai yang memiliki daerah daratan tidak terdapat tutupan lahan, hanya sekitarnya beberapa pepohonan pinus. Sedangkan di Titik C yaitu di daerah Pantai Baroe memiliki tutupan lahan dengan daratan yang terlindungi oleh sebagian besar pepohonan pinus dan rawa payau dengan wilayah yang sebagian kecil tergenang. Lebih detail kondisi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi geografi lokasi penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam studi ini yaitu pendekatan observasi terhadap data arus di zona litoral Perairan Teluk Ulee Lheue. Alat yang digunakan dalam pencatatan data yaitu *current meter* Jenis *infinity EM JFE Advantech*. Alat tersebut dikaitkan pada sebuah *frame* yang telah didesain secara khusus sesuai dengan lokasi penempatan yaitu zona litoral. *Frame* atau rangka dapat dilihat pada Gambar 4. Rangka ini diberikan pembebanan seperti batu yang telah diikat dengan tali dan diberikan pelampung sebagai penanda. Batu tersebut berfungsi sebagai menahan gaya yang diberikan oleh gelombang pecah yang ada di sekitar zona litoral. Data-data didapatkan secara langsung dengan mengumpulkan data berkala (*time series*) sehingga diketahui data yang diperoleh dari suatu keadaan dengan waktu aktual.

Data yang diperoleh dari alat *current meter* (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4) adalah data *time series* dengan interval waktu yang dapat ditentukan oleh pengguna. Sehingga di dalam penelitian ini telah ditentukan dengan jarak waktu setiap 5 menit sekali dengan arti 1 menit pembacaan dan 4 menit istirahat. Dalam pembacaan yang terekam oleh alat didapatkan dengan dua komponen arus Vns (Utara-Selatan) dan Vew (Timur-Barat).



Gambar 4. Kondisi alat penelitian *current meter* yang diikatkan pada sebuah *frame*

3.3 Analisis Data

Agar mempermudah pembacaan data yang banyak, selanjutnya data yang didapatkan dianalisis menggunakan Bahasa Pemrograman Fortran. Untuk data Arus pasang surut digunakan komponen arus V_m (magnitudo), komponen arus V_{ns} (Utara-Selatan) dan V_{ew} (Timur-Barat) seperti yang ditampilkan pada persamaan (1) sampai (4).

Sebagai resultan arus yang dibaca oleh komponen alat, $\overrightarrow{Ru}$, maka:

$$\overrightarrow{Ru} = V_{ew1}\hat{i} + V_{ns1}\hat{j} \dots \dots \dots (1)$$

Sebagai arah yang dibaca oleh komponen alat, $\overrightarrow{Rd}$, maka:

$$\overrightarrow{Rd} = V_{ew2}\hat{i} + V_{ns2}\hat{j} \dots \dots \dots (2)$$

Sehingga, Resultan Total menjadi:

$$\overrightarrow{RT} = \overrightarrow{Ru} + \overrightarrow{Rd} \dots \dots \dots (3)$$

Maka, dari persamaan 3 untuk Arus magnitudo menjadi persamaan (4)

$$V_m = \sqrt{(V_{ns})^2 + (V_{ew})^2} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

V_m = Arus Magnitudo (cm/d);

V_{ns} = Arus Utara-Selatan (cm/d);

V_{ew} = Arus Timur-Barat (cm/d).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

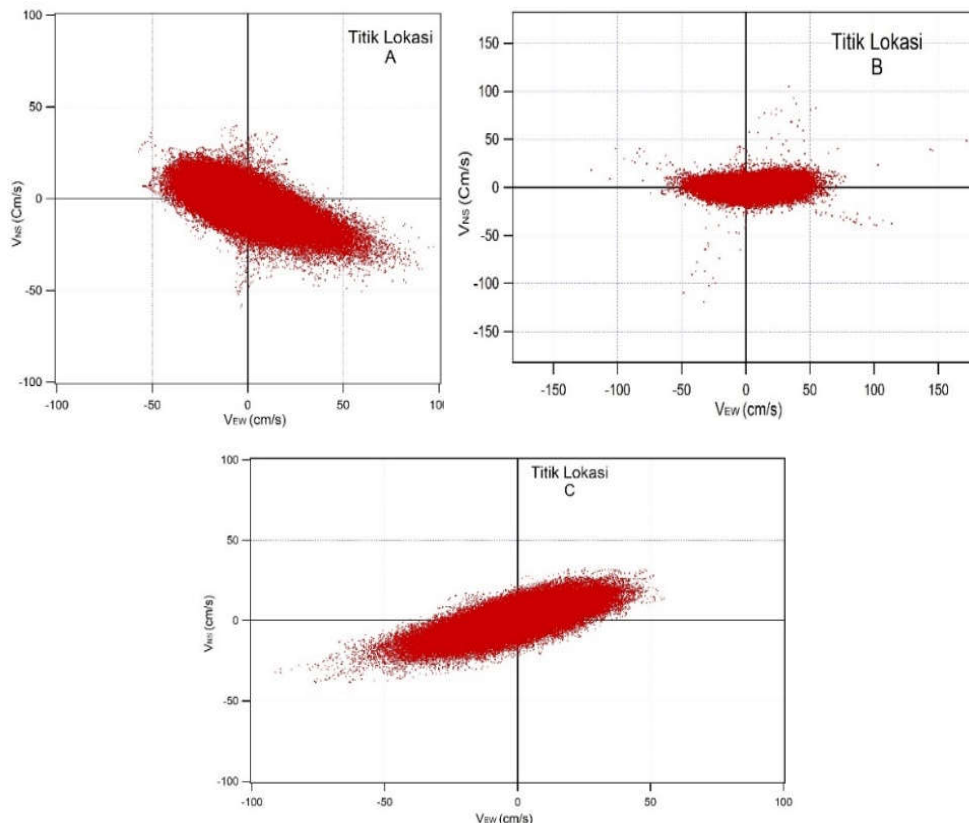
4.1 Arus vector north-south dan east-west

Arus vektor merupakan besarnya kecepatan arus yang memiliki nilai arah. Pembacaan arus vektor oleh alat *infinity EM JFE (currentmeter)* terdiri atas dua, yaitu arus arah utara-selatan (V_{ns}) dan arus arah timur-barat (V_{ew}). Berdasarkan data yang telah dirata-ratakan sesuai dengan interval *burst time*, kondisi arus vektor *north-south* dan *east-west* pada masing-masing titik ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Arus Vektor *North-South* dan *East-West* maksimum di ketiga titik lokasi

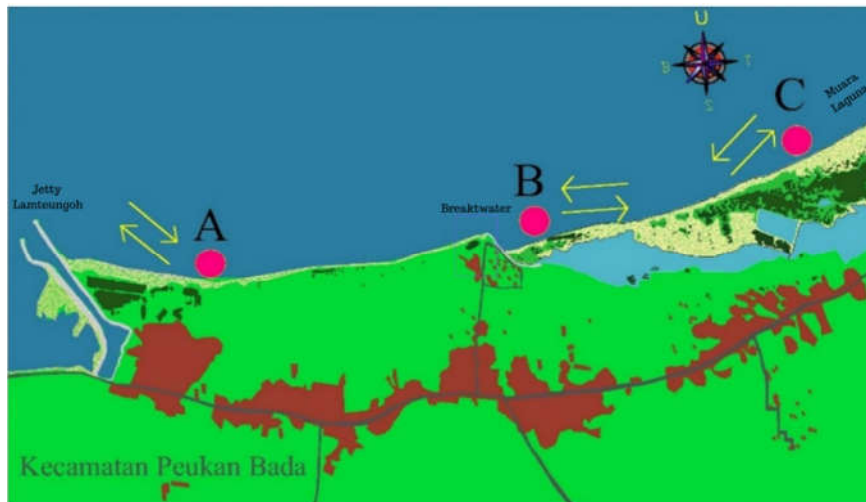
Arus	Kondisi	Titik A (cm/d)	Titik B (cm/d)	Titik C (cm/d)
<i>North - South</i>	Arus Maksimum	15,845	4,791	7,654
<i>East - West</i>		6,012	3,266	7,039

Untuk elips arus dominan pada masing-masing titik, digunakan komponen kecepatan arus dari kedua arus vektor yaitu arus arah utara-selatan dan arus arah timur-barat digambarkan ke dalam grafik. Elips arus dominan tersebut menunjukkan pergerakan arus pada arah timur-barat lebih dominan daripada arah arus utara-selatan. Jika dibandingkan dengan elips arus laut Pesisir Pantai Utara Jawa Tengah terlihat arus maksimum berada mencapai 30 cm/d, sehingga terlihat perbedaan letak laut juga menentukan perbedaan kecepatan arus laut (Setyanto dkk., 2022).



Gambar 5. Grafik elips arus dominan di Titik A (Pantai Lamteungoh), Titik B (Pantai Lam Awe), dan Titik C (Pantai Baroe)

Pemodelan hasil fortran yang ditampilkan pada Gambar 5, menghasilkan pergerakan sedimen melalui elips arus dominan yang membantu pola sedimentasi litoral dan sel akresi di sepanjang pantai. Berdasarkan dari grafik menampilkan elips arus dominan pada ketiga titik dapat diambil kesimpulan bahwa elips arus dominan di Titik A Pantai Lamteungoh adalah pada sumbu Barat Laut (BL) – Tenggara (TG), di sekitar titik A ini juga memiliki *inlet jetty* Lamteungoh sebagai lokasi TPI (Tempat Pelelangan Ikan) untuk warga sekitar. Di titik tersebut, berdasarkan arah pergerakan arus dominan yang terjadi cenderung memiliki pergerakan sesuai dengan posisi pantai yang terdapat *jetty*. Inlet muara pantai di Teluk Bengal, India mempengaruhi arah aliran yang berfungsi sebagai sel litoral (Mandal dan Chaudhuri, 2023). Untuk elips arus dominan Titik B Pantai Lam Awe adalah pada sumbu Timur (T) - Barat (B), sedangkan elips arus dominan Titik C Pantai Baroe pada sumbu Barat Daya (BD) - Timur Laut (TL). Pergerakan elips arus dominan berdasarkan letak topografi masing-masing lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 6.



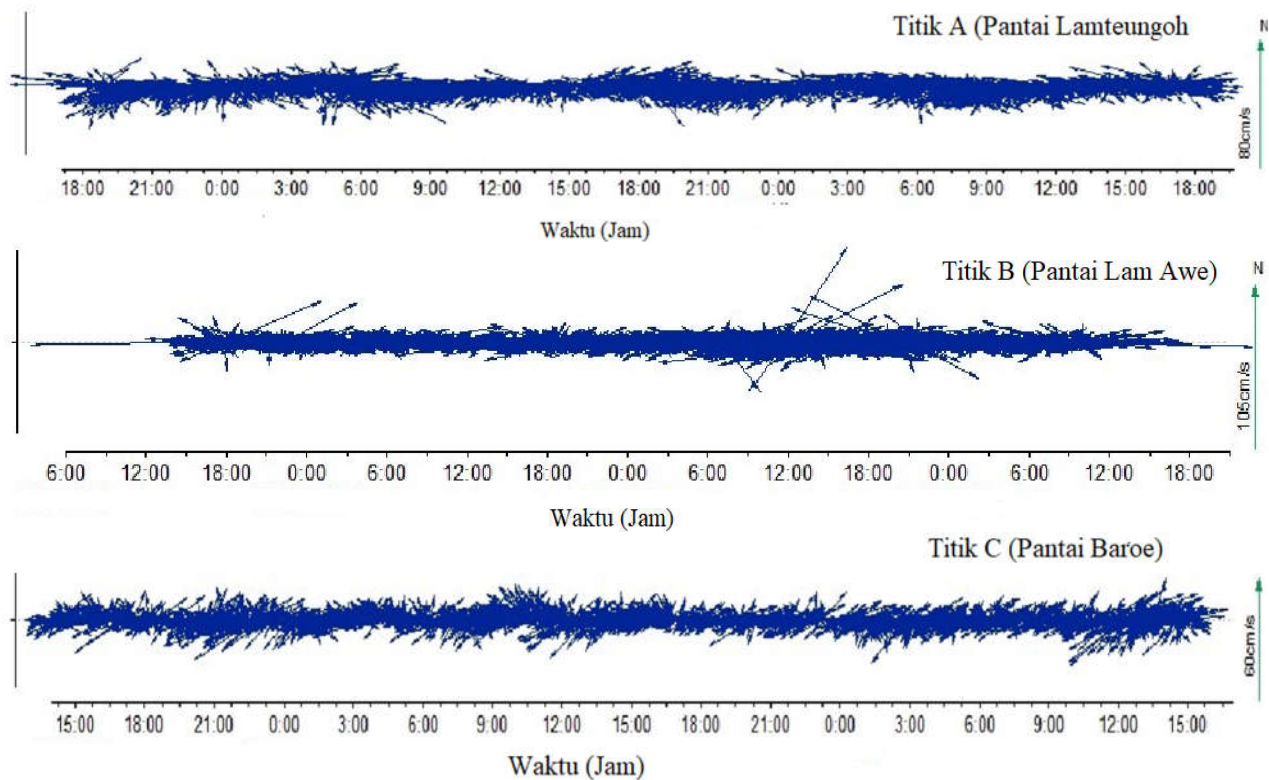
Gambar 6. Representasi arus dominan yang terjadi di ketiga titik pengamatan

Berdasarkan arus yang ada di Gambar 6, letak spasial perairan Teluk Ulee Lheue untuk elips arus dominan pada Titik A dengan arah Barat Laut – Tenggara. Di sebelah barat Titik A terdapat *jetty* Lamteungoh diperkirakan menjadi sebab pengaruh untuk pergerakan arus dominan yang terjadi pada wilayah pantai tersebut. Titik B terlihat pada peta menunjukkan pergerakan arus di perairan Lam Awe dengan arah Timur – Barat. Di Titik B ini terdapat *revetment* yang melindungi pantai (sekitar 125 meter dari lokasi penelitian) dan juga terdapat konstruksi yang terendam setelah peristiwa Tsunami Tahun 2004, sehingga arah pergerakan arus dominan menjadi stabil akibat adanya pengaruh bangunan tersebut. Sedangkan untuk Titik C menunjukkan pergerakan arus dengan arah Barat Daya – Timur Laut. Hal ini diperkirakan dikarenakan di sebelah Timur Titik C terdapat muara laguna Teluk Ulee Lheue.

Kejadian hidro-oseanografi ini terutama pergerakan arus menjadi salah satu sebab akibat berpindahnya sedimen (*sediment transport*) di suatu lokasi. Di beberapa daerah yang memiliki letak geografis dekat dengan muara mengalami pengendapan tertinggi dengan wilayah yang luas dikarenakan oleh arus yang dibawa dari arah muara (Dwinanto dkk., 2017). Jika di lokasi memiliki pemecah gelombang atau *jetty*, maka pola arus mengalami gesekan dasar dan berubah mengikuti arah dari konstruksi laut tersebut. Oleh karena itu, diperkirakan pergerakan arus laut yang berada di lokasi Teluk Ulee Lheue menjadi pemicu proses transportasi sedimen di sekitar pantai.

4.2 Sudut Pergerakan Arus *vector north-south* dan *east-west*

Sudut arus vektor *north-south* dan *east-west* adalah arah yang dihasilkan dari vektor resultan *up-rush* dan resultan *down-rush*. Sudut arus (γ) ini menunjukkan arah laju arus sedimen melayang yang terbentuk dari besaran resultan yang diperoleh. Teluk Ulee Lheue merupakan pantai yang menghadap ke arah utara, sehingga arus vektor *north* bernilai positif sedangkan arus vektor *south* bernilai negatif. Data arus vektor *north* maupun arus vektor *south* dirata-ratakan sehingga diperoleh nilai resultan *up-rush* dan resultan *down-rush*. Data yang digunakan bukan data yang telah dirata-ratakan per *burst time*, tetapi data arus asli yang dilihat nilai negatif dan positif sebagai arah. Nilai kedua resultan *up-rush* dan resultan *down-rush* dicari besaran resultan totalnya. Nilai sudut di peroleh dari aturan sinus yang berlaku pada kedua vektor resultan *up-rush* dan resultan *down-rush*.



Gambar 7. Sudut yang terbentuk di Titik A (Pantai Lamteungoh), Titik B (Pantai Lam Awe), dan Titik C (Pantai Baroe)

Gambar 7 di atas menjelaskan grafik yang berisi data sudut arus Vektor North-South dan East-West dan kecepatannya berdasarkan waktu pengamatan. Sudut γ merupakan sudut *sediment littoral transport* yang menggambarkan arah datangnya arus yang diperoleh dari masing-masing arus vektor *north-south* dan *east-west*. Sudut arus maksimum pada masing-masing titik yaitu: Titik A sebesar $89,945^\circ$, Titik B sebesar $89,957^\circ$ dan Titik C sebesar $89,838^\circ$. Dari hasil pengolahan data sudut arus menunjukkan pergerakan arus di ketiga lokasi cenderung memiliki arah bolak-balik yang hampir menyerupai di semua titik. Perbedaannya terletak di nilai kecepatan arus akibat massa air dari air laut.

Arus pasang surut pada grafik juga masih mempengaruhi pada sudut yang terbentuk terlihat pada daerah yang terletak dekat muara. Kecepatan arus vektor utara-selatan dan timur-barat di lokasi A dan C dengan maksimum masing-masing yaitu $0,8 \text{ m/s}$ dan $0,6 \text{ m/s}$. Sedangkan di lokasi B memiliki kecepatan arus utara-selatan dan timur-barat yaitu berkisar $1,06 \text{ m/s}$. Oleh karena itu, jika lokasi yang dekat dengan aliran massa air di muara dan mulut *jetty*, maka pertemuan dua massa air akibat arus pasang surut dapat menjadi salah satu pengaruhnya. Sedangkan kondisi pantai yang memiliki penghalang di sekitarnya akan memberikan pengaruh untuk kecepatan arusnya. Hal ini juga terjadi di perairan muara banyuasin didominasi oleh arus pasang surut dengan lokasi dekat dengan muara (Simatupang dkk., 2016).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis kondisi arus yang ditampilkan dalam *scatter plots* menunjukkan bahwa garis pantai memiliki sifat yang dinamis yang dipengaruhi oleh komponen hidro-oseanografi. Arus yang berada di kawasan litoral atau di daerah sepanjang pantai ini memberikan implikasi terhadap peluang transport sedimen. Dari tiga lokasi penelitian dengan memiliki geografis daratan yang berbeda, terlihat daerah yang dekat dengan muara laguna cenderung bergerak ke arah barat-timur dari daratan di belakangnya.

Hasil arus dominan yang tersebar melalui visualisasi elips arus juga menunjukkan bahwa pergerakan arus dominan yang berada di setiap titik pengamatan terletak pada arah timur-barat lebih dominan daripada arah arus utara-selatan. Jika berdasarkan sudut sediment litoral, maka arah arus cenderung bergerak ke arah kanan dan kiri dari garis pantai. Sehingga, sedimen yang berada di sekitar lokasi Teluk Ulee Lheue memiliki pengaruh kecepatan arus dan sudut sedimen litoral. Arah pergerakan arus juga ditemukan bergerak sesuai dengan kondisi di pengamatan. Jika dekat dengan aliran massa air di muara, maka kecepatan arus utara-selatan dan timur-barat dipengaruhi oleh arus pasang surut.

Penelitian ini cukup bergantung dengan data yang didapatkan di lapangan. Oleh karena itu, disarankan untuk penelitian ke depannya diperlukan validasi data melalui simulasi numerik serta dikaitkan juga dengan perubahan spasial yang berbasis pada keruangan dan waktu untuk melihat sejauh mana pergerakan sedimen terhadap periode yang ditentukan. Untuk kegiatan di lapangan, ketika pengamatan di daerah litoral lebih mengontrol posisi alat agar selalu berdiri kokoh, dikarenakan posisi alat berada di kawasan litoral yang aliran airnya turbulen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada anggota Tim Coastal Research Group Universitas Syiah Kuala dalam membantu pengambilan data survei. Kami berterimakasih pula kepada Prof. Nasrul atas bimbingannya sebagai fasilitator dalam mereview naskah ini pada Kegiatan Penulisan Artikel Ilmiah Nasional Batch 1 Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariffin, H.E., Mathew, M.J., Roslee, A., Ismailuddin, A., Yun, L.S., Putra, A.B. 2023. A Multi-Hazards Coastal Vulnerability Index of the East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 84, 103484. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.103484>.
- Baztan, J., Chouinard, O., Jorgensen, B., Tett, P. 2015. *Introduction Coastal Zones: Solutions for the 21st Century*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802748-6.02001-5>.
- Dahmani, A.E.A., Mezouar, K., Cherif, Y.S., Sallaye, M. 2021. Coastal Processes and Nearshore Hydrodynamics under High Contrast Wave Exposure, Bateau-Cassé and Stamboul Coasts, Algiers Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 250, 107169. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2021.107169>.
- Daly, P., Halim, A., Hundlani, D., Ho, E., Mahdi, S. 2017. Rehabilitating Coastal Agriculture and Aquaculture after Inundation Events: Spatial Analysis of Livelihood Recovery in Post-Tsunami Aceh, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*. 142, 218–232.
- Dong, S.W., Ariffin E.F., Saengsupavanich, C., Rashid, M. A. M. 2023. Adaptation of Coastal Defence Structure as a Mechanism to Alleviate Coastal Erosion in Monsoon Dominated Coast of Peninsular Malaysia. *Journal of Environmental Management*. 333.
- Dwinanto, A.W., Purba, N.P., Harahap, S.A., Syamsudin, M.L. 2017. Pola Arus dan Transpor Sedimen Pada Kasus Pembentukan Tanah Timbul Pulau Puteri Kabupaten Karawang. *Jurnal Peikanan dan Kelautan*, VIII (2). 152-160.
- Inman, D.L. 2003. *Littoral Cells*. Coastal Morphology Group, Netherlands.
- Kumar, J.S., Naik, K.A., Ramanamurthy, M.V., Ilangoan, D., Gowthaman, R., B. K. Jena. 2008. Post-Tsunami Changes in the Littoral Environment along the Southeast Coast of India. *Journal of Environmental Management*. 89(1), 35–44. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2007.01.050>.
- Mandal, S., Chaudhuri, S. 2023. Identification of Littoral Cell and Its Impact on Shoreline Dynamics along the Purba Medinipur–Balasore Coastal Stretch, Bay of Bengal, India: A Numerical Modelling and Geospatial Study. *Regional Studies in Marine Science*. 57, 102740.

- Marchena, C.A.T., Flores R.P, Christopher M A. 2023. Impacts of Training Wall Construction on Littoral Sedimentation under Seasonal Flow Variability and Sea-Level Rise: A Case Study of the Magdalena River (Colombia). *Coastal Engineering*. 183, 104306.
- Monecke, K., Meilianda, E., Walstra, D.J. 2017. Postseismic Coastal Development in Aceh, Indonesia-Field Observations and Numerical Modeling. *Marine Geology*. 392, 94–104.
- Ondara, K., Husrin, S. 2017. Karakteristik Gelombang Pecah dan Analisis Transpor Sedimen Di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9(2). 585-596.
- Reef, R.E., Perry, P.V., Vanessa, N.L.W. 2023. A New Approach to Mapping Littoral Cells within a Tide-Dominated Embayment. *Marine Geology*. 461.
- Rijn, V.L.C. 1993. *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries, and Coastal Seas*. Aqua Publications.
- Rocha, C., Antunes, C., Catita, C. 2023. Coastal Indices to Assess Sea-Level Rise Impacts-A Brief Review of the Last Decade. *Ocean & Coastal Management*. 237.
- Samarasekara, R.S.M., Sahthy, M.M., Siriwardana, A.H.M.S., Siriwardana, H.P.A.M. 2022. Assessment of Wave Climate Change and Its Impact on Littoral Drift along the Kalutara and Kalpitiya Beaches in Sri Lanka. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*. 50(4).
- Santoro, P., Fossati, M., Pablo, T., Huybrechts, N., Bang, D.V.B, Piedra-Cueva, J.C.I. 2017. A Coupled Wave–Current–Sediment Transport Model for an Estuarine System: Application to the Río de La Plata and Montevideo Bay. *Applied Mathematical Modelling*. 52, 107–130.
- Setyanto, A., Setiady, D., Suherman, I.H. 2022. Analisis sebaran sedimen berdasarkan hubungan antara kecepatan arus dengan ukuran butir di perairan Pantai Sigandu Batang, Propinsi Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Kelautan*. 20(2).
- Shawler, J.L., Hein, C.J., Obara, C.A., Robbins, M.G., Huot, S. Fenster, M.S., 2021. The effect of coastal landform development on decadal-to millennial-scale longshore sediment fluxes: Evidence from the Holocene evolution of the central mid-Atlantic coast, USA. *Quaternary Science Reviews*. 267, p.107096.
- Simatupang, C.M., Surbakti, H., Agussalim, A. 2016. Analisis Data Arus Di Perairan Muara Sungai Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Maspari Journal*. 8(1), 15-24.
- Syamsidik, Fahmi, M., Fatimah, E., Fitrayansyah, A. 2018. Coastal Land Use Changes around the Ulee Lheue Bay of Aceh during the 10-Year 2004 Indian Ocean Tsunami Recovery Process. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 29, 24–36.
- Syamsidik, Iskandar, A., Rasyif, T.M. 2015. Progress of Coastal Line Rehabilitation after the Indian Ocean Tsunami around Banda Aceh Coasts. *Recovery from the Indian Ocean Tsunami: A Ten-Year Journey*. 175–189.
- Thom, B.G., Eliot, I., Eliot, M., Harvey, N., Rissik, D., Sharples, C., Short, A.D., Woodroffe, C.D. 2018. National Sediment Compartment Framework for Australian Coastal Management. *Ocean & Coastal Management*. 154, 103–120.
- Tursina, Syamsidik, Kato, S., Afifuddin, M. 2021. Coupling Sea-Level Rise with Tsunamis: Projected Adverse Impact of Future Tsunamis on Banda Aceh City, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 55.
- US Army Coastal Engineering Research Center. 1973. *Shore Protection Manual*. Volume 1.