

Pemetaan Batimetri Lantai Laut Cetek Delta Sungai Kelantan, Malaysia hingga Pelantar Benua, Laut China Selatan

(Bathymetric Mapping of Shallow Coastal Area of Sungai Kelantan Delta, Malaysia
onwards South China Sea Shelf)

NURUL AFIFAH MOHD RADZIR*, CHE AZIZ ALI & KAMAL ROSLAN MOHAMED

ABSTRAK

Pemetaan dengan menggunakan kaedah pantulan bunyi telah menemukan satu permukaan lantai laut yang unik dengan ciri morfologi yang pelbagai bermula dari kawasan pesisir laut cetek Delta Sungai Kelantan hingga ke pelantar benua Laut China Selatan. Morfologi lantai laut menunjukkan peningkatan sehingga 38 m ke arah pelantar benua. Empat rentasan lantai laut menunjukkan kemiringan yang kurang daripada 1° dengan nilai antara 0.05° dan 0.57°, menunjukkan penurunan yang sekata sehingga pelantar benua. Suatu tindakan mekanisme pencetus telah menyebabkan fenomena lompatan hidraulik berlaku dan membentuk ketakseragaman morfologi lantai laut dan menghasilkan satu lohong hitam sedalam 26 m dari lantai laut sekitarnya dan pembentukan satu beting pasir yang mempunyai ketinggian sehingga 8 m dari permukaan laut dengan keluasan sekitar 9 km². Penentuan fenomena yang terhasil dikukuhkan dengan penemuan empat kontur tertutup yang dikenal pasti sebagai kaviti kecil di tiga kawasan yang berbeza. Kesemua fitur dan perubahan morfologi yang berlaku di kawasan lantai laut ini terhasil daripada jatuhnya air dari mulut Sungai Kelantan yang berterusan dengan kadar kelajuan berbeza bergantung kepada pelepasan air dan musim monsun.

Kata kunci: Aliran super-kritikal; aliran tumpat; batimetri; delta Sungai Kelantan; lompatan hidraulik

ABSTRACT

Seafloor mapping using sound waves has found a unique landform sea floor with various morphological features vary from shallow coastal area of Sungai Kelantan delta onwards South China Sea shelf. The seafloor morphology was found increasingly to 38 m onwards sea shelf. The four cross sections of the ocean floor found gradient of less than 1° with the value between 0.05° and 0.57°, showing an uneven incline to the continental shelf. An action of a triggering mechanism causes the hydraulic jump phenomenon to affect the seafloor morphology, thus produce black holes as deep as 26 m from the seafloor and a sandbar with height of 8 m above sea level with an area of 9 km². The phenomenon recognition was confirmed by the four small closed contours known as small craters in the three different places. All the features and morphological changes in the seafloor were setting by the down drift of water from the mouth of Kelantan River continuously with different speed depending on river discharges and climate season.

Keywords: Bathymetric; density flow; hydraulic jump; Sungai Kelantan delta; super-critical flow

PENGENALAN

Sistem pemetaan lantai laut dengan menggunakan teknik pantulan bunyi kebiasaannya digunakan untuk menghasilkan peta kontur batimetri dasar laut. Penggunaan teknik pantulan bunyi secara konvensional sinonim dengan penyelidikan yang berskala kecil dan tidak memerlukan kos yang tinggi. Pemetaan morfologi lantai laut ini menjadi semakin penting dalam kajian geofizik kerana kegunaannya yang meluas dan intensif terutamanya dalam penghasilan morfologi dan pengimejan dasar laut dan telah berkembang dengan meluas sejak akhir-akhir ini. Keputusan daripada penghasilan dan pengimejan kontur batimetri dasar laut ini dapat membantu penyelidik untuk melihat morfologi dasar serta fitur-fitur geologi yang terbentuk di dasar laut, seterusnya mengembangkan pengetahuan mengenai

proses yang telah berlaku semasa pengangkutan dan pemendapan sedimen di kawasan kajian.

Beberapa kajian telah dijalankan di sepanjang Sungai Kelantan dan kompleks Delta Sungai Kelantan oleh beberapa penyelidik seperti Kamal Roslan et al. (1997), Koopsman (1972), Raj (1982), Wong (1981) dan Zakaria (1980, 1975, 1972a, 1972b). Kajian oleh penyelidik terdahulu banyak menumpukan kepada aspek sedimentologi dan geokimia di kawasan delta dan sepanjang pesisir pantai dan menyebabkan kurang maklumat penyelidikan terkini berkaitan dengan bentuk morfologi laut cetek Delta Sungai Kelantan sehingga pelantar benua Laut China Selatan. Justeru, kajian ini dijalankan bagi memenuhi maklumat penyelidikan di kawasan tersebut dengan menggunakan teknik geofizik

dalam menentukan bentuk muka bumi kawasan laut cetek hingga pelantar benua Laut China Selatan.

LUAHAN DAN ARUS KERUH

Pengaruh monsun timur-laut dan barat-daya menyebabkan perubahan penerimaan hujan yang melanda kawasan negeri sepanjang tahun. Taburan hujan adalah sangat tinggi dari bulan November sehingga bulan Disember dengan kadar purata sebanyak 56.5 cm dan mencapai paras sekata sekitar Januari sehingga Mac dengan kadar purata berjumlah 22.3 cm (Jabatan Parit dan Saliran Malaysia 2014). Pada bulan-bulan ini, keadaan negeri Kelantan disebut sebagai mengalami musim tengkujuh dan menerima hujan yang lebat sehingga 98.0 cm sehari. Akibat daripada hujan lebat ini, peningkatan paras air sungai adalah tinggi dan penerimaan air hujan yang sangat banyak menyebabkan kejadian banjir.

Pada musim ini juga, kadar arus pergerakan sungai Kelantan ke dalam Laut China Selatan adalah sangat tinggi. Arus sungai yang deras ini berlaku apabila negeri Kelantan mengalami musim tengkujuh dan fenomena hujan hulu iaitu hujan di kawasan bukit tinggi telah menghakis batuan dan sedimen dialirkan ke dalam Sungai Kelantan, yang menyebabkan kekeruhan air sungai dan jumlah sedimen diangkut melalui sungai semakin bertambah. Arus kekeruhan di dalam Sungai Kelantan meningkat sehingga enam kali ganda berbanding arus kekeruhan sebelum hujan, manakala jumlah sedimen yang diangkut di dalam sungai meningkat sehingga 1.5 kali ganda berbanding jumlah sedimen sebelum hujan (Muqtada et al. 2013). Integrasi kelajuan aliran air bersama dengan kekeruhan sedimen di dalam air tersebut kemudian dilepaskan ke dalam kawasan tadahan di bahagian muara Delta Sungai Kelantan menyebabkan serakan sedimen dan perubahan lantai laut hasil daripada integrasi proses geologi dan hidrologi tersebut (Rajah 1).

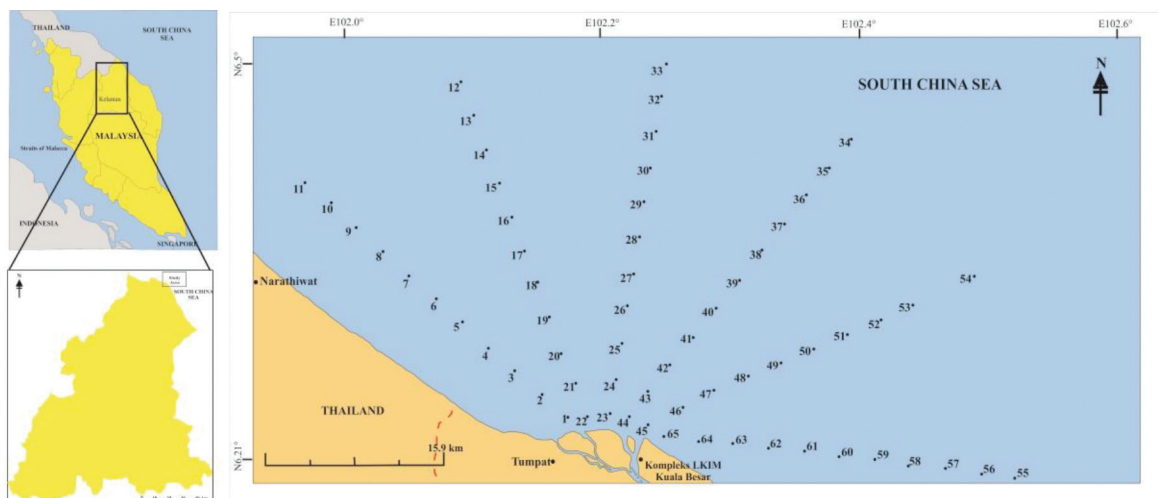
KAEDAH

Kerja lapangan telah dijalankan pada bulan Mac dan Mei 2014 dengan menggunakan kaedah persampelan secara bersistem dalam garisan-garisan yang menjauhi pantai pada sela yang tetap iaitu sekitar ~3 km. Sebanyak 65 lokaliti ditetapkan dengan keluasan seluas ~1386 km² bermula daripada kawasan luar muara Kuala Besar sehingga 33 km ke arah Laut China Selatan. Kaedah hidrografi dilakukan dengan menggunakan bantuan GPS dan alat pemancar bunyi mudah alih bagi mendapatkan kedalaman permukaan air sehingga permukaan lantai laut. Untuk menghasilkan imej kontur batimetri di kawasan kajian, data kedalaman yang dicatat dianalisis dengan menggunakan Perisian ArcGIS versi 10 (Rajah 2). Peta kontur, model 3 dimensi dan keratan rentas lantai laut dianalisis bagi menentukan keadaan bentuk muka bumi dan proses yang berlaku di kawasan kajian.

HASIL

BATIMETRI

Kedalaman air di kawasan kajian berubah antara 4 hingga 38 m dengan min kedalaman air adalah 21 m. Kawasan cetek kebanyakannya terletak di kawasan berhampiran dengan pantai dan juga muara delta kecuali di bahagian mulut sungai yang menunjukkan kedalaman sehingga 20 m. Di kawasan hadapan mulut sungai pada sektor timur, didapati kontur tersusun dengan rapat dan semakin mengecil yang menunjukkan permukaan dasar laut mempunyai kecerunan yang semakin meningkat dan pembentukan lohong kecil pada jarak yang sangat dalam berbanding kawasan sekitarnya. Pada bahagian utara iaitu di bahagian pelantar benua pada sektor timur dan barat menunjukkan kontur yang tersusun dengan jarak yang luas dan lebar menunjukkan permukaan dasar laut yang rata atau semakin landai menjauhi pantai. Sementara itu,



RAJAH 1. Peta kawasan kajian dan titik cerapan

bentuk kontur yang sama rata didapati tersusun di bahagian berdekatan dengan pantai yang menunjukkan permukaan dasar yang seragam di kawasan tersebut.

Nilai cerun dasar laut di dalam kawasan kajian secara umumnya dikira dari empat rentasan A kepada B, C kepada D, E kepada F dan G kepada H menunjukkan nilai yang berbeza-beza daripada nilai 0.05° hingga 0.57° . Kesemua rentasan ini mewakili sebelas lokaliti persempelan dengan kecerunan yang sekata dan landai menjauhi pantai dan membentangkan nilai cerun yang sangat rendah iaitu kurang daripada 1.0° . Nilai kecerunan secara umum ini ditunjukkan pada rajah keratan rentas kawasan kajian iaitu Rajah 3. Perubahan lantai laut dapat dilihat secara ketara dengan pembentukan beberapa fitur geologi yang terhasil daripada integrasi tindakan geologi dan hidrologi di kawasan cerun delta yang ditunjukkan pada keempat-empat rentasan, manakala di kawasan pelantar benua menunjukkan kecerunan yang hampir sekata di kesemua rentasan tersebut.

FITUR PERMUKAAN DASAR LAUT

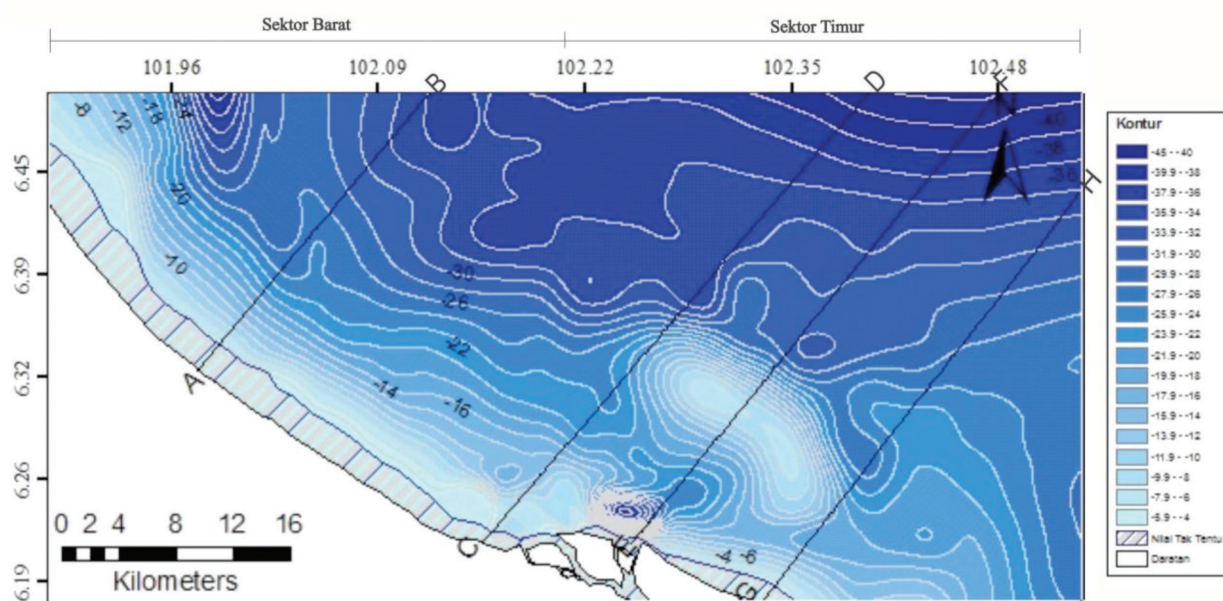
Model batimetri 3D (Rajah 4) mendapati terdapat satu fitur yang kompleks terhasil daripada tindakan lompatan hidraulik yang menghasilkan lohong hitam sedalam lebih kurang 26 m dari kawasan sekitarnya. Hasil tindakan lompatan hidraulik telah membentuk satu fitur beting pasir yang mempunyai ketinggian sehingga 8 m dari permukaan laut dengan keluasan sekitar 9 km², hampir menyamai daratan yang berada di sekitar kawasan kajian.

Selain itu, terdapat fitur bentuk kontur bulatan kecil menunjukkan kewujudan kaviti yang lebih dalam berbanding kawasan berdekatan. Terdapat empat fitur dan didapati wujud di tiga kawasan kajian iaitu di bahagian timur-laut, selatan dan barat-daya kawasan kajian. Fitur

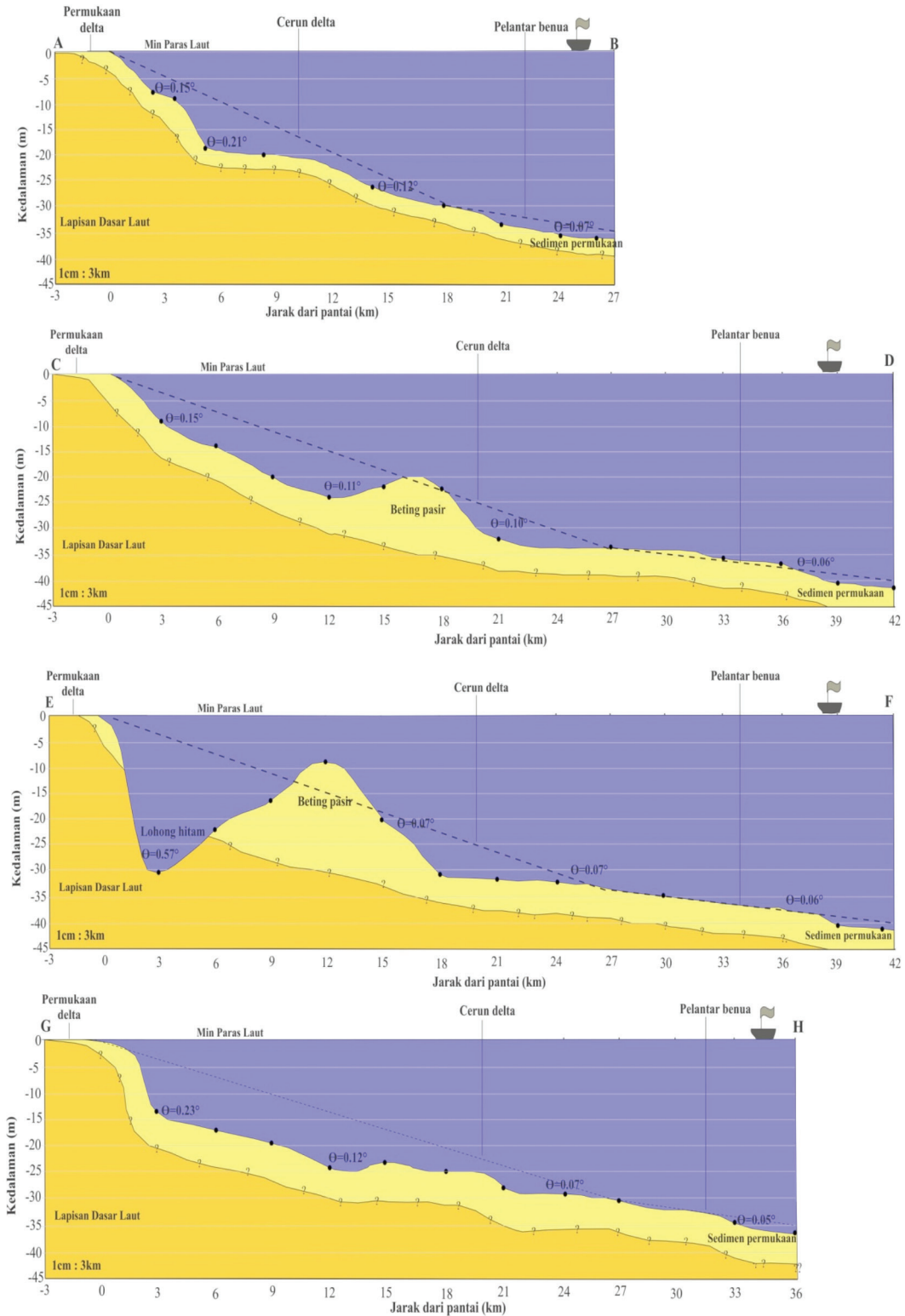
ini menunjukkan pembentukan lekukan atau kaviti yang terjadi disebabkan oleh pergerakan sedimen yang tidak stabil di kawasan tersebut.

PERBINCANGAN

Penerimaan hujan yang tinggi telah menyebabkan kadar aliran air sungai menjadi semakin laju dan mencetuskan arus kekeruhan yang tinggi di dalam sungai. Hasil integrasi yang berlaku di dalam air sungai ini telah menghasilkan mekanisme pencetus jenis aliran tumpat yang menyerakkan sedimen bersaiz kecil lebih jauh berbanding sedimen bersaiz besar. Disebabkan kuantiti sedimen yang bersaiz kasar dan sederhana sangat tinggi terenap di kawasan mulut muara yang cetek, fenomena aliran super-kritikal terbentuk dengan arus aliran air di kawasan mulut sungai sangat tinggi dan tidak dapat menampung luahan sedimen. Lompatan hidraulik ini berlaku disebabkan oleh tenaga junaman yang berlaku di kawasan cetek menyebabkan serakan sedimen secara beransur-ansur dan membentuk beting pasir di hadapannya (Burningham & French 2006). Proses penyerakan dan pelonggokan sedimen ini menyebabkan terbentuknya lohong hitam di kawasan junaman air. Manakala, pembentukan beting pasir di hadapan mulut muara ini merupakan satu fenomena hasil tindakan morfodinamik yang bertindak sebagai pengubah aliran super-kritikal kepada aliran sub-kritikal di kawasan laut. Pembentukan ini berlaku kerana wujudnya penggabungan proses hidrosedimenter dengan menghasilkan mekanisme pertambahan dan pengumpulan sedimen di kawasan tersebut hasil daripada tenaga junaman berintegrasi dengan arus pantai dan akhirnya membentuk satu fitur muka bumi yang menegak dan besar (Blivi 1993; Burningham & French 2006).



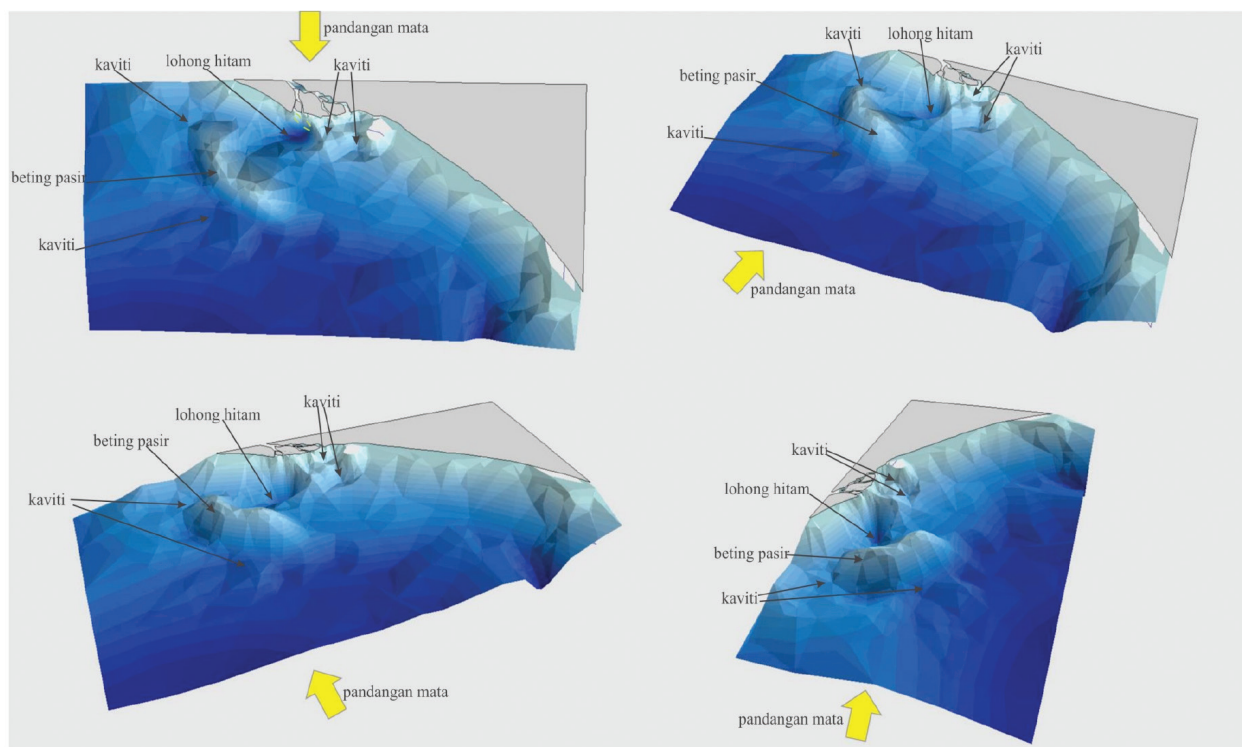
RAJAH 2. Peta kontur batimetri kawasan kajian. Nilai tak tentu ditakrif sebagai tiada set data yang diambil dikawasan tersebut



RAJAH 3. Keratan rentas kawasan kajian

Manakala, pergerakan sedimen yang dipengaruhi oleh pergerakan pesisir pantai turut membantu proses penyerakan dan pelonggokan sedimen di kawasan laut cetek ini. Menurut Raj (1982), pergerakan sedimen di sepanjang pantai yang berterusan menghala ke arah

barat dengan pergerakan pesisir pantai secara serong membawa sedimen yang dianapkan di kawasan pantai ke serata kawasan kompleks Delta Sungai Kelantan. Purata pergerakan sedimen di kawasan pantai adalah sekitar 70 m/tahun sehingga 207 m/tahun bermula dari kawasan



RAJAH 4. Imej 3D kawasan kajian

Kuala Pak Amat sehingga Kuala Golok (Raj 1982). Di kawasan mulut Sungai Kelantan iaitu Kuala Besar, angkutan sedimen oleh pergerakan pesisir adalah sekitar 75 m/tahun dengan pergerakan yang aktif dan berterusan sehingga menyebabkan sedimen yang pada asalnya dimendapkan di suatu kawasan lain diserakkan kembali oleh pergerakan secara serong ini sebelum dianapkan semula di kawasan yang mempunyai pergerakan tenaga yang lebih rendah. Berdasarkan pergerakan serong pesisir pantai yang mengangkut sedimen ini, berkemungkinan sedimen yang diangkut semasa proses ini berlaku turut dianapkan di kawasan beting pasir yang menyebabkan beting pasir ini mempunyai keluasan sehingga 9 km².

Apabila musim monsun timur laut berlaku, pergerakan pesisir yang berterusan ini akan mengalami fenomena pemutus menjunam dan menghasilkan tenaga angkutan sedimen secara serong bermula dari kawasan pantai Kuala Sungai Besar dan Kuala Pak Amat ke arah barat dengan rawak. Manakala, sedimen yang diangkut melalui sungai dan telah melalui proses serakan dan longgokan dihadapan lohong hitam tersebut telah terperangkap kerana tenaga angkutan sedimen semakin berkurangan dan menyebabkan sedimen-sedimen tersebut dikumpulkan di sekitar beting pasir tersebut seterusnya menambah keluasan beting pasir.

Penelitian terhadap pembentukan empat kontur tertutup yang menunjukkan kehadiran kaviti, telah berlaku pergerakan minor di kawasan tersebut. Fitur kaviti tersebut menunjukkan sudut kecerunan yang sangat rendah dengan kesudutan lebih rendah dari 1.0°. Menurut Smith (1991), sudut kecerunan yang sama atau lebih rendah dari 1.0° berpotensi menyebabkan sedimen menggelongsor atau

mendap apabila wujudnya sedimen yang terendap dengan kadar cepat dan merupakan enapan sedimen konsolidat dan mempunyai tekanan liang atau pori yang kuat. Pembentukan empat fitur kawah berhampiran dengan kawasan junaman air Sungai Kelantan menunjukkan pergerakan dan pengendapan sedimen yang berlaku di kawasan tersebut berlaku dengan sangat cepat. Kadar pengendapan yang cepat ini menyebabkan sedimen terendap dalam situasi tidak stabil dan menyebabkan enapan sedimen di kawasan tersebut mudah menggelongsor atau mendap apabila berlaku pergerakan seperti pergerakan hidupan marin dan akhirnya membentuk lekukan. Pembentukan fitur-fitur dasar laut ini menguatkan hipotesis dan membuktikan bahawa proses hidrologi dan morfosedimentari yang sangat kompleks telah berlaku bermula daripada jatuhnya air sungai di kawasan tadahan Laut China Selatan sehingga kepada pergerakan pesisir yang disebabkan oleh luruan angin dari arah Laut China Selatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan peta kontur batimetri dan model lantai laut yang diperoleh, fitur-fitur muka bumi dengan susunan bentuk kontur yang sekata dan lebar menunjukkan lantai laut di kawasan kajian ini menurun secara landai dengan sudut kecerunan yang kurang daripada 1.0°. Pembentukan morfologi lantai laut dikawal oleh mekanisme menjunam dengan bantuan fenomena aliran kekeruhan super-kritikal semasa pelepasan air sungai ke kawasan lembangan. Penilaian morfodinamik menjelaskan bahawa batimetri lantai laut kawasan kajian telah mengalami proses

hidrosedimentari yang kompleks dan telah menghasilkan satu morfologi lantai laut yang unik. Kombinasi penemuan ini memberikan maklumat yang tidak ternilai dan pemahaman yang lebih baik mengenai proses yang menjadi faktor utama pembentukan morfologi lantai laut di kawasan laut cetek Delta Kelantan sehingga laut dalam, Laut China Selatan.

RUJUKAN

- Bliivi, A. 1993. Geomorphologie et dynamique actuelle du littoral du Golfe du Benin (Afrique de l'Ouest), English translation. Tesis Ph.D. Universite Michel de Montaigne, Bordeaux (tidak diterbitkan).
- Burningham, H. & French, J. 2006. Morphodynamic behaviour of a mixed sand-gavel ebb-tidal delta: Deben estuary, Suffolk, UK. *Marine Geology* 225: 23-44.
- Jabatan Parit dan Saliran, Malaysia. 2004-2014. Data taburan hujan dan data kadar aliran air.
- Kamal Roslan, M., Che Aziz, A. & Usop, S. 1997. *Perubahan dan Perkembangan Morfologi Delta Kelantan*. Laporan Penyelidikan UKM S/5/96.
- Koopsman, B.N. 1972. Sedimentation in the Kelantan Delta (Malaysia). *Sedimentary Geology* 7: 65-84.
- Muqtada, M.A.K., Ashikin, N.S., Arham, M.A.B. & Izrar, A. 2013. Estimating turbidity and total suspended solids to measure sediment load in Kelantan River. *Advanced in Environmental Biology* 7(14): 4895-4900.
- Raj, J.K. 1982. Net direction and rates of present day beach transport by littoral drift along the East Coast of Peninsular Malaysia. *Geological Society of Malaysia Bulletin* 15: 57-70.
- Wong, P.P. 1981. Beach changes on a monsoon coast, Peninsular Malaysia. *Geological Society of Malaysia Bulletin* 14: 59-74.
- Zakaria, A.S. & Jamaluddin, M.J. 1980. The dynamique of Kelantan Coast. *Ilmu Alam* 9: 17-31.
- Zakaria, A.S. 1975. The geomorphology of Kelantan Delta (Malaysia). *Catena* 2: 337-350.
- Zakaria, A.S. 1972a. Sediments of Kelantan Delta: Grain size distribution in different environmental conditions. *Nusantara* 2: 167-187.
- Zakaria, A.S. 1972b. Morphometry of part of Kelantan River catchment. *Sains Malaysiana* 1(1): 59-76.

Program Geologi
Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: nurulafifah.mradzir@yahoo.com

Diserahkan: 4 Februari 2016

Diterima: 6 Jun 2016