

PANTAI BERTEBING DI BENGKULU UTARA: Masalah erosi dan saran mengatasinya

Wahyu Budi Setyawan

Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara
E-mail: wahyubudisetawan@yahoo.com; Telp. 08569078690

ABSTRAK

Pantai bertebing banyak dijumpai di kawasan pesisir Bengkulu Utara. Erosi pantai tersebut merupakan salah satu persoalan lingkungan di daerah tersebut. Erosi pantai telah merusak kawasan perkebunan kelapa sawit dan jalan nasional yang menghubungkan Kota Bengkulu dan Padang. Untuk mencari cara mengatasi masalah erosi tersebut telah dilakukan pengamatan di Desa Palik Kecamatan Air Napal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa erosi pantai terutama terjadi karena faktor oseanografi berupa gelombang yang memukul kaki tebing, dan geologi berupa kondisi batuan penyusun pantai yang merupakan material vulkanik yang lapuk, struktur geologi berupa struktur kekar, dan morfologi pantai yang merupakan tebing vertikal. Proses erosi yang dominan adalah proses marin, sedang proses subaerial bersifat minor. Untuk mengatasi masalah erosi, terutama yang mengancam jalan nasional, upaya utama yang perlu dilakukan adalah mencegah gelombang memukul langsung ke kaki tebing dengan membuat bulkhead dengan metode steel sheet pile. Sementara itu, untuk mengatasi erosi subaerial perlu segera dilakukan pembatasan tonase dan kecepatan kendaraan yang melintasi jalan di atas tebing pantai.

Kata Kunci: geomorfologi pesisir, pantai bertebing, steel sheet pile bulkhead, Bengkulu, Samudra Hindia, Pulau Sumatera

PENDAHULUAN

Hadirnya pantai bertebing di suatu kawasan melibatkan proses geologi jangka panjang yang dinamikanya masih berlangsung hingga sekarang, sehingga pantai bertebing terus mengalami erosi, dan secara alamiah bersifat tidak stabil (Shih, 1992). Persoalan erosi pantai menjadi penting diperhatikan setelah manusia banyak tinggal di tepi pantai (European Commision DGENV, 2004). Pantai bertebing dominan dijumpai di kawasan pesisir Bengkulu Utara. Aktifitas manusia di kawasan pesisir daerah tersebut membuat erosi pantai bertebing itu menjadi persoalan lingkungan yang penting untuk dipikirkan cara mengatasinya. Erosi pantai yang terjadi Bengkulu Utara telah merusak atau menghilangkan sebagian lahan kebun kelapa dan kelapa sawit. Di beberapa titik, erosi telah merusak atau hampir memutuskan jalan propinsi yang menghubungkan Kota Bengkulu dan Padang.

Makalah ini menguraikan bagaimana proses erosi pantai yang berlangsung di pantai bertebing tersebut dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, dan memberikan alternatif cara untuk mengatasi masalah erosi tersebut. Perlu diketahui bahwa persoalan erosi pantai bertebing ini juga terjadi di berbagai negara seperti Amerika Serikat (Hampton *et al.*, 2004), Kanada (Prince Edward Island Departement of Environment, Labour & Justice, 2011), Selandia Baru (Bell, 2007), Australia (Coast Protection Board of South Australia, 2014; Baron *et al.*, 2011), dan Inggris dan Irlandia (Masselink dan Russell, 2013).

Di Amerika Serikat, erosi tebing pantai menjadi isu nasional (Hampton *et al.*, 2004). Hal itu karena banyak rumah, gedung-gedung komersil, jalan, dan berbagai infrastruktur yang terletak di sepanjang pantai rusak atau hancur ketika tebing pantai runtuh. Selain itu, mundurnya tebing pantai juga berdampak pada daerah yang berpenduduk jarang. Misalnya, mundurnya tebing pantai menyebabkan kerugian industri pariwisata karena rusaknya akses ke tempat tujuan wisata, kehilangan tempat-tempat berkemah atau piknik.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan pengamatan lapangan terhadap kondisi geomorfologi pantai daerah penelitian. Lokasi penelitian ini secara administratif terletak di Desa Palik, Kecamatan Air Napal, Kabupaten Bengkulu Utara. Pengamatan lapangan mendetil dilakukan di tiga lokasi pengamatan terpilih (Gambar 1). Pilihan lokasi pengamatan detil dilakukan berdasarkan kondisi lapangan, yaitu kondisi erosi yang mengancam jalan Negara, dan kemudahan akses turun ke kaki tebing.



Pengamatan lapangan dilakukan pada bulan Maret 2014. Gambaran umum kondisi pantai di analisis dari citra satelit yang diperoleh dari Google Earth dan pengamatan lapangan. Pada pengamatan lapangan dilakukan pengamatan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas tebing pantai (Montoya-Montes et al., 2012). Dalam penelitian, faktor-faktor yang diamati disesuaikan dengan tujuan penelitian, yaitu: (1) keterbukaan kaki tebing terhadap pukulan gelombang, (2) tipe pantai, (3) ketinggian tebing pantai, (4) lereng tebing, (5) batuan penyusun tebing dan struktur geologi, (6) aliran permukaan, (7) aktifitas manusia. Juga diamati terhadap ada atau tidaknya indikasi yang menunjukkan berlangsungnya proses mundurnya tebing pantai, seperti: (1) ceruk di kaki tebing karena pukulan gelombang (*basal undercutting*), (2) retakan pada tebing, (3) material hasil longsor atau runtuh di kaki tebing, (4) longsor di lereng tebing, (5) pukulan gelombang di kaki tebing (Coast Protection Board of South Australia, 2014). Ketika pengamatan lapangan dilakukan dibuat profil pantai dan rekaman fotografi (Baron et al., 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ditulis di bagian yang sama. Mereka harus disajikan secara terus menerus mulai dari hasil utama sampai hasil pendukung dan dilengkapi dengan pembahasan. Unit pengukuran yang digunakan harus mengikuti sistem internasional yang berlaku. Hasil dan Pembahasan harus ditulis dengan menggunakan 2500 hingga 3000 kata dan harus ditulis dengan menggunakan ARIAL 10.

Kondisi Lingkungan

Hasil pengamatan terhadap kondisi morfologi di kawasan pesisir daerah penelitian menunjukkan bahwa kawasan pesisir daerah penelitian merupakan daerah pesisir berelevasi tinggi. Keadaan itu terlihat dari kehadiran pantai bertebing dengan ketinggian tebing mencapai sekitar 8 meter. Hasil pengamatan lapangan terhadap tebing pantai

menunjukkan bahwa tebing dominan tersusun oleh batupasir vulkanik dan tuf. Di bagian paling atas tebing terdapat lapisan tanah (*soil*). Sedang di bagian bawah tebing secara tidak menerus dijumpai batulempung hitam dan batupasir karbonatan (Gambar 2).



Gambar 2. Variasi batuan penyusun tebing pantai di daerah penelitian, Lokasi 1. Urutan dari bawah ke atas pada A: batupasir karbonatan, batulempung, tuf keputihan, tuf kecoklatan. B: batupasir karbonatan, tuf kemerahan. C: di latar depan: urutan batuan sama seperti urutan pada foto A, sedang di latar belakang: batulempung, tuf.

Garis pantai secara umum berorientasi tenggara-baratlaut, dan pantai menghadap ke baratdaya, ke arah Samudera Hindia (Gambar 1). Dengan kedudukannya yang demikian itu, pantai di daerah penelitian terbuka terhadap *swell* yang datang dari Samudera Hindia. Kawasan Samudera Hindia bagian selatan merupakan salah satu kawasan pembentukan *swell* yang utama di dunia (Stopa *et al.*, 2016; Vethamony *et al.*, 2013), dan *swell* yang terbentuk itu dapat mencapai kawasan pesisir barat Pulau Sumatera. Penelitian yang dilakukan dalam periode tahun 2000-2006 oleh Alifdini *et al.*, (2016) menunjukkan bahwa lebih dari 57% gelombang di perairan pesisir Bengkulu adalah *swell* yang datang dari Samudera Hindia.

Daerah penelitian terletak di pesisir barat Pulau Sumatera yang terletak di daerah ekuator dan menghadap ke Samudera Hindia. Posisi geografisnya yang demikian itu membuat Pulau Sumatra memiliki curah hujan yang tinggi (Wu *et al.*, 2017). Kondisi curah hujan yang tinggi di daerah tropis menyebabkan batuan di daerah penelitian mengalami pelapukan kimia yang tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh tebalnya tanah atau zona batuan lapuk (*regolith*).

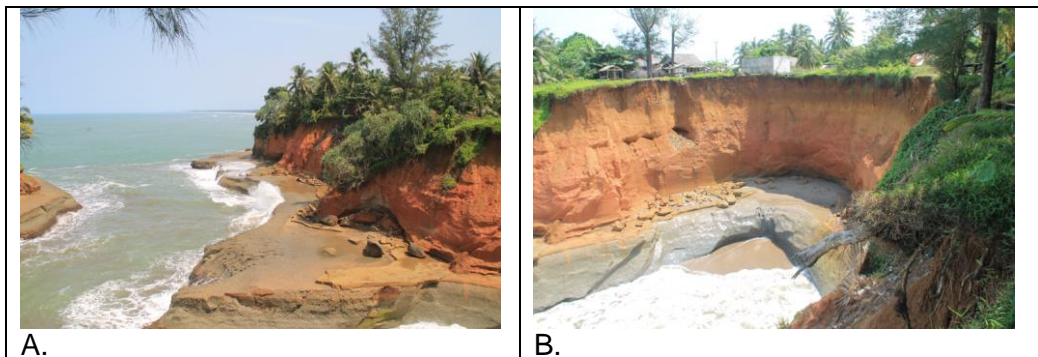
Proses Mundurnya Tebing Pantai

Berkaitan dengan proses mundurnya tebing pantai, hasil pengamatan lapangan menunjukkan adanya hal-hal berikut. Pertama, garis pantai di daerah penelitian membentuk pola bergerigi dalam bentuk selang seling tanjung dan teluk kecil (Gambar 3). Kedua, ada dua tipe tebing pantai di daerah penelitian, yaitu: (1) tebing pantai dengan ratahan erosional (*erosional platform*) di kakinya (Gambar 2.A & B), dan (2) tebing pantai dengan pantai pasir di kakinya (Gambar 2.C). Ketiga, di kaki tebing juga dijumpai ceruk (*notch*) yang menjorok ke dalam dan ceruk itu berasosiasi dengan talus (material hasil runtunan) yang berasal dari runtunan batuan penyusun tebing pantai (Gambar 2.B; Gambar 4). Ke-empat, ada indikasi gerakan tanah di tebing pantai (Gambar 5). Kelima, ada *stack* yang menunjukkan batas lokasi garis pantai di masa lalu (Gambar 6), dan Ke-enam, ada kegiatan pengambilan pasir di kaki tebing (Gambar 7).

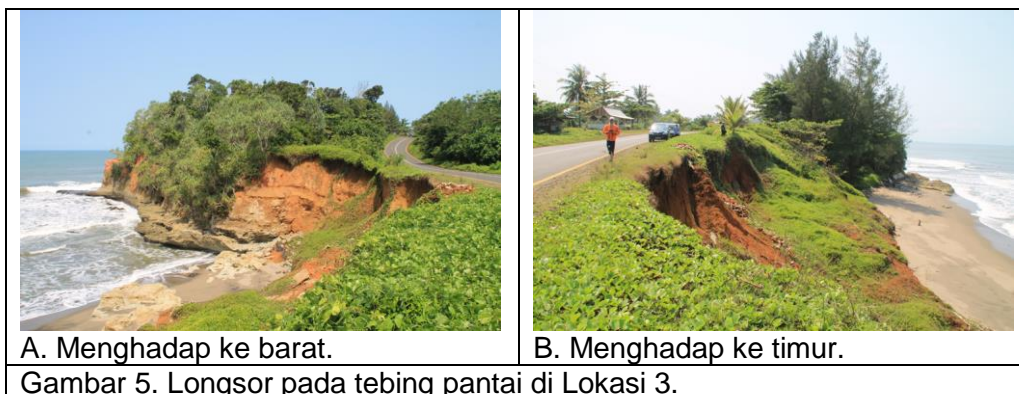


Gambar 3. Pantai dengan pola bergerigi, yang menunjukkan selang-seling tanjung (*headland*) dan teluk. Pola pantai seperti ini terbentuk karena perbedaan resistensi batuan penyusun tebing pantai secara lateral. Lokasi 1.

Pantai bertebing adalah hasil interaksi antara gelombang laut (kekuatan penyerang) dan batuan penyusun tebing pantai (kekuatan bertahan). Gelombang yang memukul ke tebing pantai adalah mekanisme erosi yang penting (Benumof *et al.*, 2000). Ketika gelombang memukul tebing pantai, gelombang itu mengeluarkan kekuatan hidrolis yang mencakup gaya kompresi, geser (*shear*) dan gaya tarik (*tension*). Kemudian, apabila di dalam air ada pasir atau kerikil, maka gelombang juga mengerjakan aksi mekanik melalui proses abrasi dan benturan material-material yang ada di dalam air terhadap tebing pantai. Jadi ketika gelombang memukul ke kaki tebing, kedua proses itulah yang bekerja menggali tebing. Indikasi visual dari proses ini adalah hasirnya ceruk yang menjorok ke dalam di kaki tebing (Gambar 2.A dan 4).



A.
B.
Gambar 4. Pantai bertebing dengan cerukan dan talus runtuh. A: tebing batupasir (bawah) dan tuf (atas); ceruk terbentuk pada kontak batupasir dan tuf. B: tebing batupasir (bawah abu-abu) dan tuf (atas kemerahan); ada ceruk ganda pada batupasir dan tuf. Talus hasil runtuh material tebing terlihat sebagai fragmen berserak di sekitar cerukan. Lokasi 2.



Efektifitas erosi oleh gelombang yang memukul ke tebing ditentukan oleh sifat fisik batuan penyusun tebing pantai (Benumof *et al.*, 2000). Apabila batuan penyusun pantai adalah batuan resisten terhadap pukulan gelombang, maka efektifitas gelombang mengerosi kecil sehingga erosi berjalan lambat. Sebaliknya, apabila batuan penyusun tebing adalah batuan lunak yang resistensinya rendah, maka efektifitas gelombang mengerosi tebing tinggi sehingga erosi berjalan lebih cepat. Selanjutnya, kehadiran retakan atau kekar (*joint*) pada batuan menyebabkan resistensi batuan berkurang dan membuat batuan lebih mudah tererosi.

Di daerah penelitian, variasi resisten batuan secara lateral di sepanjang garis pantai menyebabkan terbentuknya pantai berberigi (Gambar 3). Bagian pantai dengan batuan yang lebih resisten membentuk tanjung, sedang bagian pantai dengan batuan yang kurang resisten membentuk teluk. Sementara itu, bila perbedaan resistensi batuan terjadi secara vertikal ke arah atas tebing, maka akan terbentuk tebing dengan tonjolan-tonjolan. Di daerah penelitian, batuan yang memiliki resistensi lebih tinggi terdapat di kaki tebing. Keadaan ini yang menghasilkan pantai bertebing dengan ratahan erosional di kaki tebing (Gambar 2.A & B, 4.A).

Proses pelapukan yang terjadi pada batuan, baik pelapukan fisika maupun kimia, membuat batuan menjadi lemah. Cerukan di kaki tebing dapat membuat batuan penyusun tebing runtuh, baik karena gaya gravitasi maupun karena getaran akibat pukulan gelombang. Indikasi dari proses ini terlihat dengan kehadiran talus di kaki tebing (Gambar 2.B & 4) atau material penyusun tebing yang longsor seperti terlihat di Lokasi 3 (Gambar 5).

Alternatif Cara Mengatasi Masalah Erosi

Erosi tebing pantai umumnya adalah hasil dari proses marin dan subaerial (Kuhn & Pruffer, 2014; Bell, 2007). Proses marin adalah proses pukulan gelombang terhadap tebing yang bekerja di bawah batas pasang-surut, dan proses subaerial adalah proses yang bekerja di atas batas pasang-surut (Bell, 2007). Pukulan gelombang terhadap kaki tebing memperlemah bagian kaki tebing, menyebabkan perubahan morfologi dan distribusi stres, dan selanjutnya menyebabkan ketidakstabilan tebing karena gaya gravitasi (Kuhn & Pruffer, 2014). Keadaan tersebut menyebabkan tebing pantai runtuh (lihat Gambar 2.B, dan 4.A dan B). Sementara itu, proses subaerial memperlemah bagian atas tebing pantai dan menyebabkannya runtuh. Johnstone *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa erosi marin mengerosi tebing dari bawah, sedang erosi subaerial bekerja dari atas ke bawah. Hadirnya patahan dan kekar membentuk zona lemah, meningkatkan erosi mekanik oleh gelombang dan memberikan jalan bagi rembesan air tanah yang dapat membuat tebing menjadi tidak stabil. Menurut Komar & Shih (1993), proses yang bekerja menyerang tebing pantai sangat kompleks. Di suatu tempat, mundurnya tebing pantai dapat terjadi dengan proses subaerial sebagai sebab utama sedang proses marin hanya berperan minor. Di tempat lain, pukulan gelombang lebih dominan daripada proses subaerial. Dengan demikian, secara umum, prinsip dasar mengatasi masalah mundurnya tebing pantai sesungguhnya ada dua, yaitu: (1) mencegah pukulan gelombang ke kaki tebing, dan (2) mencegah hal-hal yang dapat melemahkan resistensi tebing pantai. Selanjutnya, mengetahui proses marin atau subaerial yang menjadi proses penting yang bekerja mengerosi tebing di suatu lokasi dapat membantu menentukan prioritas penanganan.

Menurut Kuhn & Pruffer (2014), kunci untuk mengelola bencana tebing pantai secara efektif adalah memahami proses-proses yang menggerakkan terjadinya erosi tebing pantai. Di dalam makalah ini saran alternatif cara untuk mengatasi masalah erosi tebing pantai diberikan hanya berdasarkan pengamatan lapangan yang dilakukan di Lokasi 2 (lihat Gambar 4.A & B) dan Lokasi 3 (lihat Gambar 5.A & B) pada bulan Maret 2014. Di kedua lokasi pengamatan tersebut, erosi tebing pantai berlangsung sedemikian rupa sehingga mengancam keselamatan jalan nasional. Posisi bibir tebing yang aktif tererosi telah sedemikian dekat, sehingga upaya untuk mengatasi masalah erosi tebing tersebut perlu segera dilakukan. Analisis terhadap situasi lingkungan di Lokasi 2 dan 3 memberikan gambaran bahwa di kedua daerah penelitian tersebut proses erosi berjalan aktif dengan marin dominan bekerja mengerosi tebing. Hal itu terlihat dari adanya ceruk di kaki tebing dan talus runtuh material tebing yang segar (bukan soil hasil pelapukan). Keadaan itu juga konsisten dengan klasifikasi kondisi pantai berdasarkan profil pantai dari Masselink & Hughes tahun 2003 dan Woodroffe tahun 2002 (Bell, 2007). Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis proses erosi yang bekerja maka upaya mencegah pukulan gelombang terhadap kaki tebing pantai menjadi sangat penting.

Banyak pilihan metode untuk melindungi kaki tebing dari pukulan langsung oleh gelombang (RSTC, 2015; DeStefano & Roberger, 2004; O'Neil, 1986; U.S. Army Corps of Engineers, 1984). Berdasarkan hasil pengamatan lapangan terhadap tebing pantai (Gambar 4.A & B; Gambar 5.A & B), metode perlindungan kaki tebing yang sesuai adalah *bulkhead* dengan konstruksi *steel sheet pile* atau *steel sheet pile bulkhead*. Menurut United State Steel (1984), pukulan gelombang dan tekanan tebing adalah tekanan yang akan bekerja pada konstruksi dinding pelindung pantai (*sea wall*). Untuk menghadapi persoalan tersebut *sheet pile* adalah pilihan yang umum dipergunakan sekarang. Sementara itu, Shitaram (2013) menyebutkan bahwa *sheet pile wall* (dinding *sheet pile*) sekarang telah umum dipergunakan untuk melindungi pantai yang berada di lingkungan yang mendapat stres tinggi, seperti yang ada di daerah penelitian ini.

Bibir tebing pantai yang longsor di daerah penelitian yang teramati di Lokasi 3 (lihat Gambar 5.A & B) terlihat sudah sangat dengan badan jalan utama yang menghubungkan Kota Bengkulu dan Padang. Menurut U.S. Geological Survey (2004), banyak hal yang dapat

menyebabkan terjadinya longsor, baik karena sebab-sebab yang terkait dengan kondisi geologi, kondisi morfologi, maupun karena aktifitas manusia (Tabel 1). Hasil analisis terhadap kondisi lingkungan pesisir di Lokasi 3 yang dilakukan dengan mempergunakan kriteria dari U.S. Geological Survey tersebut di atas memperlihatkan dengan jelas, bahwa ada dua sebab utama yang dapat berperan sebagai pemicu longsor bagian atas tebing pantai di lokasi tersebut, yaitu beban berat kendaraan dan getaran dari kendaraan yang melintas di jalan tersebut. Dengan demikian, tindakan yang perlu segera dilakukan untuk mencegah terjadinya longsor bagian atas tebing adalah dengan membatasi tonase kendaraan dan kecepatan laju kendaraan ketika melewati bagian jalan yang rawan longsor tersebut.

Tabel 1. Penyebab tanah longsor (Dibuat berdasarkan USGS, 2004).

Kondisi Geologi	Kondisi Morfologi	Aktifitas Manusia
1) Batuan lemah dan sensitif.	1) Pengangkatan tektonik atau vulkanik.	1) Penggalian pada lereng atau kaki lereng.
2) Batuan lapuk.	2) Glacial rebound.	2) Membebani lereng atau puncaknya.
3) Batuan terkekarkan (jointed), retak tergerus (sheared), atau berlubang (fissured).	3) Erosi oleh aliran sungai, gelombang, gletser terhadap kaki lereng atau tepian secara lateral.	3) Pengisapan air tanah.
4) Orientasi ketidakmenerusan yang berakibat buruk (perlapisan, kesekisan, patahan, ketidakselarasan, kontak dan sebagainya).	4) Erosi di bawah permukaan tanah (pelarutan, perpipaian).	4) Penggundulan hutan.
5) Kontras permeabilitas dan/atau kekakuan batuan.	5) Pengendapan yang membebani lereng atau puncaknya.	5) Irigasi.
	6) Penghilangan vegetasi (oleh kebakaran, kekeringan).	6) Penambangan.
	7) Pelelehan.	7) Getaran buatan.
	8) Pelapukan pembekuan karena pelelehan.	8) Kebocoran air dari penampungannya.
	9) Pelapukan pengkerutan karena pemuaiian.	

Dalam jangka panjang, demi alasan keamanan publik, pemindahan badan jalan menjauhi bibir tebing perlu dilakukan. Sebelum pemindahan badan jalan dilakukan, untuk keperluan perencanaan pembangunan kawasan pesisir pada umumnya, Zona Bahaya Erosi (Erosion Hazard Zone = EHZ) perlu ditentukan dalam kerangka waktu tertentu untuk jangka panjang (Bell, 2007).

KESIMPULAN DAN SARAN

Pantai di daerah penelitian ini adalah pantai bertebing yang aktif mengalami erosi dengan proses marin bekerja lebih dominan mengerosi tebing daripada proses subaerial. Perbedaan resistensi batuan penyusun tebing pantai secara lateral menyebabkan garis pantai berkembang menjadi "bergerigi" dalam bentuk selang-seling antara *headland* dan teluk.

Perbedaan resistensi batuan secara lateral terjadi karena perbedaan jebis batuan maupun karena hadirnya struktur kekar. Juga terdapat perbedaan resistensi batuan secara vertikal dengan batuan yang resisten berupa batupasir karbonat atau batupasir terdapat di bagian bawah atau kaki tebing. Keadaan tersebut menghasilkan pantai bertebing dengan *platform erosional* di kaki tebing.

Erosi tebing pantai yang terjadi di daerah penelitian ini memerlukan perhatian yang sangat serius karena hampir memutuskan jalan nasional di dua lokasi. Oleh karena itu sangat ditekankan agar upaya untuk menghambat laju erosi perlu segera dilakukan dengan cara melindungi bagian bawah tebing pantai dari pukulan gelombang laut. Berdasarkan pada karakter lingkungan fisik kawasan pesisir, maka metode yang disarankan untuk melindungi kaki tebing adalah dengan membuat *bulkhead* mempergunakan *steel sheet pile*. Sedangkan bagian atas tebing perlu dilindungi dengan membatasi tonase dan kecepatan kendaraan yang melewati jalan raya di dekat tebing rawan longsor di Lokasi 2 dan 3.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan sebagian dari hasil kegiatan penelitian Oseanografi Kawasan Pesisir Bengkulu Utara yang dibiayai dengan DIPA Pusat Penelitian Oseanografi LIPI Tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifdini, I., Sugianto, D.N., Andrawina, Y.O. & Widodo, A.B. (2016). Identification of wave energy potential with floating oscillating water column technology in Pulau Baai beach, Bengkulu. IOD Conf. Series: Earth and Environmental Science 55 012040. DOI: 10.1088/1755-1315/55/1/012020.
- Baron, S.J., Delaney, A., Perrin, P.M., Martin, J.R. & O'Neill, F.H. (2011). National Survey and Assessment of the Conservation Status of Irish Sea Cliff. Irish Wildlife Manuals No. 53. National Parks and Wildlife Service, Department of the Environment, Heritage and Local Government, Dublin, Ireland, 159 pp.
- Bell, J.E. (2007). Toward a Better Understanding of Coastal Cliff Erosion in Waitemeta Group Rock, Auckland, New Zealand. University of Waikato, Master Thesis, 286 pp.
- Benumof, B.T., Storlazzi, C.D., Seymor, R.J. & Griggs, C.B. (2000). The Relationship between incident wave energy and seacliff erosion rates: San Diego County, California. *Journal of Coastal Research* 16(4): 1162-1178.
- Coast Protection Board of South Australia. (2014). *Coastal Cliff Erosion Hazards Management Strategy*. Department of Environment, Water and Natural Resources, Government of South Australia.
- DeStefano, J. & Roberger, J. (2004). Shore Protection Structures. *Structure Magazine*, August 2004: 10-12.
- European Commission DG ENV. (2004). Guideline for incorporating coastal erosion concerns into the strategic environmental assessment (SEA) processes. Final Report. [ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/coastal_erosion_fin_rep.pdf]. Accessed: Sept 03, 2017.
- EuroSION. (2004). Living with coastal erosion in Europe: sediment and space for sustainability. A Guide to coastal erosion management practice in Europe. Directorate General Environment European Commission, 162 pp. ec.europa.eu/ourcoast/download.cfm?fileID=1233. Accessed: Sept 03, 2017.
- Hampton, M.A., Griggs, G.B., Edil, T.B., Guy, D.E., Kelley, J.T., Komar, P.D., Michelson, D.M. & Shipman, H.M. (2004). Introduction. In: M.A. Hampton & G.B. Griggs (Eds.), Formation, Evolution, and Stability of Coastal Cliff – Status and Trends. USGS Professional Paper 1693, US Government Printing Office, 1-4. <https://pubs.usgs.gov/pp/pp1693/pp1693/pp1693.pdf>. Accessed: Sept 03, 2017.
- Johnstone, E., Raymond, J., Olsen, M.J. & Driscoll, N. (2016). Morphological expressions of coastal cliff erosion processes in San Diego County. *Journal of Coastal Research* 76: 174-184. DOI: 10.2112/S176-015.

- Komar, P.D. & Shih, S-M. (1993). Cliff erosion along the Oregon Coast: A tectonic-Sea Level imprint plus local controls by beach processes. *Journal of Coastal Research* 9(3): 747-765.
- Kuhn, D. & Prufer, S. (2014). Coastal cliff monitoring and analysis of mass wasting processes with the application of terrestrial laser scanning: A case study of Rugen, Germany. *Geomorphology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.01.005>.
- Masselink, G. & Russell, P. (2013). Impact of climate change on coastal erosion. Marine Climate Impact Partnership (MCCIP) Science Review 2013, 71-86. DOI: 10.14465/2013.arc09.071-086.
- Montoya-Montes, I., Rodriguez-Santella, I., Sanchez-Garcia, M.J., Alcantara-Corrio, J., Martin-Velazquez, S., Gomez-Ortiz, D & Martin-Crespo, I. (2012). Mapping of landslide susceptibility of coastal cliffs: the Mont-Roig del Camp case study. *Geologica Acta* 10(4), 439-455. DOI: 10.1344/105.000001776.
- O'Neil, C.R.O. Jr. (1986). *Structural Methods for Controlling Coastal Erosion*. The New York State College of Agriculture and Life Sciences. Cornell University, Ithaca, N.Y., 28 pp.
- Prince Edward Island Department of Environment, Labour & Justice. (2011). Coastal Erosion and Climate Change. *Atlantic Climate Adaptation Association (ACASA)*, 41 pp. [www.csrpa.ca/sites/default/files/fichers/coastal_erosion_and_climate_change_o.pdf] . Accessed: Sept 03, 2007.
- RSTC (Resilient Shorelines Thriving Communities). (2015). *Natural and Structural Measures for Shoreline Stabilization*. [<https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/living-shoreline.pdf>]. Accessed: Sept 25, 2017.
- Shih, S-M. (1992). Processes of Sea-cliff Erosion on the Oregon Coast: from neo-tectonic to wave run-up. Oregon State University, Doctor Thesis, 135 pp.
- Stopa, J.E., Ardhuin, F., Husson, R., Jiang, B., Chapron, B. & Collard, F. (2016). Swell dissipation from 10 years of Envisat advanced synthetic aperture radar in wave mode. *Geophysical Research Letter* 43: 3423-3430. DOI: 10.1002/2015GL067566.
- United State Steel (USS). (1984). *Steel Sheet Piling Design Manual*. U.S. Department of Transportation, FHWA, 133 pp.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1984). *Shore Protection Manual Volume II, 4th ed.*, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- U.S. Geological Survey. (2004). Landslide Types and Processes. *Fact Sheet* 2004-3072. [<https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>]. Accessed: Sept 25, 2017.
- Vethamony, P., Rashmi, R., Samiksha, S.V. & Aboobacker, V.M. (2013). Recent studies on wind seas and swells in the Indian Ocean: a review. *International Journal of Ocean and Climate System*. 4(1): 63-73. [journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1260/1759-3131.4.1.63].
- Wu, P., Ardiansyah, D., Yokoi, S., Mori, S., Syamsudin, F. & Yoneyana, K. (2017). Why torrential rain occurs on the western coast of Sumatra island at the leading edge of the MJO westerly wind bust. *SOLA*. 13, 36-40. DOI: 10.2151/sola.2017-007.