

ANALISIS PROSES SEDIMENTASI DI TAPAK PELABUHAN PALABUHANRATU-KABUPATEN SUKABUMI

ANALYSIS ON SEDIMENTATION PROCESS AT THE PORT SITE OF PALABUHANRATU-SUKABUMI REGENCY

Dida Kusnida*, Mira Yosi, Sonny Mawardi, Joni Widodo dan Lukman Arifin

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran 236 Bandung

*dida.kusnida@esdm.go.id

Diterima : 22-07-2020, Disetujui : 22-10-2020

A B S T R A K

Di Palabuhanratu - Kabupaten Sukabumi, sedang dibangun pelabuhan baru untuk mempermudah konektivitas antar wilayah di Jawa Barat selatan dan diharapkan dapat menjadi pelabuhan lintas provinsi yang mampu mengangkat pertumbuhan ekonomi khususnya di bidang wisata bahari. Namun demikian, saat ini perkembangan pembangunan pelabuhan tersebut nampaknya menghadapi masalah sedimentasi yang cepat di kedua sisi jembatan dan dermaga. Untuk itu, analisis proses sedimentasi di tapak pelabuhan ini dibuat dengan tujuan sebagai bahan referensi studi kasus. Data citra satelit resolusi tinggi menunjukkan bahwa luasan sedimentasi di tapak pelabuhan ini sudah mendekati 20,000 m², sedangkan data hidro-oseanografi mensiratkan bahwa bangunan pemecah gelombang di lepas pantai, diduga membangkitkan difraksi gelombang laut dan arus sepanjang pantai sekaligus sebagai perangkap sedimen membentuk tembolo.

Kata kunci : Palabuhanratu, sedimentasi, pemecah gelombang, arus memanjang pantai, tembolo.

A B S T R A C T

In Palabuhanratu - Sukabumi Regency, a new port is being built to facilitate the connectivity between regions in southern West Java and is expected to become an inter-provincial port that can promote economic growth, especially in the field of marine tourism. However, at present the development of port construction seems to face the problem of rapid sedimentation on both sides of the trestle and jetty. Therefore, the analysis of the sedimentation process at the port site is intended as a reference of case study. Analysis of high-resolution satellite imagery data shows that the area of sedimentation at this port site is approaching 20,000 m², while hydro-oceanographic data analysis implies that offshore breakwater is thought to generate wave diffraction and longshore current as well as sediment trap forming tembolo.

Keywords: Palabuhanratu, sedimentation, breakwater, longshore current, tembolo.

PENDAHULUAN

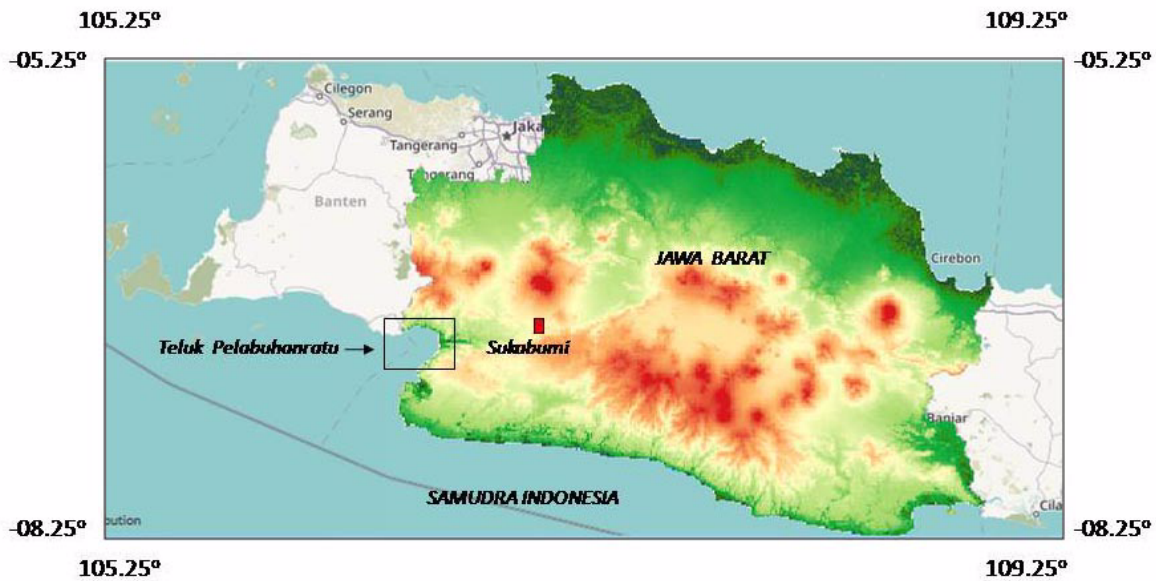
Wilayah pesisir merupakan pertemuan antara daratan dan lautan yang membawa dampak cukup signifikan terhadap pembentukan karakteristik spesifik wilayah tertentu (Wahyudin, 2011). Salah satu proses alam di sepanjang pesisir yang disebabkan oleh mekanisme pergerakan angin dan

air laut adalah dinamika perubahan garis pantai. Proses ini melibatkan proses erosi wilayah pesisir di satu tempat serta pengendapan sedimen yang dibawanya di tempat lain secara simultan mengikuti pola musim.

Pesisir Palabuhanratu (Gambar 1), terletak kira-kira 60 km arah baratdaya dari Kota

Kontribusi:

Dida Kusnida adalah sebagai kontributor utama pada artikel ini, sedangkan Mira Yosi, Sonny Mawardi, Joni Widodo dan Lukman Arifin adalah sebagai kontributor anggota.



Gambar 1. Lokasi TelukPalabuhanratu-Jawa Barat dalam Raster DEM SRTM Jawa Barat resolusi spasial 30 meter. (Sumber: <https://spbn.pusfatja.lapan.go.id>, 2020)

Sukabumi-Jawa Barat, merupakan pantai teluk yang berhadapan langsung dengan Samudera Indonesia di sebelah barat-baratdaya dengan karakter yang unik berupa perpaduan antara pantai curam dan pantai landai berpasir, karang-karang terjal dengan hempasan gelombang dahsyat dan hutan-hutan cagar alam lainnya. Sungai-sungai utama yang bermuara di Teluk Palabuharatu sebagai pemasok sedimen hasil erosi di daratan diantaranya adalah Sungai Cimandiri, Sungai Citepus, Sungai Cibareno, Sungai Citiis, Sungai Cimaja, Sungai Cisukawayana dan Sungai Cipalabuhan (*Atlas Pesisir dan Laut Jawa Barat Bagian Selatan*, 2001). Secara administrasi, Teluk Palabuhanratu dibatasi oleh daerah-daerah sebagai berikut: sebelah selatan, berbatasan dengan Kecamatan Ciemas, Kecamatan Waluran dan Kecamatan Lengkon; sebelah utara, berbatasan dengan Kabupaten Banten, Kecamatan Kabandungan dan Kecamatan Cikidang; sebelah baratdaya, berbatasan dengan Samudra Indonesia; sedangkan sebelah timur, berbatasan dengan Bantar Gadung, Kecamatan Warungkiara dan Kecamatan Lengkon.

Menurut Sukanto (1975) secara geologi daerah pesisir Palabuhanratu termasuk ke dalam batuan Komplek Subduksi Pantai Selatan yang merupakan bagian dasar (*basement*), terdiri atas batuan sekis, filit dan kuarsit serta diintrusi oleh batuan beku ultrabasa. Di atas batuan dasar ini selanjutnya diendapkan batuan konglomerat polimik dan Formasi Bayah yang tersusun atas batupasir. Selanjutnya diendapkan Formasi

Jampang, yang tersusun atas satuan batuan sedimen vulkanik dan non vulkanik dengan batuan penyusunnya berupa breksi gunungapi, batupasir tufaan, batu tufa gampingan, batu gamping dan napal. Endapan Aluvium Kuartar (Holosen) merupakan satuan batuan termuda di daerah ini yang tersusun atas lumpur, lempung, lanau, pasir dan kerikil. Namun demikian, endapan lepas yang terdapat di sepanjang pesisir Teluk Palabuharatu khususnya yang berupa endapan pasir pantai, tidak tercermin pada peta geologi regional tersebut di atas.

Melalui kajian fisiografi Jawa Barat, Alif (2011) berdasarkan kerangka stratigrafi dan kerangka tektonik yang diwakili oleh struktur geologi yang berkembang di daerah tersebut, menyimpulkan bahwa geografi daerah Palabuhanratu-Sukabumi yang tampak pada saat ini diperkirakan setidaknya telah terbentuk sejak Plistosen atau Plisto-Holosen.

Sejak tahun 2015 hingga saat ini, Kementerian Perhubungan melalui Kantor Unit Penyelenggara Pelabuhan Kelas III Palabuhanratu mengembangkan fasilitas pelabuhan di Kabupaten Sukabumi. Pembangunan pelabuhan regional ini meliputi pembangunan jalan lintas (*causway*), jembatan (*trestle*), dermaga (*jetty*), dan lanjutan pemecah gelombang lepas pantai (*detached emerge breakwater*). Palabuhanratu diharapkan dapat menjadi pelabuhan lintas provinsi sehingga dapat mengangkat pertumbuhan ekonomi di bidang wisata laut, disamping sebagai pelabuhan pengumpan yang melayani kegiatan angkutan laut

dalam negeri dalam jumlah volume terbatas. Namun demikian, dalam perkembangannya pembangunan pelabuhan ini tampak menghadapi masalah sedimentasi di kedua sisi *trestle* dan *jetty* pelabuhan.

Fenomena terjadinya proses sedimentasi di tapak pelabuhan ini sangat jelas terlihat dari data citra satelit resolusi tinggi dengan luasan yang dapat dipetakan. Seperti kita ketahui bahwa pemetaan tematis dengan menggunakan data satelit resolusi tinggi sudah banyak digunakan, hal ini dikarenakan observasi terhadap objek pemetaan dari data satelit tidak memerlukan waktu yang lama dan dapat dilakukan dengan biayanya yang relatif murah.

Aplikasi pemanfaatan data satelit sangatlah beragam tergantung dari sasaran dan objek yang akan dipetakan dengan segala karakteristik dan resolusi yang digunakan. Kusnida dkk (2003) menggunakan citra Landsat TM dalam penelitian sedimentasi dan perubahan garis pantai di perairan Segara Anakan; Restuning dan Handayani (2007) menggunakan data citra dari USGS tahun 1973-2006 dalam pemetaan pola gempa bumi di Indonesia; Kusnida dan Astjario (2008) menggunakan data satelit ASTER untuk studi pemantauan perubahan wilayah ruang pesisir Jawa Barat baik perubahan garis pantai kaitannya dengan proses abrasi dan akresi serta perubahan tutupan lahan termasuk di daerah Teluk Palabuhanratu). Simbolon (2010) menggunakan data citra modis untuk penentuan daerah penangkapan ikan dengan menganalisis suhu permukaan laut; serta Puspitasari dkk. (2016) menggunakan data satelit untuk pemetaan geologi Lembar Mojokerto, Jawa Timur.

Peristiwa terjadinya proses sedimentasi dan abrasi akibat dibangunnya infrastruktur laut seperti *groyn*, *trestle*, *breakwater* dan *jetty* atau dermaga pelabuhan, sebenarnya merupakan masalah yang sudah sering terjadi di Indonesia seperti di Tanahlot-Bali (Mudana, 2000). Yuwono (2019), menemukan banyak kasus erosi dan sedimentasi di beberapa pelabuhan di Indonesia seperti di Pelabuhan Pulau Baai - Bengkulu yang mengalami sedimentasi parah sebesar $600,000 \text{ m}^3$ pertahun. Demikian pula Pelabuhan ikan Tanjung Adikarto di Kulonprogo yang mengalami sedimentasi sekitar $700,000-1,000,000 \text{ m}^3$ pertahun dan masih banyak terjadi di pelabuhan-pelabuhan lainnya. Oleh sebab itu *breakwater* di daerah pesisir laut sering kali dibangun mengingat manfaatnya yang baik dalam melindungi daerah

pantai sejauh dibuat dengan mempertimbangkan dan memperhatikan berbagai faktor diantaranya adalah karakteristik hidro-oseanografi daerah setempat.

Dengan mempelajari dan memahami proses sedimentasi di banyak pelabuhan di Indonesia, tulisan ini diarahkan untuk menganalisis proses sedimentasi yang terjadi di perairan Palabuhanratu-Kabupaten Sukabumi berdasarkan hipotesis multi waktu (*time series*) data satelit, serta proses hidro-oseanografi yang timbul di daerah tersebut sebelum dan setelah dibangunnya infra struktur pelabuhan dengan tujuan sebagai bahan referensi studi kasus.

METODE

Metode yang digunakan adalah kajian yang bersifat hipotetis yang didukung dengan tinjauan pustaka hasil penelitian terdahulu dimana teori-teori yang diajukan berkaitan dengan fenomena alam. Penggunaan data sekunder citra satelit multi waktu (*time series*) resolusi tinggi pesisir Palabuhanratu diarahkan sebagai bahan analisis perubahan luas dan tutupan lahan serta karakteristik wilayah pesisir. Penghitungan luasan daerah terdampak sedimentasi adalah dengan cara *plotting on screen* objek pantai dengan perangkat lunak pemetaan digital. Namun demikian, perbandingan data sekunder citra satelit ini masih mempunyai kelemahan dikarenakan tidak ada keterangan waktu dan situasi serta kondisi yang pasti kapan data citra satelit pembanding tersebut direkam. Demikian pula penambahan daerah sedimentasi belum dapat dilakukan secara multi waktu, kecuali dirata-ratakan pertahun. Data dan model arus regional perairan Jawa Barat selatan serta data prediksi angin, digunakan untuk rona awal dan prediksi gelombang di Pelabuhanratu sebelum dan setelah infrastruktur pelabuhan dibangun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemanfaatan teknologi dan data citra satelit dalam kegiatan pemetaan telah banyak digunakan oleh para peneliti saat ini dan berkembang dengan cepat. Menurut Siregar (2010) kemajuan ini dicapai berkat diluncurkannya satelit dengan sensor indraja yang mempunyai resolusi spasial tinggi, seperti Ikonos (resolusi spasial antara 1-4 m) pada tahun 1995 dan QuickBird (resolusi spasial 0,65 m) pada tahun 2010 yang memungkinkan fitur-fitur di permukaan bumi dengan luasan beberapa meter saja dapat

terobservasi dengan baik. Citra satelit yang digunakan dalam tinjauan ini diunduh dari Google Earth pada tahun yang berbeda yaitu tahun 2014 dan 2020. Data satelit multi waktu ini mampu mendeteksi permukaan bumi secara virtual dengan resolusi yang cukup baik, namun

November), angin relatif lebih kencang dengan kecepatan maksimum melebihi 34 knot. Sedangkan hasil data angin di Stasiun Maranginan dari tahun 1985 – 1991 (Hartami, 2008), diperoleh gambaran secara keseluruhan bahwa angin dominan bertiup dari Tenggara (22,6%) dan dari

Tabel 1. Distribusi kecepatan dan arah angin maksimum Stasiun Cilacap (1979-2007)

Arah	Kecepatan (knot)						Jumlah Angin kuat	Frekuensi Angin kuat (%)
	≤10	11 - 16	17 - 21	22 - 27	28 - 33	> 34		
Utara	362	36	1	0	0	1	400	7,78
Timur Laut	14	1	0	0	0	0	15	0,29
Timur	220	36	1	0	1	0	258	5,02
Tenggara	1643	544	24	1	1	7	2220	43,17
Selatan	489	48	1	0	0	2	540	10,50
Barat Daya	191	14	1	0	0	0	206	4,01
Barat	749	86	7	2	3	3	850	16,53
Barat Laut	584	59	3	3	1	3	653	12,70
Subtotal	4252	824	38	6	6	16	5142	100

umumnya dicakup dalam resolusi 15 meter. Google Earth/ Citra Satelit mampu menunjukkan semua gambar di permukaan bumi dan dapat menunjukkan data geospasial serta memiliki kemampuan untuk memperlihatkan luasan areal dan bangunan serta struktur seperti jembatan dan lain sebagainya.

Hidro-oseanografi Teluk Palabuhanratu

Teluk Palabuhanratu merupakan wilayah pesisir yang berbatasan langsung dengan laut lepas yaitu Samudra Indonesia. Kompleksitas dinamika perubahan garis pantai di daerah ini sangat dipengaruhi oleh gabungan faktor angin, gelombang laut, arus, transport sedimen serta karakteristik pantai itu sendiri.

Angin

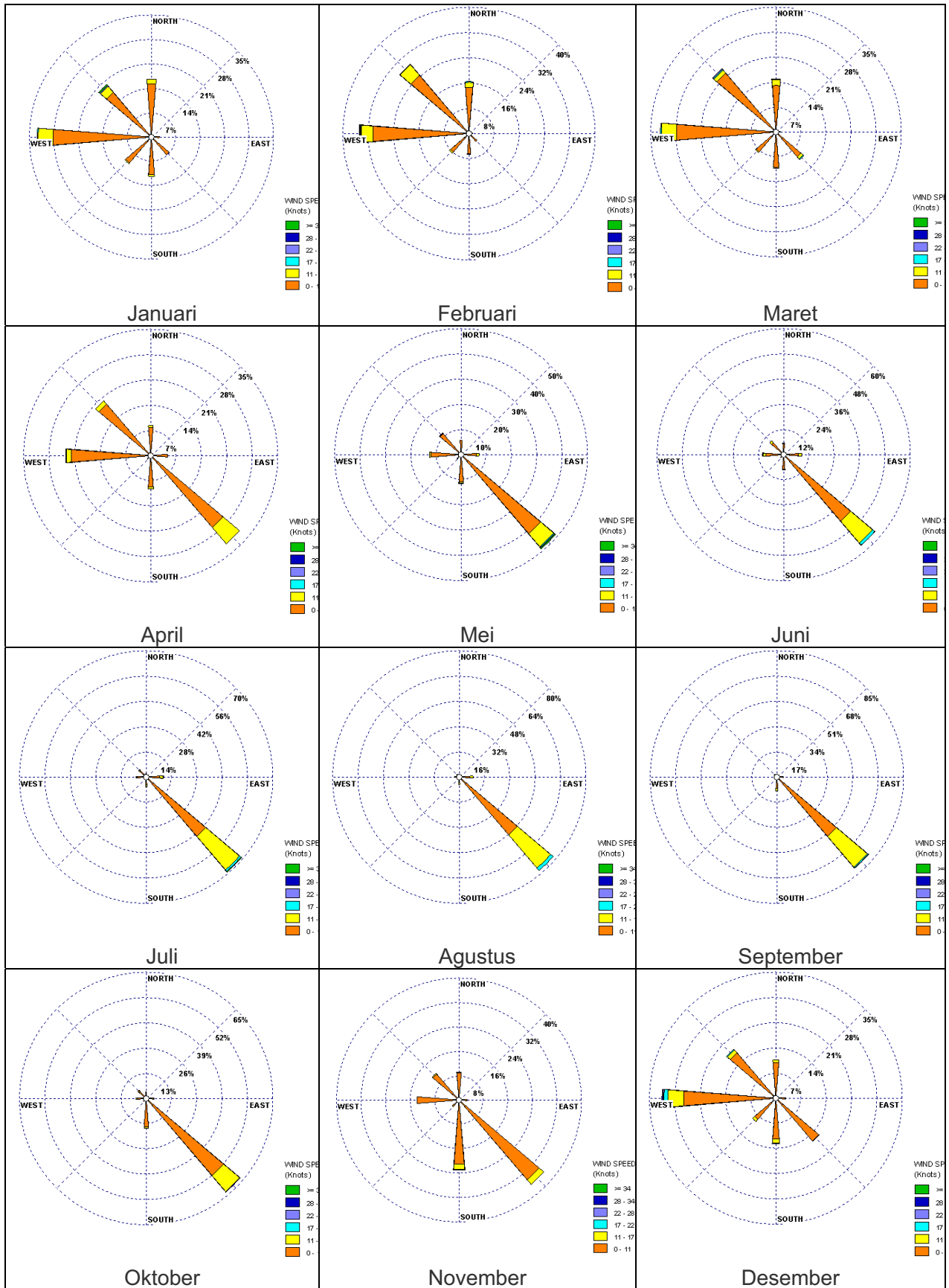
Kawasan pantai selatan mempunyai pola angin yang dipengaruhi oleh musim Barat dan musim Timur. Hasil dari analisis frekuensi data kecepatan dan arah angin BMKG untuk Stasiun Cilacap selama 18 tahun (1979-2007), menunjukkan bahwa frekuensi kecepatan angin maksimum adalah angin Tenggara yaitu sebesar 43,17 %, disusul angin Barat sebesar 16,5%, angin Baratlaut sebesar 12,7% serta angin Selatan 10,5%. Sedangkan dari arah yang lain, frekuensinya kurang dari 10%. Tabel 1. menunjukkan distribusi kecepatan dan arah angin yang dikelompokkan berdasarkan skala Beauford. Selama periode angin Tenggara (April -

Barat (13,6%). Arah angin dominan berdasarkan bulan dapat dilihat pada Table 2 dan Gambar 2.

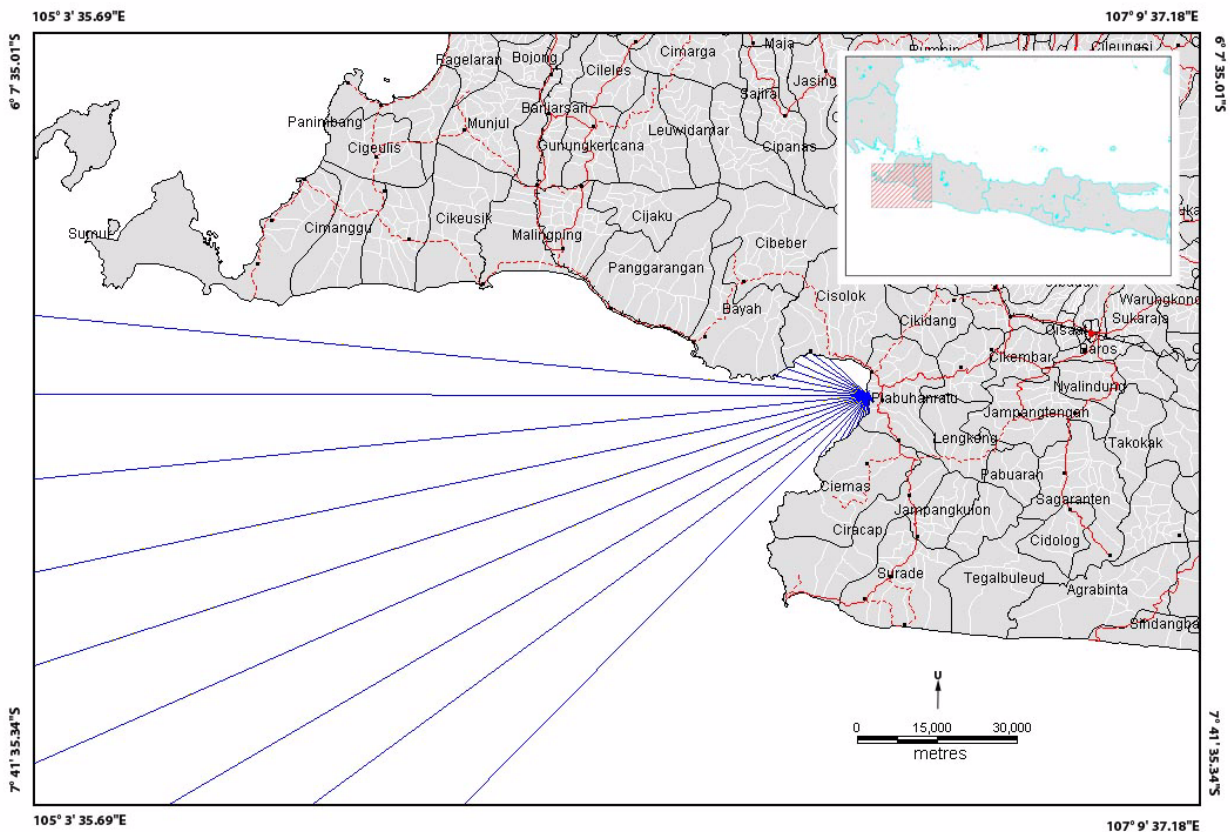
Dari hasil analisis data angin Stasiun Cilacap dan Maranginan tersebut dapat disimpulkan bahwa angin Tenggara relatif lebih dominan untuk wilayah pantai selatan Jawa. Akan tetapi karena pantai Palabuhanratu relatif menghadap ke Barat, maka angin yang dapat membangkitkan gelombang yang berpengaruh dalam proses dinamika pantai Palabuhanratu ini adalah angin Barat dan Baratdaya. Gambar 3, memperlihatkan ilustrasi arah *fetch* (panjang daerah pembangkitan gelombang pada arah datangnya angin) pantai Palabuhanratu adalah dari Barat dan Baratdaya.

Table 2. Arah Angin dominan Stasiun Cilacap

Bulan	Angin
Januari	Barat
Februari	Barat
Maret	Barat
April	Tenggara
Mei	Tenggara
Juni	Tenggara
Juli	Tenggara
Agustus	Tenggara
September	Tenggara
November	Tenggara
Desember	Barat



Gambar 2. Windrose Stasiun Cilacap (1979-2007)



Gambar 3. *Fetch* di Teluk Palabuhanratu

Fetch ini dibuat berdasarkan arah angin yang paling dominan yang berasal dari arah laut.

Gelombang

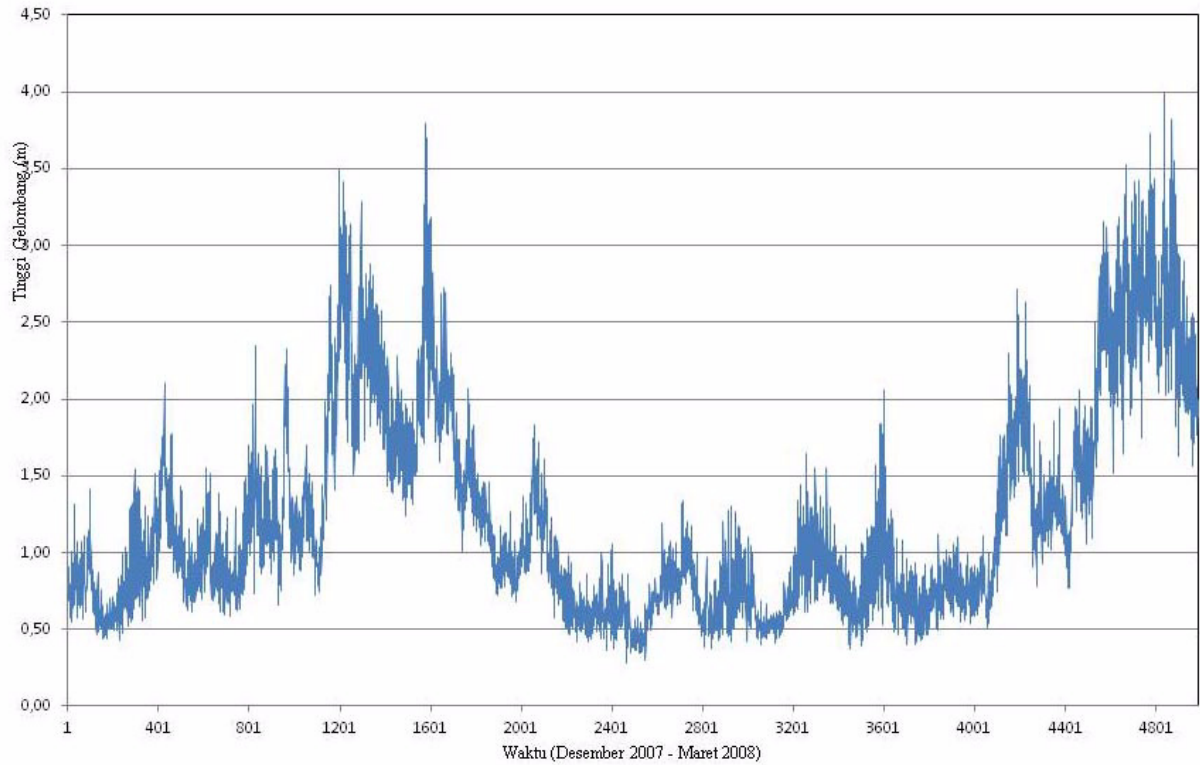
Gelombang merupakan faktor penting didalam proses dinamika pantai, perencanaan pelabuhan dan bangunan pantai lainnya. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut), letusan gunung api atau gempa di laut (tsunami), gerakan kapal dan sebagainya (Triatmodjo, 1999). Gelombang yang dibangkitkan oleh angin-angin kuat, sesampainya di pantai akan melepaskan energinya dalam bentuk pecahnya gelombang yang memungkinkan terjadinya perubahan garis pantai. Dilihat dari sifatnya, terdapat dua jenis gelombang yaitu gelombang pembangun/pembentuk pantai (*constructive wave*) dan gelombang perusak pantai (*destructive wave*). Gelombang dengan ketinggian dan kecepatan rambat rendah adalah termasuk gelombang pembentuk pantai. Sedangkan gelombang perusak pantai mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar. Dari hasil pengukuran gelombang di Palabuhanratu selama 3 bulan (Desember 2007 – Maret 2008), diperoleh bahwa tinggi gelombang maksimum sebesar 3,99 m

dengan arah dominan dari Barat, sedangkan periode rata-rata adalah 10,77 detik. Sedangkan tinggi gelombang rata-rata selama pengukuran tersebut adalah 1,26 m (Gambar 4.).

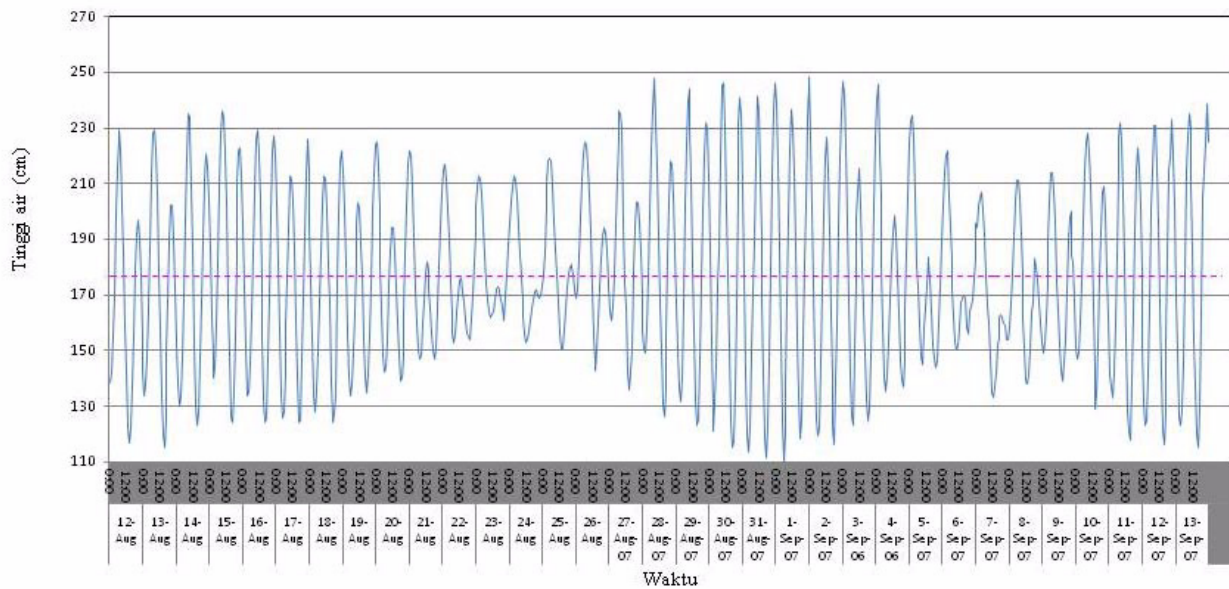
Pasang Surut

Perairan Palabuhanratu mempunyai tipe pasang semi diurnal, yaitu dalam sehari terjadi dua kali pasang dan surut dengan ketinggian pasang pertama dengan ke dua tidaklah sama. Hasil pengamatan pasang surut di Palabuhanratu selama 1 bulan (12 Agustus - 13 September, 2007) didapatkan tunggang pasang sebesar 138.00 cm (Gambar 5).

Kesetimbangan dinamis antara proses hidro-oseanografi dan suplai sedimen dari daratan serta kondisi geologi adalah faktor yang selama ini telah membentuk karakteristik pesisir dan laut Palabuhanratu. Hasil pemetaan karakteristik pantai segmen pesisir Teluk Palabuhanratu - Bayah yang dilakukan oleh Setiady dan Sarmili (2015), dapat dibagi menjadi empat tipe pantai, masing-masing adalah 1). Pantai dataran rendah yang dicirikan oleh kemiringan paras pantai kurang dari 10°, tersusun oleh pasir lepas dan menempati daerah akresi.; 2). Pantai perbukitan bergelombang, dengan kemiringan paras pantai



Gambar 4. Tinggi Gelombang hasil Pengukuran di Palabuhanratu



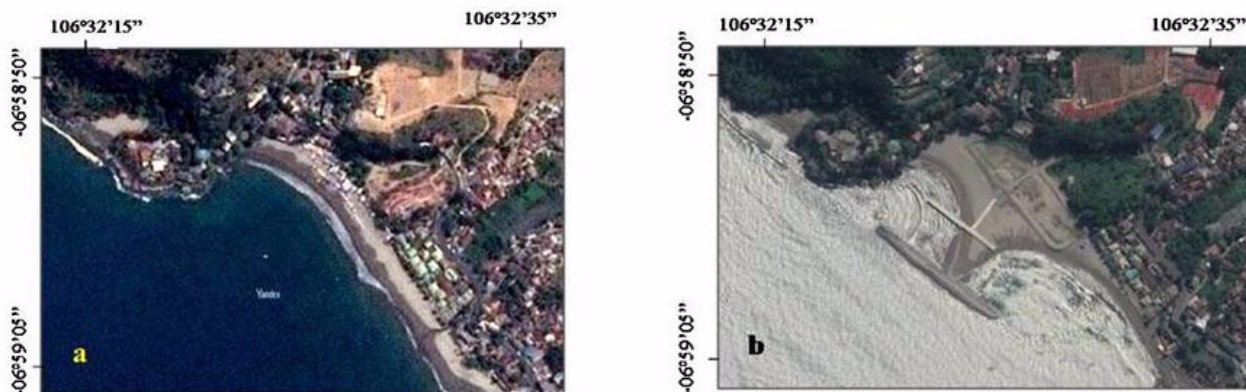
Gambar 5. Grafik Pasang Surut Palabuhanratu (12 Agustus - 13 September 2007)

antara 10° - 15° berupa kerikil berpasir hingga bongkah didominasi oleh proses akresi.; 3). Pantai dengan relief sedang-terjal, kemiringan paras pantai 15° dan di beberapa lokasi dapat mencapai 20° , sedimen pantai berpasir dengan tebing pantainya berupa singkapan batuan lava andesit.; 4). Pantai yang dicirikan oleh relief yang terjal, paras pantai satuan batuan berupa sedimen pantai berupa pasir, breksi, dan terumbu karang dengan proses dominan abrasi.

Peta karakteristik pantai tersebut menunjukkan bahwa daerah tapak pelabuhan menempati pantai dataran rendah dengan kemiringan paras pantai kurang dari 10° tersusun oleh pasir lepas dengan panjang mencapai beberapa kilometer dan lebar sekitar puluhan sampai ratusan meter (Setiady dan Sarmili, 2015). Pesisir Palabuhanratu berhadapan langsung dengan Samudera Indonesia di sebelah selatan-baratdaya dimana terjadi proses kesetimbangan dinamis antara suplai sedimen dari daratan dan aktivitas hidro-oseanografi membentuk pantai pasir selama ini dan berjalan secara evolutif tanpa turut campur tangan manusia (Gambar 6a). Komar

gelombang datang yang menuju pesisir Palabuhanratu setelah melewati *breakwater* membentuk arus sepanjang pantai (*longshore current*) yang masing-masing mengarah ke kedua sisi *trestle-jetty* yang selanjutnya membawa dan mengendapkan material sedimen karena terjadi perlambatan *longshore current* akibat adanya struktur *breakwater* lepas pantai.

Mengacu kepada Medina (2019), pemecah gelombang lepas pantai di Palabuhanratu termasuk kedalam jenis pemecah gelombang lepas pantai yang muncul di atas permukaan laut (*detached emerge breakwaters.*), yang dibangun dengan tujuan untuk melindungi aktivitas di sepanjang garis pantai seperti pelabuhan dan dermaga kapal dari aksi gelombang. Alasan pemecah gelombang lepas pantai umumnya dibangun sejauh mungkin dari zona selancar (*surf-zone*) adalah untuk meminimalkan dampak pada morfologi pantai. Namun pada kenyataannya menunjukkan bahwa hal tersebut sangat sulit dilaksanakan karena pemecah gelombang lepas pantai sering menyebabkan akumulasi sedimen di zona selancar serta mengakibatkan efek erosi di daerah yang

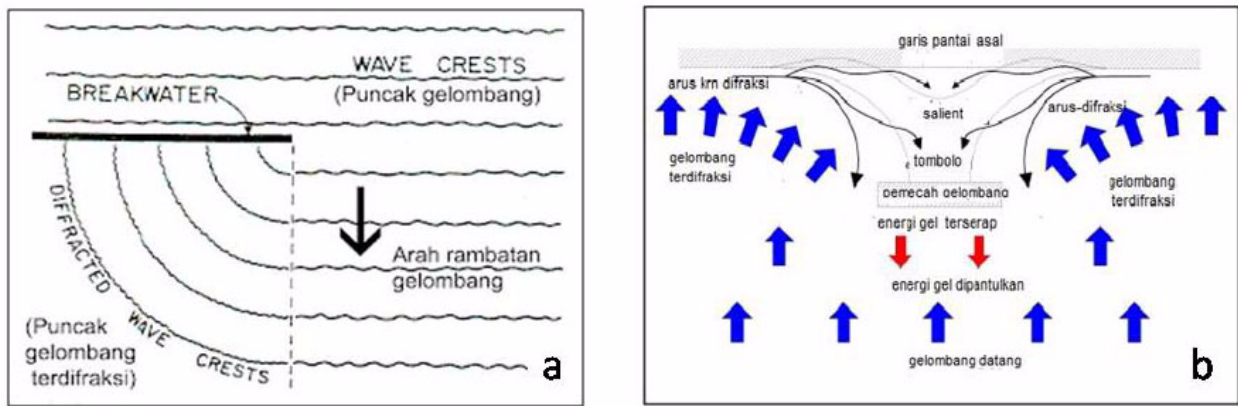


Gambar 6. Citra satelit pesisir Teluk Palabuhanratu sebelum dan setelah dibangun *breakwater* (Sumber citra satelit : *Google Earth*, tahun 2014 dan 2020)

(1983) dan Mangor dkk (2017), menyatakan bahwa ketika gelombang pecah dan membuat sudut dengan pantai, maka selanjutnya gelombang ini akan menghasilkan *longshore current* yang sebagian besar mengalir sejajar dengan garis pantai. Arus ini, pada gilirannya berinteraksi dengan gelombang untuk menghasilkan transportasi pasir sepanjang pantai. Dari data citra satelit (Gambar 6b), tampak terdapat dua rejim bangkitan gelombang laut datang (*incoming waves*) yang mendekati pesisir di kiri dan kanan *causway-trestle-jetty Palabuhanratu*. Dengan mengacu kepada teori dan model Komar (1983), boleh jadi

berdekatan. Ilustrasi mekanisme penjalaran puncak gelombang datang (*incoming wave crests*) hingga menjadi puncak gelombang terdifraksi (*diffracted wave crests*) di Palabuhanratu ditunjukkan dalam (Gambar 7a). Sedangkan ilustrasi bagaimana tombolo di Palabuhanratu terbentuk oleh hasil difraksi dan refraksi gelombang ditunjukkan dalam Gambar 7b.

Gambar 7a menunjukkan bagaimana deretan gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah. Jika

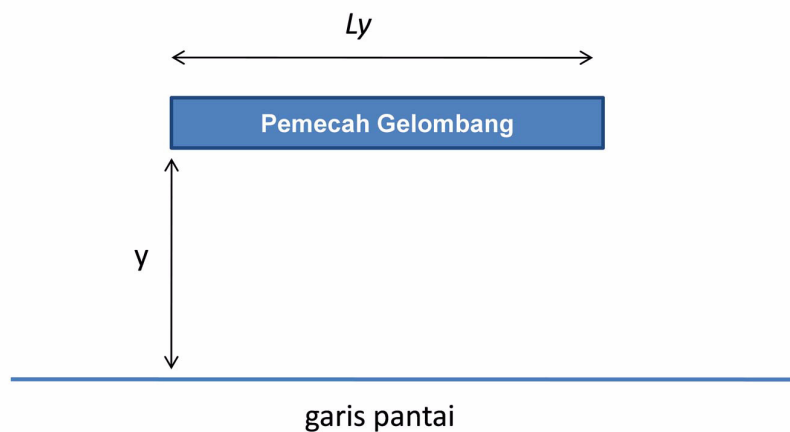


Gambar 7. a) Ilustrasi difraksi gelombang di daerah bayangan suatu penghalang gelombang (*breakwater*) di lepas pantai (Komar, 1976).
b) Ilustrasi arah penjalaran gelombang, arus dan pertumbuhan tombolo di sekitar daerah *breakwater* (diadopsi dari Azhar, 2012).

gelombang dari arah laut menuju garis pantai terhalang oleh suatu rintangan (*breakwater*) maka gelombang akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah di belakang rintangan (*breakwater*). Di sepanjang puncak gelombang akan terjadi difraksi gelombang, yaitu peristiwa berpindahnya energi di sepanjang puncak gelombang ke arah yang terlindungi. Selanjutnya Gambar 7b menerangkan bagaimana difraksi gelombang yang disertai dengan angkutan sedimen menuju ke daerah terlindung dan diendapkan di perairan di belakang bangunan *breakwater*, sehingga menyebabkan terbentuknya *cusate/salient* atau tonjolan endapan pasir (William and Joan, 1986). Proses tersebut akan berlanjut sampai garis pantai yang sejajar dengan garis puncak gelombang yang terdifraksi. Pada keadaan tersebut transport sedimen sepanjang pantai menjadi no 1. *Cusate* akan terus berkembang hingga akhirnya membentuk tombolo. Dengan terbentuknya tombolo ini, maka transport sedimen sepanjang pantai akan terhalang atau terperangkap yang berakibat terjadinya erosi pantai di bagian lainnya. Sedimen yang membentuk tombolo lebih kasar ke arah bawah dan makin ke permukaan akan makin halus.

Terbentuknya tombolo dapat dicegah dengan merencanakan panjang pemecah gelombang lepas pantai dan jarak antara bangunan dengan garis pantai. Tombolo terjadi apabila jarak antara

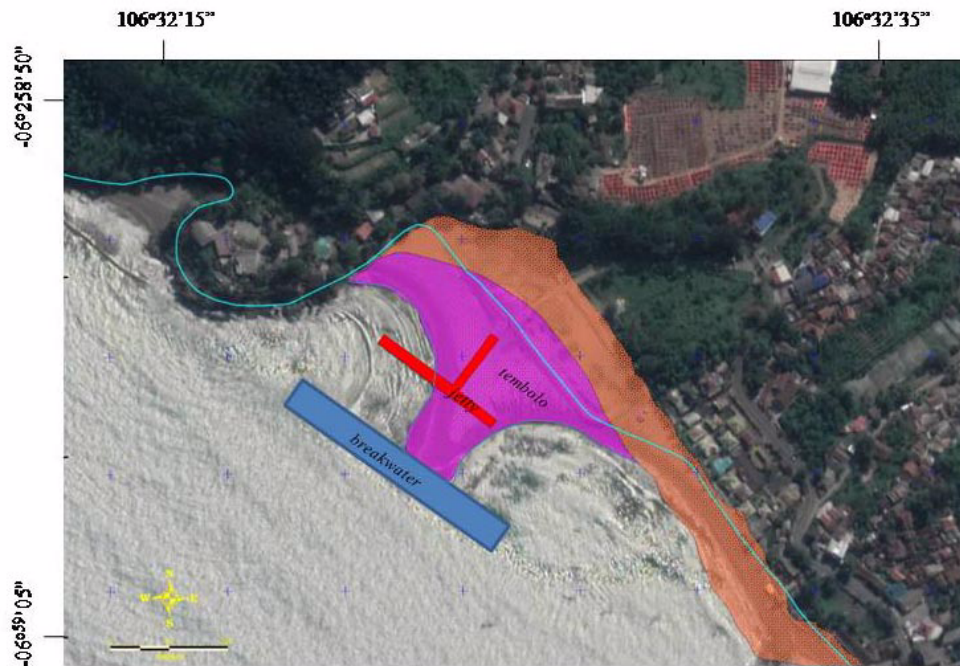
pemecah gelombang dengan garis pantai lebih kecil dibandingkan panjang pemecah gelombang. Menurut Suh dan Dalrymple (1987) tombolo pada *breakwater* tunggal akan terbentuk jika $L_y/y > 1,0$. Sedangkan *salient* terbentuk jika $L_y/y < 1$, dimana



Gambar 8. Sketsa posisi *breakwater* terhadap garis pantai

L_y adalah panjang breakwater, sedangkan y adalah jarak *breakwater* dengan garis pantai (Gambar 8).

Terjadinya penumpukan sedimen di tapak pelabuhan yang mencapai luas hampir 20,000 m² hingga di bagian belakang *breakwater* (Gambar 9) sudah mencapai tahap tidak akan berfungsinya tempat bersandarnya kapal di dermaga. Dari tinjauan literatur yang komprehensif, tampak jelas bahwa potensi dan peran *longshore current* untuk mengangkut sedimen di Palabuhanratu terbukti adanya. Sedangkan *breakwater* diidentifikasi sebagai proses penting yang dapat melemahkan aliran *longshore current* sebagai salah satu mekanisme pengendapan material sedimen.



Gambar 9. Penambahan luasan pesisir Teluk Palabuhanratu pasca dibangun infrastruktur pelabuhan ditunjukkan dengan warna ungu (situasi tahun 2020)

KESIMPULAN

Proses kesetimbangan dinamis antara suplai sedimen dari darat, aktivitas angin, gelombang, arus dan pasang surut laut yang selama ini membentuk rona awal pesisir Palabuhanratu telah termodifikasi terutama setelah dibangunnya *breakwater* dan menimbulkan dampak sebagai berikut :

- Dampak hidrodinamika terhadap penjalaran gelombang setelah melalui kiri-kanan *breakwater*, yaitu membangkitkan gelombang dan arus lokal menuju area di sepanjang tepi pantai dari kedua sisi *breakwater* sehingga menghasilkan dua rambatan puncak gelombang. Rambatan gelombang ini selanjutnya berkembang menjadi gelombang terdifraksi dan menjadi *longshore current*.
- Dampak morfologis dimana transportasi litoral di daerah *breakwater* berkurang karena adanya atenuasi gelombang yang melemahkan *longshore current* sehingga menyebabkan terperangkapnya pasir di belakang *breakwater*.
- Pada saatnya nanti, pergeseran lokasi *longshore current* dan sedimentasi sepanjang tahun serta perkembangan maksimum *tembolo* akan berdampak terhadap kemungkinan adanya erosi dan abrasi baik di pantai maupun di sisi *breakwater* itu sendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan atas izinnya untuk membuat makalah ini. Terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan Puslitbang Geologi Kelautan atas diskusi dan masukan yang sangat bermanfaat.

DAFTAR ACUAN

- Alif, S.A., 2011. Geologi Sejarah Daerah Sukabumi-Palabuhanratu, *Bulletin of Scientific Contribution*, Volume 9, Nomor 1, April 2011: 42-48.
- Atlas Pesisir dan Laut Jawa Barat Bagian Selatan*, 2001. Badan Pengendalian Lingkungan Daerah Pemerintah Propinsi Jawa Barat - Lembaga Penelitian-Institut Teknologi Bandung.
- Azhar, M. R., 2012, *Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam di Pantai Tanjung Kait*, dalam <https://ftslitb.ac.id/wp-content/uploads/sites/8/2012/07/95010007-Rian-M.-Azhar.pdf> , Program Magister , Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung.
- Hartami, P., 2008. *Analisis Wilayah Perairan Teluk Palabuhanratu Untuk Kawasan Budidaya*

- Perikanan Sistem Keramba Jaring Apung*. Institut Pertanian Bogor (IPB).
- Komar, P. D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Komar, P. D., 1983. *Nearshore Currents and Sand Transport on Beaches*, Elsevier Oceanography Series, Volume 35, 1983, Pages 67-109, Chapter 2.
- Kusnida, D., Luga, W. dan Sarmili, L., 2003. Batimetri, Pola Arus dan Perubahan Garis Pantai di Sagara Anakan, Cilacap, *Jurnal Geologi Kelautan*, vol. 1, no. 3.
- Kusnida, D. dan Astjario, P., 2008. Dinamika Garis Pantai Kabupaten Indramayu-Jawa Barat Berdasarkan Penafsiran Citra Satelit. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, Vol. XVIII, No. 1.
- Mangor, K., Drønen, N. K., Kaergaard, K.H. and Kristensen, N.E. 2017. *Shoreline management guidelines.*, in: <https://www.dhigroup.com/marine-water/ebook-shoreline-management-guidelines>, akses : 29/04/2020, Jam : 9.30.
- Medina, J., 2019. *Detached shore parallel breakwaters*. in:http://www.coastalwiki.org/wiki/Detached_shore_parallel_breakwaters, akses : 29/04/2020, jam 9.00.
- Mudana, I.G., 2000. *Analisis Sedimentasi Akibat Pemasangan Breakwater di Tanahlot*, Tugas Akhir-Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Puspitasari, Y., Sukojo, B. M. dan Ipranta, 2016. Analisis Hasil Pengolahan Citra Terrasar-X dan Landsat 8 untuk Pemetaan Geologi Lembar Mojokerto (1508-62) Jawa Timur, *Jurnal Geosaintek*, Vol 2, No 1.
- Restuning. D. G. dan Handayani, L., 2007. Pemetaan Pola Terjadinya Gempa Bumi Di Indonesia Dengan Metode Fraktal. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*. 17(2): 51-56.
- Setiady, D. dan Sarmili, L., 2015. Proses Akresi dan Abrasi Berdasarkan Pemetaan Karakteristik Pantai dan Data Gelombang di TelukPalabuhanratu dan Ciletuh, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat., *Jurnal Geologi Kelautan*, Volume 13, No. 1, April 2015.
- Simbolon, D., 2010. Eksplorasi Daerah Penangkapan Ikan Cakalang Melalui Analisis Suhu Permukaan Laut Dan Hasil Tangkapan Di PerairanPalabuhanratu. *Jurnal Mangrove Dan Pesisir*. 10(1): 42-49.
- Siregar, V., 2010. Pemetaan Substrat Dasar Perairan Dangkal Karang Congkak Dan Lebar Kepulauan Seribu Menggunakan Citra Satelit QuickBird. *E-Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan*. 2(1):19-30.
- Suh, K. and Dalrymple, R. A., 1987. Offshore breakwaters in laboratory and field. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*
- Sukamto, R., 1975. *Peta Geologi Lembar Jampang dan Balekambang, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Triatmodjo, B. ,1999. *Teknik Pantai*, Beta Offset. Yogyakarta.
- Wahyudin,Y., 2011. Karakteristika Sumberdaya Pesisir dan Laut Kawasan Teluk Palabuhanratu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat., *Bonorowo Wetlands*, 1 (1): 19-32.
- William, R.D., and Joan, P. 1986. *Detached Breakwaters For Shore Protection*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- Yuwono, N., 2019. *Pelabuhan Tanjung Adikarto dan Pulau Baai Mengalami Sedimentasi Parah*, Diskusi Perencanaan dan Manajemen Pelabuhan-Pusat Studi Transportasi dan Logistik (Pustral) UGM Universitas Gajah Mada, 07 Oktober 2019.
- [http://www.coastalwiki.org/wiki/Detached_breakwaters.](http://www.coastalwiki.org/wiki/Detached_breakwaters), akses : 20/04/20, jam 10.30.
- [https://www.geocaching.com/geocache/grotta-tombolo-d-leslie.](https://www.geocaching.com/geocache/grotta-tombolo-d-leslie), akses : 20/04/20, jam 8,45.
- [https://spbn.pusfatja.lapan.go.id.](https://spbn.pusfatja.lapan.go.id), akses: 20/07/2020, jam 13.30.

