



OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA

Print ISSN: 0125-9830 Online ISSN: 2477-328X

Nomor Akreditasi: 712/AU3/P2MI – LIPI/10/2015

<http://jurnal-oldi.or.id>



Dinamika dan Evolusi Pantai Probolinggo, Jawa Timur

Dynamics and Evolution of the Coast of Probolinggo, East Java

Suyarso

Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta

Email: Suyarso_lipi@yahoo.com

Submitted 10 September 2015. Reviewed 27 January 2016. Accepted 15 April 2016.

Abstrak

Dataran pesisir Probolinggo membentang dari Kecamatan Tongas di bagian barat hingga Kecamatan Kraksaan di bagian timur. Sebelah selatan merupakan areal persawahan yang subur, sedangkan sebelah utara merupakan kawasan pertambakan. Fenomena perubahan pantai Probolinggo sangat dipengaruhi oleh material yang dipasok dari Gunung Bromo. Penelitian yang dilakukan pada April–Mei 2012, Februari 2013, dan Agustus 2014 bertujuan untuk mengetahui dinamika dan evolusi pantai serta perubahan dan alih fungsi lahan pesisir Probolinggo. Analisis perubahan pantai di pesisir Probolinggo dari tahun 1973 hingga 2013 dilakukan menggunakan citra landsat multitemporal, pengukuran dan penggambaran profil pantai di daerah penelitian menggunakan alat ukur sifat datar *shokiza* dan alat perekam pasang surut *SeaBird Electronic*. Hasil analisis menunjukkan bahwa di pesisir bagian barat, proses akresi masih terus berlangsung, sedangkan di bagian timur, kecepatan akresi terus menurun dan bahkan saat ini di beberapa tempat sedang terjadi erosi pantai. Dataran akresi yang terbentuk oleh proses marin dimanfaatkan oleh penduduk sebagai kawasan pertambakan, sedangkan akresi yang terbentuk oleh proses fluvial dimanfaatkan sebagai areal persawahan.

Kata kunci: perubahan garis pantai, citra landsat, Probolinggo.

Abstract

The coastal plain of Probolinggo extends from Tongas Subdistrict in the western part to Kraksaan Subdistrict in the eastern part. The south side is the fertile rice field area, while the north side is the fish pond area. The phenomena of coastal changes in Probolinggo are strongly influenced by the materials supplied from Mount Bromo. This research was conducted in April–May 2012, February 2013, and August 2014 and aimed to gain insight into the coastal dynamics and evolution as well as changes and land cover conversion in Probolinggo. The analysis of coastal changes in Probolinggo from 1973 until 2013 was done using multitemporal landsat imageries, the measurement and drawing of coastal profile were carried out using *shokiza* geodetic instrument and *SeaBird Electronic* tide gauge. The results showed that in the western part, the accretion process is still ongoing, while in the eastern part, the accretion speed since 1989 has continued to decline and even some places experienced erosion. The new coastal plain formed by the accretion of marine processes is utilized by the residents as fish ponds, whereas accretion formed by fluvial processes is utilized as rice fields.

Keywords: coastal changes, landsat imageries, Probolinggo, East Java.

Pendahuluan

Kabupaten Probolinggo merupakan kota kabupaten yang terletak di tepi selatan Selat Madura dan di kaki timur laut Gunung Bromo, gunung api aktif dan tercatat sebagai salah satu dari 129 gunung api aktif di Indonesia yang sering mengalami erupsi (Pusat Pengembangan Geologi Kelautan, 1994; Zaennudin, 2011). Katili (1974) mengemukakan bahwa material letusan gunung api kuarter (gunung api yang terbentuk sejak satu setengah juta tahun lalu) di Indonesia bersifat *intermediate* yakni ber-pH > 7, sehingga sangat menyuburkan tanaman. Camus et al. (2000) in Rahayu et al. (2014) mengemukakan bahwa material letusan gunung api yang bersifat *intermediate* mengandung mineral plagioklas, piroksin, hornblenda, dan olivin. Mineral tersebut selain mudah lapuk, hasil pelapukannya sangat kaya unsur hara bagi kesuburan tanaman. Faktor kesuburan tanah di sekitar gunung berapi menyebabkan sulitnya merelokasi penduduk manakala terjadi bencana letusan.

Secara stratigrafis, menurut pembagian Vessel & Davies (1981) in Bronto (2006), Kabupaten Probolinggo merupakan bagian dari fasies distal, yakni dataran yang berada di sekeliling kerucut gunung api. Material dasar penyusun fasies distal umumnya terdiri atas perlapisan pasir. Sungai-sungai yang mengalir melalui Kabupaten Probolinggo dari timur ke arah barat yakni Sungai Pekalen, Pancarglagas, Krasak, Kertosuko, Rondoningo, Pendil, Gending, Banyubiru, Ronggojalu, Kedunggaleng, dan Patalan. Sungai terpanjang adalah Sungai Rondoningo dengan panjang 95,2 km. Sungai-sungai tersebut berhulu di Gunung Bromo dan pada musim hujan sering mengangkut lahar dingin material letusan Gunung Bromo.

Lingkungan pantai merupakan daerah yang selalu mengalami perubahan, baik secara alami maupun antropogenik. Faktor alami di antaranya aktivitas gelombang, angin, pasang surut, arus, dan sedimentasi di delta dan muara sungai, sedangkan faktor antropogenik dilakukan oleh penduduk di sekitar pantai, yakni konversi bakau menjadi kawasan pertambakan, hunian, industri, dan daerah reklamasi (Sukardjo, 2010). Ancaman dampak antropogenik dapat berupa hilangnya berbagai macam biota laut, meningkatnya pencemaran dan hilangnya mata pencaharian masyarakat lokal (Harley et al., 2001; Gilman et al., 2008).

Dari tahun 1970 hingga 1990-an kawasan pantai di Kabupaten Probolinggo mengalami proses akresi, namun beberapa tahun terakhir kecepatan akresi terus menurun dan bahkan

beberapa wilayah mengalami bencana rob yang berdampak pada erosi pantai (Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, 2012). Keseimbangan dinamis pantai akan tercapai dalam waktu tertentu, paling tidak dalam satu siklus musim (Setyandito & Triyanto, 2007). Pembangunan infrastruktur yang cukup pesat selama dua dekade terakhir, baik di tingkat kabupaten dan kota maupun di tingkat provinsi telah menyedot material pasir sebagai bahan bangunan. Seiring kebutuhan material pasir, beberapa lokasi hulu sungai telah berubah menjadi kawasan penambangan pasir, baik legal maupun ilegal. Hingga Oktober 2015 di Kabupaten Probolinggo tercatat 39 lokasi penambangan pasir ilegal (Kompas, 2015). Mungkinkah maraknya penambangan pasir ikut berkontribusi terhadap dinamika pantai Kabupaten Probolinggo? Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui dinamika pantai, perubahan pemanfaatan lahan pesisir, dan agen perubahan yang berperan di pesisir Kabupaten Probolinggo dari tahun 1973 hingga 2013.

Metodologi

Lokasi penelitian meliputi Kecamatan Tongas dan Kecamatan Sumberasih yang terletak di sebelah barat Kota Probolinggo dan Kecamatan Dringu, Gending, Pajarak, dan Kraksaan yang terletak di sebelah timur Kota Probolinggo (Gambar 1).

Untuk memperoleh data yang diperlukan dalam kajian ini, dilakukan tahapan kegiatan antara lain analisis citra lansat multitemporal guna mengetahui perubahan garis pantai dari tahun 1973 hingga 2013, pengukuran penampang pantai, dan perekaman pasang surut.

Analisis Citra

Penggunaan data citra untuk mengetahui dinamika pantai, selain mendapatkan data dalam rentang waktu yang cukup panjang, juga akan meminimalisasi bias perubahan pantai akibat kondisi oseanografi yang ekstrem pada suatu musim. Data dan karakteristik citra landsat yang dianalisis ditunjukkan dalam Tabel 1.

Analisis citra dilakukan dalam dua tahap, yakni koreksi radiometrik dan koreksi geometrik. Koreksi radiometrik dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas citra akibat gangguan partikel atmosfer. Koreksi radiometrik dilakukan dengan metode pergeseran histogram dengan asumsi bahwa piksel pada bayangan awan atau laut dalam seharusnya bernilai nol (Chavez, 1988).



Gambar 1. Lokasi penelitian perubahan pantai di Kabupaten Probolinggo.
Figure 1. Research location of coastal changes in Probolinggo.

Selisih nilai minimum piksel dengan nilai nol disebut dengan bias (*offset*). Pergeseran histogram dilakukan dengan mengurangi seluruh nilai piksel dalam liputan citra dengan nilai bias.

Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki posisi objek dalam citra sesuai dengan posisi sebenarnya di lapangan. Rujukan untuk posisi sebenarnya di lapangan mengacu pada Informasi Geospasial Dasar, yaitu peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI), peta Lingkungan Laut Indonesia (LLN), citra tegak resolusi tinggi atau citra lain yang terkoreksi, dan data koordinat lapangan yang menggunakan *GPS receiver*. Pengukuran koordinat suatu objek di lapangan yang menggunakan *GPS receiver* ditentukan melalui objek-objek yang tampak jelas dalam citra dan

relatif tidak berubah, seperti jembatan, dermaga, perpotongan jalan, dan bangunan. Sistem koordinat yang digunakan dalam proses rektifikasi adalah koordinat geografis dengan referensi *World Geodetic System 1984*.

Selanjutnya, ekstraksi garis pantai dari tiap-tiap liputan citra landsat diperoleh melalui proses digitasi di layar monitor (*screen digitation*) dalam citra komposit RGB 321 menggunakan perangkat ArcGIS versi 10. Hasil proses digitasi adalah garis pantai dan lahan pesisir secara multitemporal, yakni garis pantai dan lahan pesisir tahun 1973, 1979, 1989, 1995, 2003, dan 2013. Selanjutnya, masing-masing garis pantai tersebut ditumpang-susunkan (*overlay*), sehingga diketahui perubahan garis pantai dan proses yang terjadi dalam suatu periode tertentu.

Tabel 1. Data citra landsat untuk menganalisis perubahan pantai Probolinggo dari tahun 1973 hingga 2013.
Table 1. Landsat imagery data to analyze the coastal changes in Probolinggo from 1973 to 2013.

Imagery	Date of aquisition	Resolution	Sensor wavelength (μm)	Shoreline
Landsat 4 MSS	29 July 1973	79 m	0,5 – 1,2	1973
Landsat 4 MSS	1 June 1979	79 m	0,5 – 1,2	1979
Landsat 5 TM	28 March 1989	30 m	0,45 -2,35	1989
Landsat 5 TM	25 June 1995	30 m	0,45 -2,35	1995
Landsat 7 ETM	22 May 2003	15 m	0,45 -2,35	2003
Landsat 7 ETM	28 May 2011	15 m	0,45 -2,35	2011
Landsat 7 ETM	9 November 2013	15 m	0,45 -2,35	2013

Pengukuran dan Penggambaran Profil Pantai

Penelitian lapangan dilakukan pada 25 April–24 Mei 2012, 18–27 Februari 2013, dan Agustus 2014 dengan merekam penampang morfologi terhadap muka laut rata-rata. Penggambaran profil pantai yang tersusun atas unsur tambak, bakau, pematang pantai, dan laut dangkal secara vertikal. Kedudukan (tinggi) unsur-unsur terhadap muka laut dilakukan berdasarkan metode geodetik yang menggunakan peralatan ukur sifat datar (*levelling*) Sokhiza tipe B2C dan rambu ukur (*rods/staffs*). Peralatan pendukung lain adalah GPS (*Global Positioning System*), kompas, lensa pembesar (*loupe*), dan data pasang-surut yang diperoleh dari alat perekam pasang surut SeaBird Electronic yang dipasang di Pelabuhan Probolinggo. Alat ukur sifat datar digunakan untuk mengetahui beda tinggi unsur morfologi tersebut terhadap muka laut rata-rata sekarang. Posisi geografis lokasi pengukuran ditentukan dengan GPS Garmin 76 XL berakurasi 10 m. Penghitungan muka laut rata-rata (MLR) dilakukan dengan merata-ratakan data pasang-surut yang diperoleh selama penelitian.

Hasil

Perubahan Garis Pantai

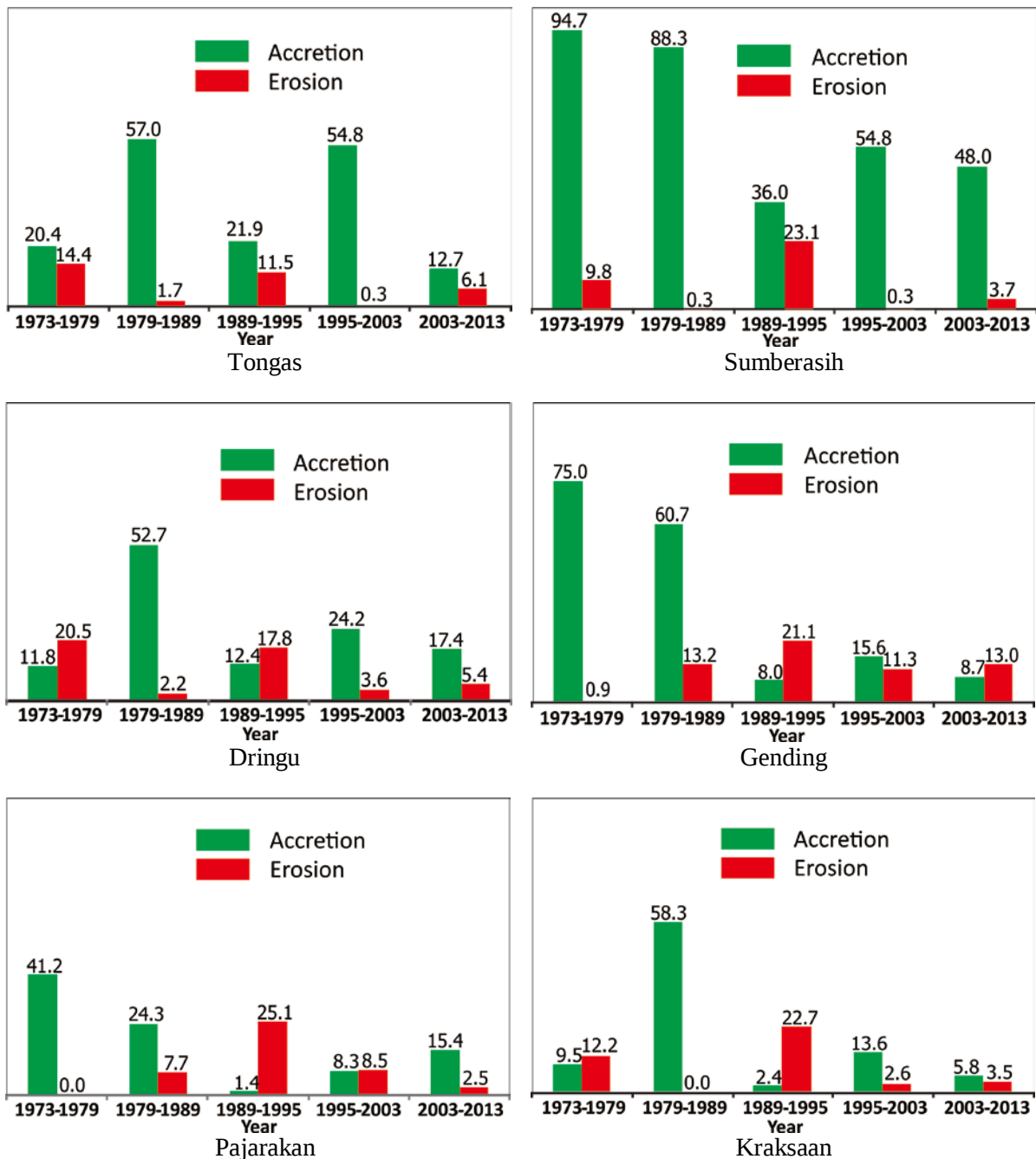
Citra landsat liputan tahun 1973 memperlihatkan bahwa garis pantai di Desa Banjarsari, Kecamatan Sumberasih, hanya berjarak 80 hingga 100 m dari poros jalan raya Surabaya–Banyuwangi. Perkembangan garis pantai selanjutnya terlihat dari citra tahun 1979. Pada periode 1973 hingga 1979, pantai di Kecamatan Sumberasih dan Kecamatan Gending mengalami akresi yang relatif cepat. Pantai di Desa Pajurangan, Kecamatan Gending, mengalami penambahan daratan hingga selebar 250 m ke arah laut, sementara Desa Banjarsari dan Desa Pilang di Kecamatan Sumberasih mengalami penambahan daratan hingga selebar 450 m. Dalam Gambar 2 terlihat bahwa pada periode 1973 hingga 1979, pantai di Kecamatan Sumberasih dan Kecamatan Gending mengalami proses akresi yang relatif cepat, sedangkan proses erosinya sangat kecil.

Pada periode 1979 hingga 1989, akresi pantai masih terus berlanjut dan terjadi di semua wilayah di Kabupaten Probolinggo. Akresi pantai terjadi di Kecamatan Sumberasih (88 ha) dan Kecamatan Gending (60 ha). Pantai di Kecamatan Tongas, penambahan daratan selama 10 tahun tersebut mencapai selebar 160 m, di Kecamatan Sumberasih mencapai selebar 170 m, bahkan pantai di Kecamatan Gending terdapat tempat yang mengalami penambahan daratan hingga selebar 200 m dan di Kecamatan Kraksaan mencapai selebar 150 m.

Selama periode 1989 hingga 1995 terjadi penurunan proses akresi pantai di semua kecamatan di Kabupaten Probolinggo. Menarik untuk diketahui bahwa pada periode tersebut, proses erosi pantai terlihat lebih menonjol dibanding proses akresi. Gambar 2 memperlihatkan bahwa di wilayah Kabupaten Probolinggo bagian timur (Dringu, Gending, Pajarak, dan Kraksaan) proses erosi pantai lebih mendominasi, sementara di bagian barat (Kecamatan Tongas dan Sumberasih) proses akresi pantai masih terus berlanjut, walaupun intensitasnya telah menurun.

Pada periode 1995 hingga 2003 di Kabupaten Probolinggo bagian timur, kecepatan akresi pantai selama 8 tahun berkisar dari 5 sampai 10 ha, sedangkan erosi pantai berada di bawah 5 ha, sehingga dapat dikatakan bahwa walaupun di beberapa tempat terjadi proses erosi, di bagian pantai yang lain masih terjadi proses akresi. Sebaliknya, di wilayah barat, yakni di Kecamatan Tongas dan Sumberasih masih terus terjadi proses akresi yang mencapai lebih dari 50 ha, sementara tidak terjadi proses erosi pantai.

Periode 2003 hingga 2013 memperlihatkan kondisi yang hampir sama dengan periode sebelumnya, yaitu proses akresi masih terus berlangsung di kawasan barat, yakni 10 hingga 40 ha, sementara tidak terjadi proses erosi pantai. Proses akresi di Kabupaten Probolinggo bagian barat masih terus berlangsung, sementara di bagian timur, termasuk Desa Kalibuntu di Kecamatan Kraksaan, kecepatan erosi hampir sebanding dengan kecepatan akresi. Perubahan garis pantai tahun 1973, 1979, 1989, 1995, 2003, dan 2013 di Kabupaten Probolinggo diperlihatkan dalam Gambar 3.

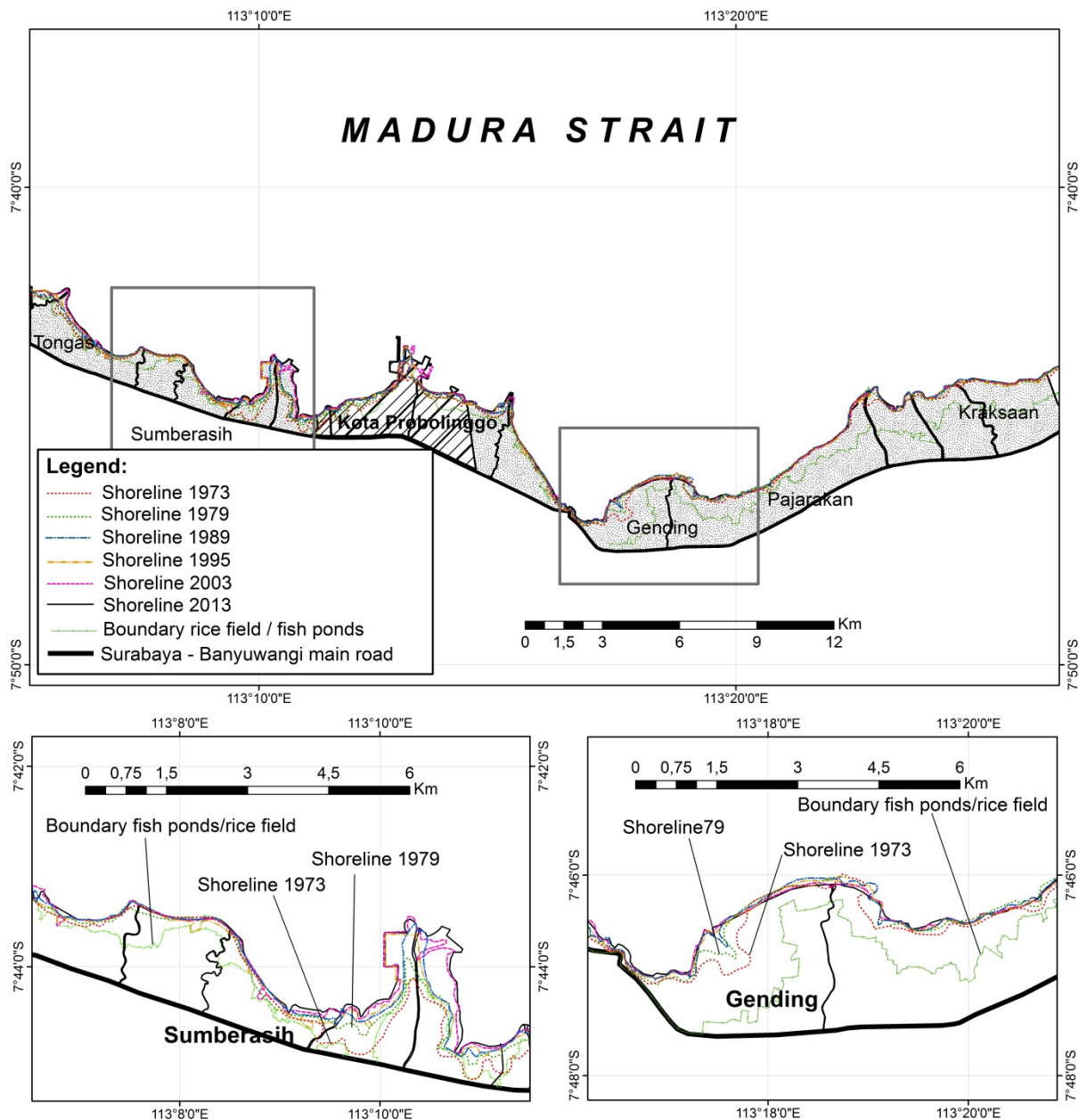


Gambar 2. Grafik perubahan pantai pada tiap-tiap periode dan luasnya (dalam hektare) di masing-masing kecamatan di Kabupaten Probolinggo.

Figure 2. Graphs showing coastal changes and the areas in each period (in hectare) of each district in Probolinggo Regency.

Pusat Penelitian Oseanografi LIPI (2012) melaporkan bahwa Kabupaten Probolinggo, khususnya Desa Kalibuntu sering mengalami bencana rob, yakni banjir yang disebabkan oleh gerak pasang air laut yang terjadi pada saat bulan purnama dan bulan mati. Selama penelitian dilakukan, bencana rob di Kabupaten Probolinggo ternyata tidak hanya terjadi di Desa Kalibuntu, namun terjadi juga di Kecamatan Sumberasih (Kabupaten Probolinggo bagian barat), Dringu, Gending, dan Pajarakan (Kabupaten Probolinggo bagian timur). Terdapat

beberapa alasan mengapa fenomena rob yang terjadi di Desa Kalibuntu (Kecamatan Kraksaan) lebih mengemuka, di antaranya kepadatan penduduk di Kecamatan Kraksaan mencapai 1.800 orang/km², sementara di Kecamatan Gending dan Pajarakan hanya 1.098 orang/km² dan 1.600 orang/km² (BPS Kabupaten Probolinggo, 2015). Selain itu, Desa Kalibuntu merupakan desa pantai dengan penduduk yang relatif padat, sehingga bencana rob mengancam infrastruktur seperti jalan beraspal, tiang listrik, sekolah, dan rumah penduduk.



Gambar 3. Peta garis pantai di Kabupaten Probolinggo tahun 1973, 1979, 1989, 1995, 2003, dan 2013.
Figure 3. Map showing the shoreline of Probolinggo in 1973, 1979, 1989, 1995, 2003, and 2013.

Pemanfaatan Lahan Pesisir

Daerah pesisir Kabupaten Probolinggo merupakan lahan persawahan yang subur dengan irigasi yang tidak pernah kering sepanjang tahun. Daratan yang terbentuk dari material gunung api melalui proses fluvial dan tanah hasil proses pelapukannya merupakan daerah yang subur untuk pertanian. Sebaliknya, daratan yang terbentuk melalui proses marin umumnya kurang sesuai untuk lahan pertanian. Berdasarkan data perkembangan dataran pesisir Kabupaten Probolinggo, yaitu hasil analisis citra landsat dari tahun 1972 hingga 2013 (Gambar 4), akresi pantai yang terbentuk oleh proses fluvial dimanfaatkan oleh penduduk sebagai areal persawahan,

sedangkan yang terbentuk melalui proses marin dimanfaatkan sebagai areal pertambakan. Dalam kurun waktu tersebut, proses marin yang menghasilkan areal pertambakan diduga lebih berperan dibanding proses fluvial yang membentuk areal persawahan.

Pertambahan luas daratan yang terbentuk oleh proses akresi di Kabupaten Probolinggo bagian barat sejak tahun 1973 sebagian besar dijadikan kawasan pertambakan, namun di Kecamatan Sumberasih terlihat adanya areal persawahan yang terbentuk pasca 1973. Citra landsat liputan tahun 2011 memperlihatkan endapan pasir lahar dingin akibat proses fluvial yang berasal dari Gunung Bromo menggenangi

areal persawahan seluas 46,5 ha di Kecamatan Sumberasih (Gambar 4). Data citra tersebut menunjukkan bahwa proses fluvial berperan dalam menghasilkan areal persawahan di pesisir Probolinggo, walaupun persentasenya kecil.

Pembahasan

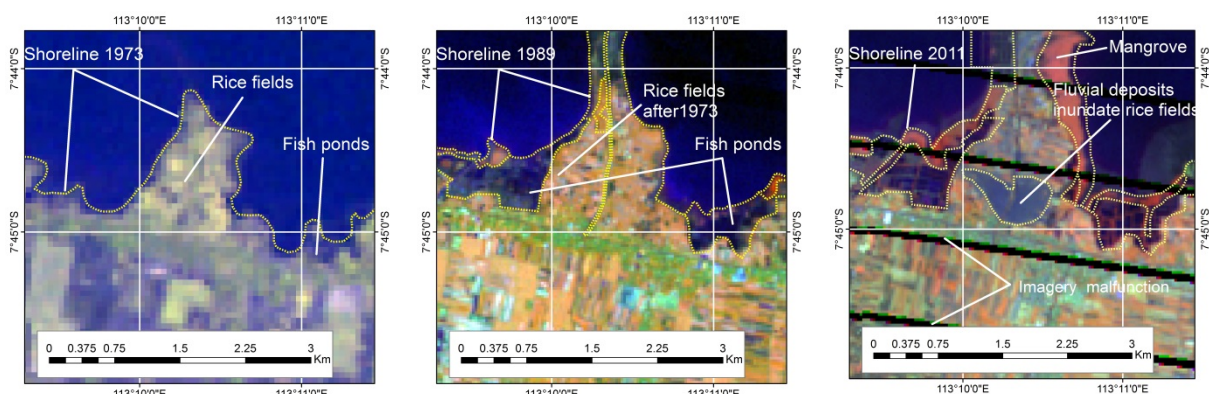
Sejak tahun 1990-an, Kabupaten Probolinggo bagian timur yang meliputi Kecamatan Dringu, Gending, Pajarak, dan Kraksaan telah mengalami erosi pantai dengan kecepatan 0,5 hingga 4,0 ha /tahun (Gambar 2). Laju erosi pantai yang rendah pada setiap periode di Kabupaten Probolinggo diduga disebabkan oleh keberadaan jalur bakau di sepanjang pantai. Pratiwi (2002) in Siswanto et al. (2010) mengemukakan bahwa jalur bakau relatif penting dalam melindungi pantai dari serangan gelombang karena arus yang timbul akibat gelombang di lingkungan bakau menjadi relatif kecil, sehingga pengaruhnya terhadap pengangkutan sedimen menjadi berkurang. Pengangkutan material sedimen di pantai berbakau lebih rendah dibandingkan pantai yang tidak berbakau.

Aliran sungai dari Gunung Bromo umumnya berstadium muda dengan ciri-ciri berpola radial, tidak berkelok-kelok, mempunyai lembah sungai berbentuk 'V', dan pendek (Asriningrum et al., 2004). Apabila terjadi hujan di bagian hulu, maka aliran sungainya sangat deras, sehingga material yang terangkut di dalamnya tidak sempat mengendap di lingkungan darat, sebagian besar akan terangkut dan terendap di bagian muara dan di laut.

Sumber material pembentuk dataran pesisir

Kabupaten Probolinggo dipasok oleh material hasil letusan Gunung Bromo yang diangkut melalui beberapa sungai (Zaennudin, 2011). Citra landsat multitemporal memperlihatkan bahwa perkembangan daratan yang dihasilkan oleh proses akresi pantai sejak tahun 1973 hingga 2013, selama hampir 40 tahun, lebih didominasi oleh lahan pertambahan dibanding lahan pertanian. Material penyusun daratan yang terbentuk oleh proses marin telah mengalami proses pencucian, pelarutan, pemilahan, dan pengangkutan oleh media air laut, sehingga material yang tersisa terdiri atas mineral yang stabil dan berukuran butir seragam. Material dengan karakteristik fisik demikian selain berporositas tinggi, proses pelapukannya akan memakan waktu lebih lama. Selain sifat fisik material daratan yang terbentuk oleh proses marin, Thohiron & Prasetyo (2012) mengemukakan bahwa kadar salinitas dan toksisitas endapan marin mendegradasi kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah.

Proses akresi pantai yang menurun seiring meningkatnya proses erosi pantai diduga terjadi bersamaan dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur di Probolinggo dan sekitarnya yang menyerap pasir sebagai material utama. Keadaan tersebut memicu maraknya penambangan pasir, baik legal maupun ilegal di bagian hulu yang mengakibatkan berkurangnya pasokan material di bagian hilir sungai. Walaupun hingga saat ini belum terdapat publikasi data yang mengungkap secara pasti besarnya penambangan pasir di kawasan Probolinggo, namun maraknya penambangan pasir tersebut telah menggema di media elektronik maupun media cetak (Kompas, 2015; Yuniarto, 2015).



Gambar 4. Garis pantai dan kawasan persawahan tahun 1973 di Kecamatan Sumberasih (kiri), perkembangan lahan persawahan dan pertambakan tahun 1989 (tengah), material pasir melalui proses fluvial menggenangi persawahan seluas 46,5 ha tahun 2011 (kanan).

Figure 4. The shoreline and rice fields in 1973 in Sumberasih District (left), the development of rice fields and fish ponds in 1989 (middle), sand materials from fluvial deposits inundated rice fields covering an area of 46.5 ha in 2011 (right).

Telah banyak kajian dampak penambangan pasir maupun pembangunan dam atau bendungan di bagian hulu sungai terhadap perkembangan garis pantai. Cusker & Daniels (2008) mengungkapkan erosi pantai yang terjadi di Connecticut, Amerika Serikat, sebagai akibat pembangunan dam di bagian hulu sungai. Demikian pula Kumar & Jayappa (2009) mengemukakan dampak perubahan garis pantai sebagai akibat berkurangnya pasokan material dari hulu sungai oleh faktor antropogenik, terutama penambangan pasir ilegal di pantai Someshwar, India. Gupta et al. (2012) juga mengungkapkan bahwa penambangan pasir dan kerakal ilegal yang merupakan gejala umum di sungai-sungai di Asia, sangat berpengaruh terhadap perubahan garis pantai.

Merentang waktu ke belakang, mengacu pada paham *huttonian* yang dikemukakan oleh James Hutton in Krumbein & Sloss (1963): *the present is the key to the past*, sebagian besar areal pertambahan di Kecamatan Pajarak dan Kraksaan diduga merupakan akresi pantai yang didominasi oleh proses marin jauh sebelum tahun 1973, sementara pembangunan infrastruktur pada kala tersebut belum menggeliat.

Kesimpulan

Dataran pesisir Kabupaten Probolinggo terbentuk oleh proses akresi pantai, dengan sumber material yang berasal dari Gunung Bromo yang diangkut melalui sungai pada musim penghujan. Kecepatan akresi pantai mencapai puncaknya pada kurun 1973–1989. Pada kurun 1989–2013 proses akresi masih terus berlanjut di bagian barat, sementara intensitas akresi di bagian timur menurun, diikuti oleh erosi pantai, dengan intensitas yang lebih rendah dibanding proses akresi. Sudah saatnya diperlukan upaya rekayasa mitigasi lingkungan pesisir dan pantai serta evaluasi penambangan pasir untuk mencegah risiko ancaman erosi pantai.

Persantunan

Penelitian ini dibiayai dari DIPA LIPI tahun anggaran 2011/2012 dan tahun anggaran 2012/2013. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdri. Pradina Purwati, M.Sc. selaku koordinator penelitian yang telah memberikan kesempatan dalam penelitian sesuai minat penulis.

Daftar Pustaka

- Asriningrum W, H Noviar & Suwarsono. 2004. Pengembangan metode zonasi daerah bahaya letusan gunung api studi kasus Gunung Merapi. *Jurnal Pengindraan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 1(1): 66–75.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Probolinggo. 2015. *Kabupaten Probolinggo dalam angka*.
- Bronto S. 2006. Fasies gunung api dan aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1(2): 59–71.
- Chavez P. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24: 459–479.
- Gilman EL, J Ellison, NC Duke & C Field. 2008. Threats to mangroves from climate change and adaptation options. *Aquatic Botany*, 89(2): 237–250.
- Gupta H, Shuh-Ji Kao & M Dai. 2012. The role of mega dams in reducing sediment fluxes: A case study of large Asian rivers. *Journal of Hydrology*: 447–458.
- Harley SJ, RA Myers & A Dunn. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58(9): 1760–1772.
- Katili JA. 1974. Geological environment of the Indonesian mineral deposits: a plate tectonic approach. *Publikasi Teknik Seri Geologi Ekonomi*, 7: 1–17.
- Kompas, 2015. 25 Tambang pasir ilegal di Probolinggo sudah ditutup. [<http://regional.kompas.com/read/2015/10/20/21585861/25.Tambang.Pasir.Ilegal.di.Probolinggo.Sudah.Ditutup>]. 15 Oktober 2015.
- Krumbein WC & LL Sloss. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*. W.H Freeman & Co, 2nd edition. 660 pp.
- Kumar A & KS Jayappa. 2009. Long and short-term shoreline changes along Mangalore Coast, India. *International Journal of Environmental Research*, 3(2): 177–188.
- Mc Cusker & MD Daniels. 2008. The potential influence of small dams on basin sediment dynamics and coastal erosion in Connecticut. *Middle States Geographer*, 41: 82–90.
- Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. 2012. Dampak Fenomena Rob terhadap Lingkungan Pesisir dan Ketahanan Pangan di Wilayah Pantura Kabupaten Probolinggo Jawa Timur. *Laporan Akhir*, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta.

- Pusat Pengembangan Geologi Kelautan (PPGL). 1994. *Penyelidikan geologi lingkungan pantai dan lepas pantai perairan Besuki dan sekitarnya*, Jawa Timur. Dept. Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung. 68 pp.
- Rahayu, DP Ariyanto, Komariah, S Hartati, J Syamsiah & WS Dewi. 2014. Dampak erupsi Gunung Merapi terhadap lahan dan upaya-upaya pemulihannya. *Caraka Tani – Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian*, XXIX(1): 61–72.
- Setyandito & Triyanto. 2007. Analisa erosi dan perubahan garis pantai pada pantai pasir buatan dan sekitarnya di Takisung, Propinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(3): 224–235.
- Siswanto AD, WA Pratikto & Sunyoto. 2010. Analisa stabilitas garis pantai di Kabupaten Bangkalan. *Ilmu Kelautan*, 15(4): 221–230.
- Sukardjo S. 2010. Biodiversity and ecological conservation of mangroves in Indonesian South China Sea Areas: a botanical exploration of mangrove ecosystems. *Journal of Science and Technology in the Tropics*, 6: 135–155.
- Thohiron M & H Prasetyo. 2012. Pengelolaan lahan dan budidaya tanaman lahan terdampak lumpur marine Sidoarjo. *J-PAL*, 3(1): 19–27.
- Yunianto A. 2015. Aktivitas Penambangan Pasir Batu Resahkan Warga. Sindonews.com [http://daerah.sindonews.com/read/1015184/22/aktivitas-penambangan-pasir-batu-resahkan-warga-1434880482]. 21 Juni 2015.
- Zaennudin A. 2011. Perbandingan antara erupsi G. Bromo tahun 2010–2011 dan erupsi kompleks G.Tengger. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 2(1): 21–37.