

PROSES ABRASI DI KAWASAN PANTAI LOMBONG, MAJENE, SULAWESI BARAT

Oleh:

Yudhicara¹⁾ dan M. Yosi²⁾

1) Badan Geologi, yudhicara@vsi.esdm.go.id

2) Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, mirayosi@yahoo.com

Diterima : 17-06-2011; Disetujui : 15-11-2011

SARI

Saat ini pantai Lombong yang merupakan bagian dari kawasan pantai di Kecamatan Malunda, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat mengalami kerusakan akibat abrasi, sehingga sarana dan prasarana umum di beberapa tempat terancam mengalami kerusakan. Untuk itu dilakukan analisis terhadap potensi abrasi melalui suatu penelitian, berupa kegiatan lapangan dan analisis yang antara lain adalah analisis energi fluks gelombang menggunakan data arah dan kecepatan angin; analisis material endapan pantai; analisis arus sepanjang pantai; serta analisis data pasang surut.

Berdasarkan hasil pengukuran di atas, beda tinggi dataran pantai tempat pemukiman berada relatif sangat landai (0.2-1.0 m) dengan jarak yang sangat dekat terhadap garis pantai yaitu 18 hingga 52 m.

Hasil analisis data angin menunjukkan bahwa arah angin dominan yang dapat memicu timbulnya gelombang di perairan Majene, adalah angin yang berasal dari arah barat (18,11 %) dan angin barat laut (17,41 %). Tinggi gelombang dari arah barat dan barat laut relatif lebih tinggi dibandingkan dengan dari arah lainnya, karena arah ini mempunyai kecepatan dan panjang *fetch* angin yang lebih besar.

Analisis data pasang surut menunjukkan bahwa rentang air di perairan Majene ini adalah 170 cm dengan tinggi duduk tengah muka laut (MSL) 89.99 cm, sedangkan dari perhitungan konstanta harmonik mengidentifikasi bahwa tipe pasang surut di perairan Majene tersebut adalah tipe campuran condong harian tunggal (*mixed mainly diurnal tides*).

Berdasarkan hasil perhitungan energi fluks, terlihat bahwa daerah-daerah yang berpotensi mengalami proses abrasi adalah di titik amat 1 - 2; 6 - 13; 14 - 17; 19 - 21, sedangkan pantai yang berpotensi mengalami sedimentasi adalah pada titik amat 2 - 3; 13 - 14; 17 - 19. Titik amat 3 - 6 dan 21 - 22 relatif stabil.

Kata kunci: Pantai Lombong, Abrasi, Gelombang, Angin, Pasang surut

ABSTRACT

Currently, the coastal area of Lombong as part of Malunda sub district, Majene, West Sulawesi has suffered damage caused by abrasion and some places has threatened damaged on public facilities and infrastructure. This is the reason why the study of abrasion potential has been conducted. We did some analysis, such as wave flux energy by using wind direction and velocity; coastal sediment material; longshore current and tidal data analysis beside the field work.

Study result indicate that the coastal plain height different is about 0.2 to 1.0 m in term of mean sea level, and the horizontal distance of 18-52 m of the nearest building from the shoreline. Wind analysis

result obtained that the dominant wind direction that could lead to a wave in Majene waters are winds coming from the west (18.11%) and northwest (17.41 %) which is relatively higher compared to other direction, which has long fetch and greater wind speed.

Tidal data analysis showed that the tidal range in Majene waters is 170 cm and mean sea level is 89.99 cm. According to the harmonic constant calculation that identify the type of tide in Majene waters is mixed mainly diurnal tides.

calculation on energi flux reveal that areas which are potentially experiencing on abrasion process are at locations between points of 1 to 2; 6 to 13; and 14 to 17, while areas which are potentially experiencing sedimentation are at locations between points 2 to 3; 13 to 14; and 17 to 19, and points 3 to 6 and 21 to 22 are relatively stable.

Key words: Lombong beach, abrasion, waves, winds, tides.

PENDAHULUAN

Lombong adalah nama desa yang terdapat di wilayah Kecamatan Malunda, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat. Desa ini memiliki kawasan pesisir yang cukup luas, dan penduduknya mayoritas bermukim di pinggir pantai. Kondisi pantai dan pesisir menjadi sangat penting artinya bagi masyarakat di wilayah ini, karena kawasan pesisir dimanfaatkan sebagai tempat untuk melakukan aktivitas perekonomian dan penempatan sarana dan prasarana umum.

Perkembangan dinamika dan proses pantai dari waktu ke waktu akan menimbulkan dampak terhadap suatu kawasan pantai. Perkembangan ini akan membawa perubahan yang dapat berpengaruh terhadap letak dan kedudukan semua unsur yang berperan. Adanya musim barat dan musim timur sangat mempengaruhi perubahan dinamika pantai. Hembusan angin yang terjadi di kedua musim tersebut, akan membangkitkan ombak dan oleh pergerakan ombak sejumlah material dapat terangkut, baik yang berasal dari lepas pantai maupun yang berasal dari daratan. Pengaruh angin ini akan membawa dampak pada pengerosian pantai atau dikenal dengan nama abrasi, yang dampaknya dapat mengakibatkan daratan pantai tergerus, sehingga pantai menjadi mundur ke arah darat dan menyebabkan kerusakan pada sarana dan prasarana yang terdapat di sekitarnya.

Berdasarkan dinamika proses pembentukan pantai, ada tiga jenis proses yang bisa terjadi, yaitu proses sedimentasi (akresi), erosi (abrasi) dan stabil. Sepanjang pantai di wilayah Kabupaten Majene memiliki proses dinamika pantai yang bervariasi. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geologi, klimatologi dan oseanografi yang berkembang di wilayah tersebut.

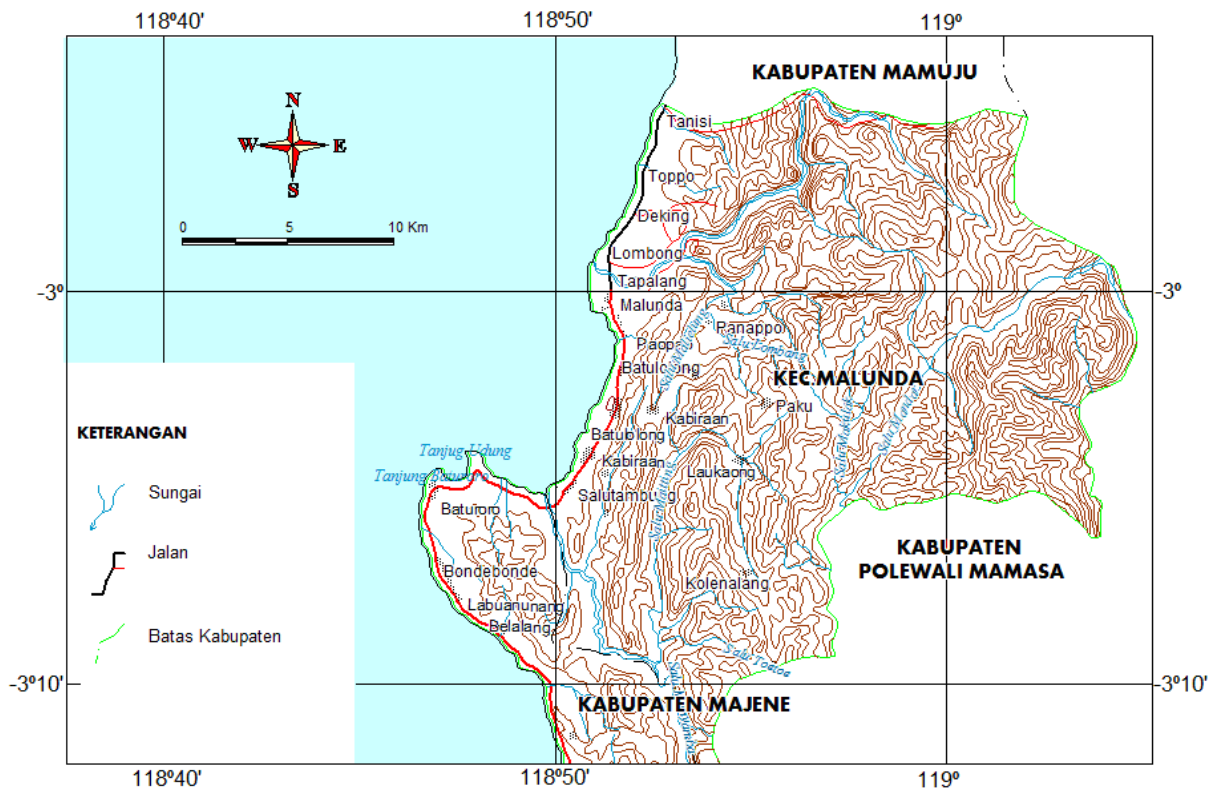
Saat ini pantai Lombong mengalami abrasi kuat, sehingga sarana dan prasarana umum serta pemukiman yang terdapat di sepanjang pantai di beberapa tempat terancam mengalami kerusakan, dan pemukiman yang terdapat di sepanjang pantai. Dalam rangka mencegah dan mengantisipasi timbulnya kondisi yang lebih buruk akibat abrasi di wilayah ini, maka dilakukan penelitian khusus yang meliputi berbagai aspek yang terkait dengan abrasi pantai, dan hasilnya diharapkan dapat memberikan masukan kepada Pemerintah Daerah setempat dalam menentukan langkah-langkah mitigasi yang diperlukan. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain adalah pekerjaan lapangan meliputi pemetaan karakteristik pantai dan pengukuran profil pantai, serta analisis laboratorium meliputi analisis energi fluks gelombang menggunakan data arah dan kecepatan angin; analisis material endapan pantai; analisis arus sepanjang pantai; serta analisis data pasang surut.

Lokasi penelitian meliputi sepanjang pantai yang termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Malunda, Kabupaten Majene, Provinsi Sulawesi Barat. Secara geografis wilayah yang diteliti terdapat pada koordinat 2°58'LS-3°05'LS dan 118°50'BT-118°53'BT (Gambar 1). Wilayah ini berbatasan di sebelah utara dengan Kabupaten Mamuju, sebelah tenggara dengan Kecamatan Ulumanda, sebelah selatan dengan Kecamatan Tubo dan sebelah barat dengan Selat Makasar.

TINJAUAN UMUM

Kondisi Geologi

Geologi daerah penelitian tersusun atas Formasi Mamuju yang berumur Tersier, sedangkan daerah sepanjang pantai ditutupi oleh endapan aluvial pantai berumur Holosen yang



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian (di dalam kotak)

bersifat lepas dan belum terkonsolidasi terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil hingga kerakal, berumur Kuartar hingga Resen (Gambar 2). Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian antara lain adalah sesar naik, sesar mendatar, sinklin dan antiklin.

Proses Pantai

Pengertian wilayah pesisir (*coast*) dapat dibedakan dengan pantai (*shore*). Pesisir adalah daerah di darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut, seperti pasang surut, angin laut dan rembesan air laut, sedangkan pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah (Triatmodjo, 1999).

Proses dinamika pantai sangat dipengaruhi oleh transport litoral yang didefinisikan sebagai gerak sedimen di daerah dekat pantai. Transport litoral dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu transport sepanjang pantai (*longshore transport*) dan transport tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*) dan material yang dipindahkan disebut sebagai *littoral drift*.

Pantai mengalami erosi, akresi (sedimentasi) atau tetap stabil tergantung pada sedimen yang masuk dan yang meninggalkan

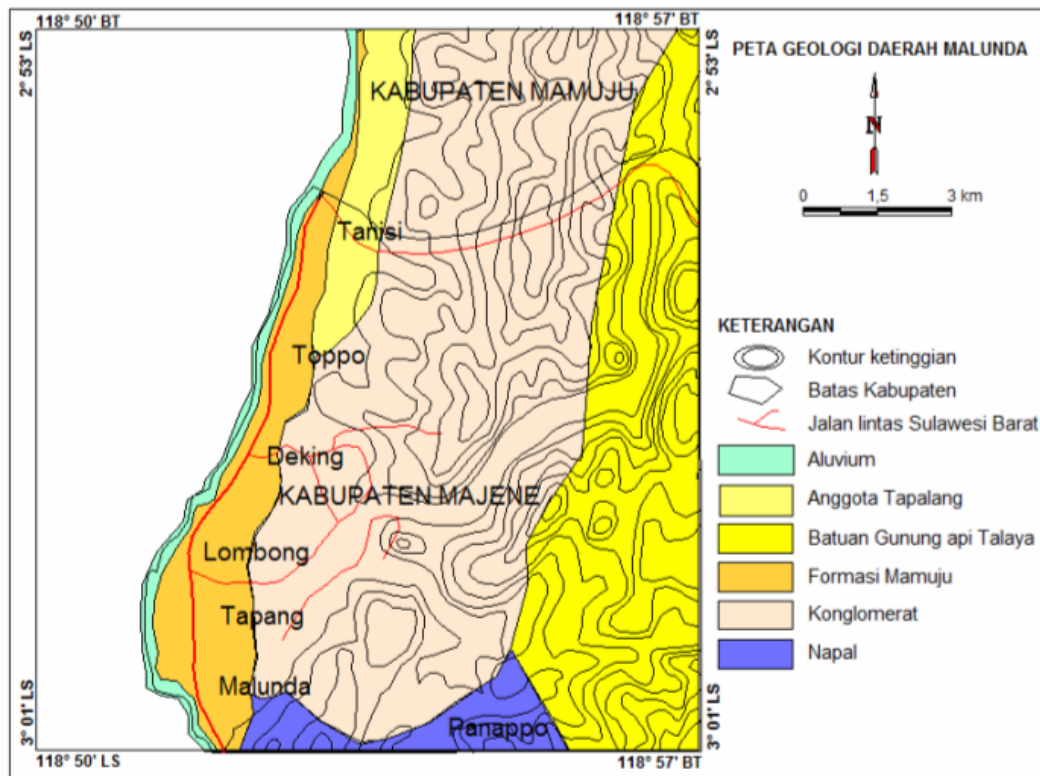
pantai tersebut. Sebagian besar permasalahan pantai adalah erosi yang berlebihan. Erosi pantai (abrasi) terjadi apabila di suatu pantai yang ditinjau mengalami kehilangan atau pengurangan sedimen, artinya sedimen yang terangkut lebih besar daripada yang terangkut.

Menurut Triatmodjo (1999), faktor yang menyebabkan abrasi pantai dapat dikategorikan ke dalam tiga jenis yang memberikan pengaruh langsung, yaitu: (1) gelombang yang disebabkan oleh tiupan angin; (2) pasang surut yang diakibatkan oleh adanya gaya tarik benda-benda angkasa; dan (3) pola arus laut akibat pengaruh pola sirkulasi arah dan kecepatan angin.

Morfologi

Morfologi daerah penelitian terbagi atas satuan morfologi pedataran dan satuan morfologi perbukitan bergelombang hingga bertebing terjal.

Morfologi pedataran dicirikan oleh medan yang datar, dalam hal ini pengaruh pasang surut air laut lebih dominan daripada proses darat. Satuan morfologi ini berada pada ketinggian elevasi 0 - 2 m dari permukaan laut, terdiri dari zona *fore shore* dan zona *back shore*. Pada zona *fore shore* yang disebut dengan bibir pantai



Gambar 2. Peta Geologi daerah penelitian (modifikasi dari Djuri dkk., 1998)

memiliki kemiringan bervariasi dari satu tempat ke tempat yang lainnya, dan dimanfaatkan sebagai tempat tambat perahu nelayan, sedangkan zona *back shore* dicirikan oleh adanya teras pantai dan dataran pantai. Sebagian dari zona ini telah mengalami perubahan akibat adanya aktifitas manusia, seperti didirikannya pemukiman dan bangunan sepanjang pantai. Satuan morfologi perbukitan bergelombang dijumpai pada bagian tengah daerah penelitian, setempat di bagian barat dan bagian timur. Ketinggian rata-rata antara 10 hingga 50 m di atas permukaan laut.

Iklim

Kondisi iklim di daerah penelitian dipengaruhi oleh dua musim, yaitu musim barat dan musim timur. Musim barat dapat terjadi pada bulan Agustus hingga Februari, sedangkan musim timur terjadi pada bulan Maret hingga Juli. Rata-rata curah hujan di daerah ini cukup tinggi. Data statistik menunjukkan bahwa jumlah curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Juli. Keberadaan iklim musim ini sangat berpengaruh terhadap aktifitas yang berlangsung di daerah penelitian, baik aktifitas

penduduk setempat maupun keadaan alam di daerah tersebut.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: (1) Penyiapan peta dasar dan Studi literatur; (2) Kegiatan lapangan berupa pemetaan karakteristik pantai dan pengukuran lateral pantai; (3) Analisis data angin; dan (4) Analisis data pasang surut.

Penyiapan Peta dan Studi Literatur

Peta dasar yang digunakan dalam penelitian proses abrasi di Pantai Lombong adalah peta rupa bumi lembar Majene, Galung-galung, Malunda dan Tapalang (Bakosurtanal, 1991) Studi literatur dilakukan melalui studi pustaka dengan mengkaji hasil penelitian terdahulu di daerah penelitian dan pen

Kegiatan Lapangan

Kegiatan lapangan berupa pemetaan karakteristik pantai, untuk melihat kondisi pantai daerah penelitian dengan melakukan pengamatan secara visual terhadap beberapa parameter antara lain: bentuk garis pantai, geologi dan morfologi pantai (Dolan dkk., 1972)

serta informasi mengenai infrastruktur dan pemanfaatan lahan di daerah penelitian.

Pengukuran lateral pantai dilakukan untuk mengetahui relief pantai di daerah penelitian, meliputi jarak datar dan beda tinggi dataran pantai yang dijadikan tempat mendirikan bangunan, sarana dan prasana terhadap garis pantai. Hasil pengukuran penampang pantai yang dilakukan secara vertikal dikoreksi oleh nilai duduk tengah muka laut (*mean sea level*) yang diperoleh dari hasil perhitungan pasang surut harian oleh Dinas Hidro-oseanografi TNI-AL untuk tahun 2010.

Pengamatan gelombang dilakukan di lapangan, meliputi pengukuran tinggi atau periode gelombang saat pecah diukur melalui papan berskala yang dicatat sebagai tinggi gelombang. Periode gelombang dicatat dengan menggunakan stopwatch yaitu waktu yang diperlukan oleh dua puncak gelombang secara berurutan. Arah atau suatu gelombang saat pecah dengan garis pantai diukur dengan suatu kotak pandang dari suatu ketinggian. Garis muka gelombang digambarkan relatif terhadap garis pantai adalah sudut gelombang.

Pengumpulan data gelombang mengalami kendala, sehingga kurang lengkap. Analisis gelombang dilakukan menggunakan data angin dari Badan Meteorologi Geofisika dan Klimatologi (BMKG) tahun 2000 hingga 2009.

Analisis Data Angin

Data angin yang digunakan dalam analisis adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran di stasiun klimatologi di daerah Majene. Periode waktu data angin yang dianalisis adalah 10 tahun, yaitu dari tahun 2000 hingga 2009, berupa nilai data angin maksimum harian.

Menurut teori Sverdrup, Munk dan Bretchneider (SMB) (1947), kecepatan angin minimum yang dapat membangkitkan gelombang adalah sekitar 10 knot atau setara dengan 5 m/detik. Kecepatan angin ini kemudian dikelompokkan sesuai dengan skala Beaufort, sehingga dari pengelompokkan ini dapat terlihat jumlah (frekuensi) pengaruh angin dengan kecepatan tertentu dan arah tertentu yang terjadi di kawasan pantai Lombong. Pengelompokkan kecepatan angin terbagi atas 5 interval, yaitu: 11-16 knot; 17-21 knot; 22-27 knot; 28-33 knot; dan lebih besar dari 33 knot, sedangkan arah angin dipisahkan menjadi 8 arah

angin utama, yaitu: utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat dan barat laut.

Untuk mengetahui karakteristik gelombang yang ditimbulkan oleh angin, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik angin permukaan, yaitu:

- Kecepatan dan arah angin
- Durasi
- Panjang *fetch*

Data angin yang digunakan dalam analisis gelombang ini adalah data angin sejak tahun 2000 hingga 2009.

Kecepatan dan Arah Angin

Kecepatan dan arah angin dikelompokkan dengan skala Beaufort, dan dari pengelompokkan ini akan terlihat jumlah (frekuensi) pengaruh angin dengan kecepatan dan arah tertentu, sehingga diperoleh kecepatan angin dominan berdasarkan jumlah frekuensi terbesar, sedangkan arah angin dominan dapat diketahui dengan membuat prosentase dari angin-angin kuat yang telah dikelompokkan sesuai skala Beaufort untuk setiap arah angin.

Prosentase selama 5 tahun =

$$\frac{nX}{NX} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dalam hal ini:

nX = frekuensi angin kuat selama 5 tahun untuk tiap arah

NX = jumlah seluruh kejadian selama 5 tahun

Durasi

Durasi angin di sini adalah parameter angin yang menyatakan lamanya angin bertiup dengan kecepatan konstan pada *fetch* tertentu. Durasi yang digunakan di sini adalah durasi hitung bukan durasi data, karena sangat sulit untuk mengukur dan mendapatkan data lamanya angin bertiup setiap waktunya.

Panjang Fetch

Fetch merupakan panjang daerah yang dipengaruhi oleh angin. Panjang *fetch* ini diukur untuk delapan arah mata angin yang memungkinkan, yaitu arah mata angin yang mungkin bertiup di sepanjang pantai Lombong dan sekitarnya, dengan anggapan bahwa angin bertiup melalui lintasan garis lurus.

faktor koreksi yang dilakukan terhadap data angin meliputi kecepatan angin pada ketinggian 10 m (U_{10}), durasi kecepatan angin, serta faktor stres angin (U_A).

Kecepatan Angin pada Ketinggian 10 m (U_{10})

Koreksi ini digunakan untuk mengkonversikan data kecepatan angin yang ada menjadi data kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Persamaan yang digunakan adalah:

$$U_{10} = U_z \times \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

$U(z)$ = kecepatan angin pada ketinggian z m (m/detik)

(z) = ketinggian pengukuran (m)

Durasi Kecepatan Angin

Persamaan durasi kecepatan angin adalah sebagai berikut:

$$t = 1609/U_T \dots\dots\dots(3)$$

Jika X adalah nilai rasio antara rata-rata kecepatan angin pada saat t terhadap rata-rata kecepatan angin setiap jamnya, maka nilainya diperoleh dengan menggunakan rumus (USACE, 1984) di bawah ini:

$$\frac{u_t}{u_{t=3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh \left[0.9 \log_{10} \left(\frac{45}{t} \right) \right] = X \dots\dots(4)$$

Rata-rata kecepatan angin dengan durasi 1 jam, ditulis dalam persamaan berikut:

$$U_{t=3600} = \frac{u_t}{X} \dots\dots\dots(5)$$

Kecepatan angin dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$U_t = U_{t=3600} \cdot X_T \dots\dots\dots(6)$$

X_T adalah rasio antara rata-rata kecepatan angin pada saat T (durasi angin) terhadap rata-rata kecepatan angin setiap jam atau dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$X_T = U_T / U_{t=3600} \dots\dots\dots(7)$$

U_T adalah kecepatan angin pada saat durasi data (t_d) dan nilai $U_{t=3600}$ dapat dicari dari persamaan (3.9). Untuk menyederhanakan masalah diasumsikan kecepatan angin pada saat t_d sama dengan kecepatan angin pada saat durasi 1 jam, sehingga nilai $X_T=1$, maka persamaan (3.10) menjadi:

$$U_T = U_{t=3600} \dots\dots\dots(8)$$

Faktor Stres Angin (U_A)

Formula pertumbuhan gelombang dan grafik monogram merupakan fungsi dari faktor stres angin yang biasa disebut dengan Koefisien Drag, maka dari kecepatan angin yang diperoleh di atas diubah menjadi faktor stres angin dengan persamaan:

$$U_{(A)} = 0.71(U)^{1.23} \dots\dots\dots(9)$$

Metode peramalan gelombang yang digunakan untuk penelitian abrasi di Lombong, Majene ini adalah metode Sverdrup, Munk dan Bretschneider (SMB) (1947).

Prakiraan Tinggi dan Perioda Gelombang untuk Perairan Dangkal

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk meramalkan gelombang di perairan dangkal adalah sebagai berikut: durasi kecepatan angin:

$$t_h = 68.8x \left[\frac{U_A}{g} \right] \left[\frac{gF}{U_A^2} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(10)$$

Dalam hal ini:

F = panjang *fetch*

U_A = faktor stres angin

G = percepatan gravitasi

Peramalan gelombang pada perairan dangkal, biasanya menggunakan kurva yang diplot dari persamaan (USACE, 1984) di bawah ini:

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 0.283 \times \tanh \left[0.53 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{0.00563 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{gT_s}{U_A} = 7.54 \times \tanh \left[0.833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{0.0379 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[0.530 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

Energi Fluks

Persamaan energi fluks gelombang adalah:

$$P_{ls} = 0.09352 n H_s^2 T_s \sin 2\alpha \dots\dots\dots (13)$$

N diperoleh dari frekuensi angin maksimum untuk setiap arah mata angin yang mungkin selama 5 tahun yang terbagi dalam 5 interval skala Beaufort.

A diperoleh dari besarnya sudut datang gelombang pada setiap titik tinjau yang dihitung dari normal pantai. Perhitungan dilakukan untuk setiap titik tinjau dan untuk setiap arah yang telah dipilih, yaitu yang mungkin terjadi di pantai Lombong. Nilai energi fluks untuk setiap titik tinjau adalah hasil penjumlahan dari besarnya masing-masing energi fluks untuk setiap arah pada setiap titik tinjau, sehingga akhirnya setiap titik tinjau memperoleh satu nilai energi fluks.

Banyaknya Material Endapan Pantai

Besarnya material yang terendapkan dan arah pengendapannya, dapat diketahui dengan cara melakukan perhitungan terhadap banyaknya material endapan pantai yang berbanding lurus dengan besarnya energi fluks di setiap titik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung banyaknya endapan pantai ini adalah:

$$Q_x = 7.5 \times 10^3 \times P_{ls} \dots\dots\dots (14)$$

Data yang digunakan dalam penelitian abrasi di Lombong, Majene ini adalah data kecepatan angin maksimum (dalam satuan knot) yang terjadi setiap hari dari stasiun Majene. Data diperoleh dari Badan Meteorologi

Klimatologi dan Geofisika (BMKG) selama 10 tahun dari 2000 hingga 2009.

Energi fluks gelombang adalah fungsi dari tinggi dan periode gelombang. Untuk mengetahui kedua parameter tersebut, dilakukan peramalan gelombang.

Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut yang digunakan dalam analisis adalah hasil perhitungan pasang surut harian oleh Dinas Hidro-oseanografi TNI AL (Dishidros, 2009) di stasiun Majene. Data pasang surut diplot dalam grafik untuk melihat fluktuasi pasang surut, sehingga diperoleh jenis pasang surut dan selisih pasang tertinggi dan surut terendah yang akan menghasilkan nilai kisaran *tidal range* (tunggang pasang) di lokasi pengamatan.

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka rata-rata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, tergantung pada tipe pasang surut.

Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah yang sangat besar. Arus pasang terjadi pada waktu periode pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut. Titik balik ini bisa terjadi pada saat muka air tertinggi dan muka air terendah, pada saat tersebut kecepatan arus adalah nol.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu:

- Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*), dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.
- Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali air surut tetapi periode dan tingginya berbeda.
- Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Metode perhitungan yang digunakan pada analisa data pasang surut (pasut) adalah metoda Harmonis British Admiralty yaitu menghitung konstanta harmonis pasang surut yang terdiri dari: muka laut rata-rata (*mean sea level*), amplitudo dan fasa dari 9 (sembilan) komponen utama pasang surut (M2, S2, N2, K1, O1, M4, MS4, K2, dan P1).

Tipe pasut ditentukan oleh frekuensi air pasang dengan surut setiap harinya. Hal ini disebabkan karena perbedaan respon setiap lokasi terhadap gaya pembangkit pasang surut.

Selain dengan melihat data pasang surut yang diplot dalam bentuk grafik, tipe pasang surut juga dapat ditentukan berdasarkan bilangan Formzal (F) yang dinyatakan dalam bentuk (Pond and Pickard, 1983):

$$F = \frac{(AK1 + AO1)}{(AM2 + AS2)} \dots\dots\dots (15)$$

dengan ketentuan :

- $F \leq 0,25$ = Pasang surut tipe ganda (*semidiurnal tides*)

- $0,25 < F \leq 1,5$ = Pasang surut tipe campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*)
- $1,50 < F \leq 3,0$ = Pasang surut tipe campuran condong harian tunggal (*mixed mainly diurnal tides*)
- $F > 3,0$ = Pasang surut tipe tunggal (*diurnal tides*)

HASIL PENELITIAN

Karakteristik Pantai

Berdasarkan hasil pemetaan karakteristik pantai, daerah penelitian memiliki jenis litologi penyusun pantai berupa pasir sangat halus hingga halus berwarna abu-abu kehitaman, kerikilan, kerakalan sampai bongkah.

Kondisi morfologi daerah penelitian umumnya landai, dengan relief datar. Proses dinamika pantai terdiri dari proses sedimentasi dan abrasi. Kemiringan bibir pantai di wilayah pantai Lombong berkisar antara 8° hingga 9°, lebar pantai sangat sempit dan jarak pemukiman dengan garis pantai kurang dari 1 m.

Penampang Lateral Pantai

Berdasarkan hasil pengukuran lateral pantai di pantai Malunda, Toppo dan Tanisi, diperoleh nilai beda tinggi antara dataran pantai yang digunakan penduduk untuk membangun pemukiman beserta sarana dan prasarannya terhadap duduk tengah muka laut (*mean sea level*) yang diperoleh dari buku prediksi pasang surut harian tahun 2010 (Dishidros, 2009) dan jaraknya terhadap garis pantai seperti tertera pada Tabel 1.

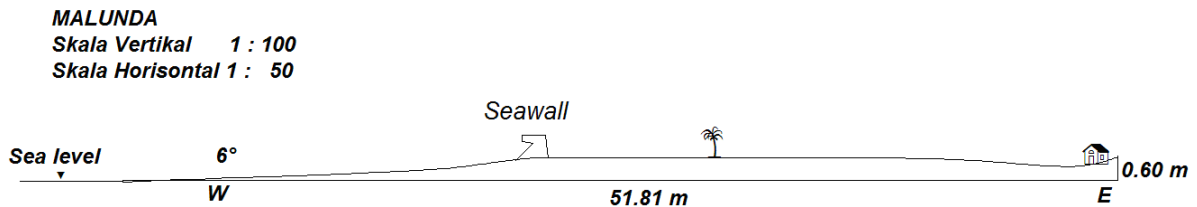
Penampang pantai secara lateral dihasilkan dari pengukuran tersebut, memperlihatkan jarak datar pemukiman terhadap garis pantai berkisar antara 18 hingga 52 m, sedangkan beda tinggi antara 0,2 dan 1,0 m di atas duduk tengah muka laut (MSL), (Gambar 3, 4 dan 5). Berdasarkan penampang di ketiga lokasi tersebut, relief pantai relatif datar dengan kondisi dinding pantai yang sudah mengalami hancuran. Kemiringan bibir pantai berkisar antara 6° dan 8°.

Proses Dinamika Pantai

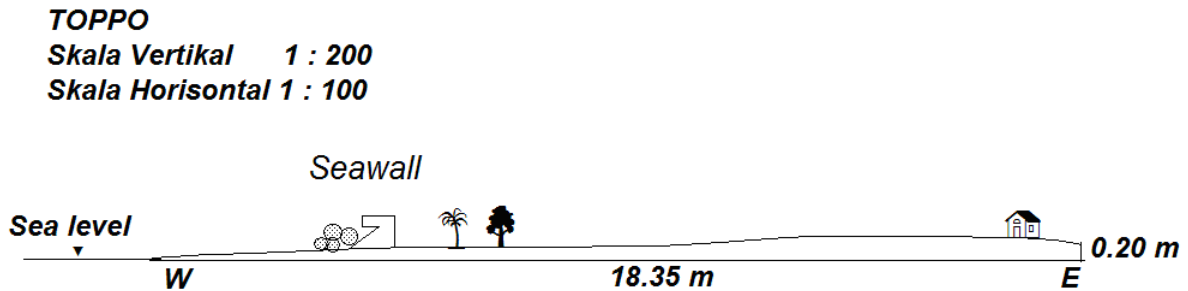
Proses dinamika pantai merupakan proses alami yang dihasilkan oleh interaksi antara daratan dan laut. Secara umum proses dinamika pantai yang berkembang di daerah penelitian

Tabel 1. Hasil pengukuran lateral pantai di Pantai Lombong

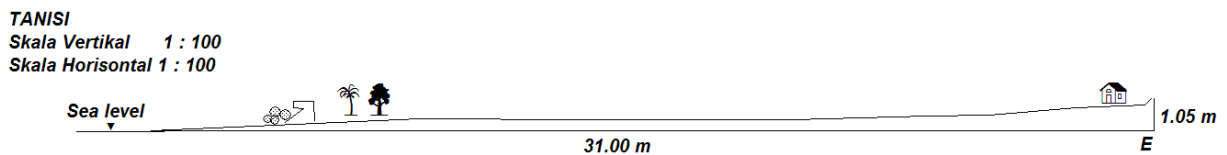
No.	Nama Lokasi	LS	BT	MSL (m)	Beda Tinggi (m)	Jarak Datar (m)
1.	Malunda	3.01108	118.8547	0.4	0.605	51.809
2.	Toppo	2.98029	118.85578	0.4	0.205	18.355
3.	Tanisi	2.97127	118.86047	0.4	1.050	31.004



Gambar 3. Profil pantai Malunda



Gambar 4. Profil pantai Toppo



Gambar 5. Profil pantai Tanisi

berdasarkan kenampakan yang ditemui di lapangan dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pantai mundur (abrasi) seperti yang tampak pada Gambar 6 dan pantai stabil.

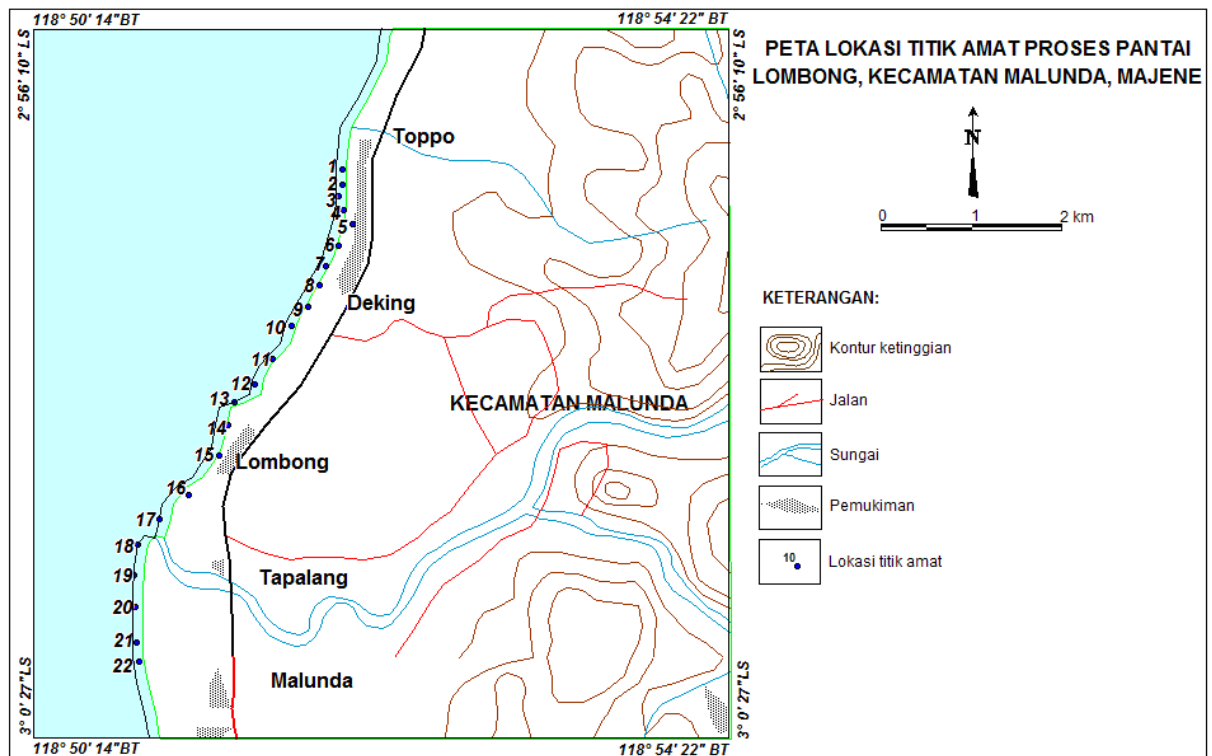
Perhitungan Data Angin

Perhitungan data angin dari Badan Meteorologi Geofisika dan Klimatologi dilakukan dengan menentukan titik amat di daerah penelitian sebanyak 22 titik amat (Gambar 7).

Kecepatan angin dipisahkan berdasarkan kelompok Beaufort <10, 11-16, 17-21, 22-27, 28-33 dan >34 knot. Berdasarkan pemisahan data angin kuat (lebih besar dari 10 knot) selama sepuluh tahun dari tahun 2000 hingga 2009, dihasilkan frekuensi kecepatan di stasiun Majene untuk setiap bulannya selama sepuluh tahun (Tabel 2).



Gambar 6. Pantai abrasi di daerah Lombong



Gambar 7. Lokasi titik amat proses pantai

Tabel 2. Salah satu hasil pengelompokkan data frekuensi kecepatan angin di Stasiun Majene untuk bulan Januari tahun 2000-2009.

Arah (°)	Kecepatan (knot)					
	25	11-16	17-21	22-27	28-33	>34
Utara	25					
Timur laut	6					
Timur	5					
Tenggara	6					
Selatan	6					
Barat daya	24	1				
Barat	101					
Barat laut	113					

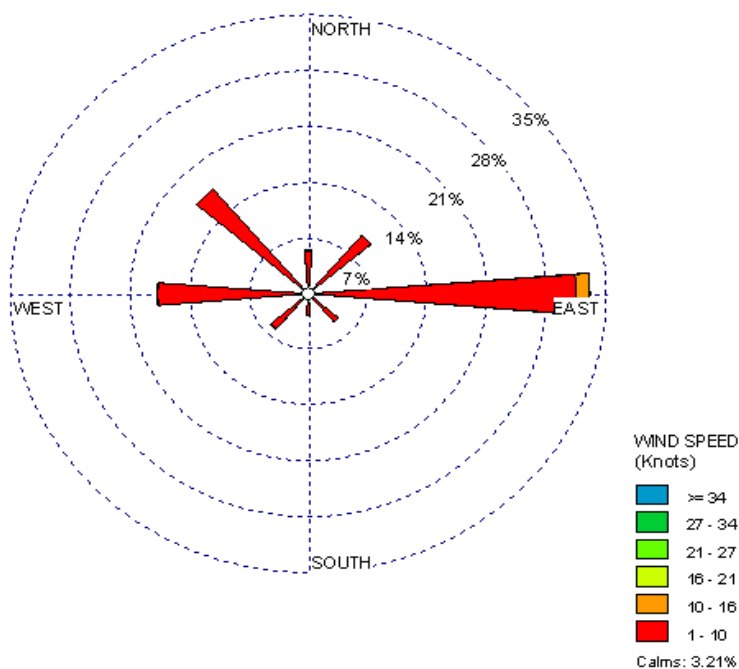
Analisis Angin

Berdasarkan pemisahan data angin kuat (lebih besar dari 10 knot) selama sepuluh tahun dari tahun 2000 hingga 2009, dihasilkan frekuensi terbesar terdapat pada kelompok Beaufort 11-16 knot (Tabel 3). Arah angin yang bertiup didominasi oleh angin yang bertiup dari timur yaitu 34,4%. Angin yang bertiup dari arah timur, tidak memberikan dampak yang signifikan di daerah penelitian. Hal ini disebabkan daerah penelitian memiliki muka pantai menghadap ke arah barat, sehingga angin yang berpengaruh di daerah ini adalah angin yang berasal dari arah

barat, barat laut dan barat daya. Persentase angin kuat dari angin yang berasal dari barat 18,11%, angin dari barat laut 17,41%, dan angin yang berasal dari arah barat daya sebesar 6,43%, angin dari arah lainnya kurang dari 6%. Frekuensi angin kuat ini digambarkan dalam diagram bunga, seperti terlihat pada Gambar 8. Dilihat dari persentase besarnya angin tersebut, maka angin yang berpengaruh membangkitkan gelombang yang merambat hingga ke pantai Lombong, Majene adalah Angin Barat, Barat Laut dan Barat Daya, dengan panjang *fetch* maksimum sebesar 200 km.

Tabel 3. Frekuensi angin kuat di Stasiun Majene tahun 2000-2009

Arah (°)	Kecepatan (knot)						Jumlah Angin	Persentase (%)
	<10	11-16	17-21	22-27	28-33	>34		
Utara	184				1		185	5.89
Timur	285	5					290	9.23
Timur	1008	72					1081	34.4
Tenggar	165	1					166	5.28
Selatan	102	0					102	3.25
Barat	201	1					202	6.43
Barat	568	1					569	18.11
Barat	546	1					547	17.41



Gambar 8. Diagram *Windrose* (2000-2009)

Analisis Pasang Surut

Pasang surut (pasut) laut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

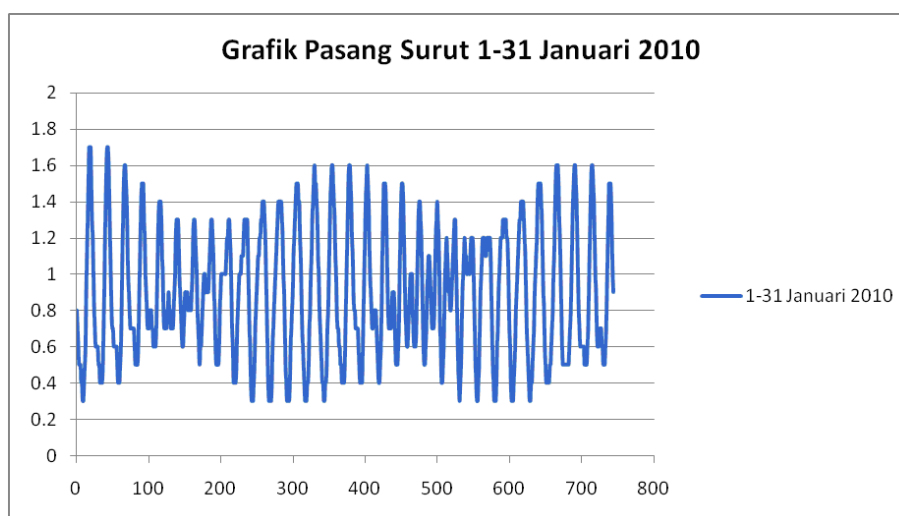
Faktor non astronomi yang mempengaruhi pasut terutama di perairan semi tertutup seperti teluk adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan.

Puncak gelombang disebut pasang tinggi dan lembah gelombang disebut pasang rendah. Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah disebut rentang pasang surut (*tidal range*). Rentang air di perairan Majene ini adalah 170 cm

Berdasarkan metoda Harmonis British Admiralty yaitu menghitung konstanta harmonis pasang surut yang terdiri dari: muka laut rata-rata (*mean sea level*), amplitudo dan fasa dari 9 (sembilan) komponen utama pasang surut (M2, S2, N2, K1, O1, M4, MS4, K2, dan P1). Hasil dari perhitungan *mean sea level* (MSL) dan sembilan (9) konstanta harmonik dapat dilihat pada Tabel 4. Tinggi MSL terhadap bacaan rambu adalah 89.99 cm.

Dari perhitungan konstanta harmonik tersebut akan diperoleh harga bilangan Formzahl yang mengidentifikasi tipe pasang surut di Perairan Majene tersebut adalah tipe campuran condong harian tunggal (*mixed mainly diurnal tides*) (Gambar 9).

$$F = \frac{(AK1 + AO1)}{(AM2 + AS2)} = 1.8$$



Gambar 9. Grafik pasang surut bulan Januari 2010

Tabel 4. Konstanta Harmonik Pasang Surut, Perairan majene

	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
A (cm)	89,99	13,26	17,08	5,33	6,36	33,36	21,28	9,5	0,16	1,08
g		359,46	213,6	174,78	228,31	211,59	243,48	121,93	130,19	217,51

Dalam hal ini:

An: besaran amplitudo pasang surut komponen-n

g : sudut kelambatan fasa

So : tinggi muka laut rata-rata di atas titik nol rambu

M2: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh posisi bulan

S2: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh posisi matahari

N2: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh jarak, akibat lintasan bulan yang berbentuk elips

K2: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh jarak, akibat lintasan matahari yang berbentuk elips

O1: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan

P1: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari

K1: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari

M4: konstanta harmonik yang dipengaruhi oleh bulan sebanyak dua kali (2 x M2)

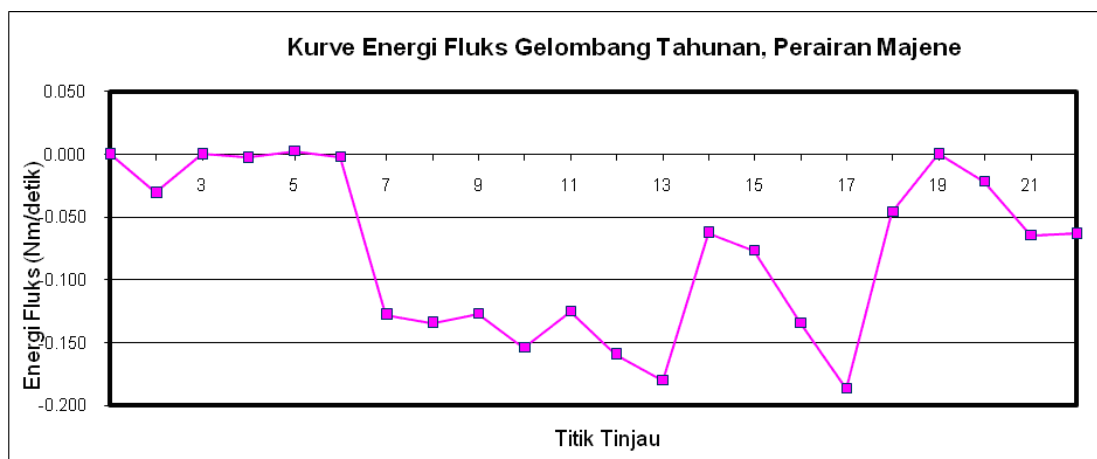
MS4 : konstanta harmonik yang diakibatkan oleh adanya interaksi antara M2 dan S2

Analisis Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai

Energi fluks gelombang dihitung sepanjang pantai Lombong, Majene, dengan 22 titik amat memiliki nilai yang bervariasi. Hal ini disebabkan oleh energi gelombang yang tiba di suatu titik juga bervariasi tergantung dari panjang *fetch* di titik tersebut, pengaruh angin yang diterima oleh masing-masing titik tinjau, dan perbedaan morfologi pantai. Variasi besarnya energi fluks gelombang dapat dilihat pada Gambar 10, sedangkan banyaknya material

endapan pantai yang terangkut dapat dilihat pada Tabel 5.

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh hantaman gelombang. Sifat-sifat sedimen seperti rapat massa dan tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus, serta batimetri perairan dekat pantai. Pesisir pantai Lombong, Majene, terdiri dari pantai berpasir dan berkerikil, namun untuk penyederhanaan masalah, pada kasus ini diasumsikan pantai Lombong adalah pantai berpasir.



Gambar 10. Grafik energi fluks gelombang tahunan di perairan Majene

Tabel 5. Perhitungan material endapan pantai

Titik	Pls (Newton/	Q (m3/
1	0.000	3.158
2	-0.030	-228.119
3	0.000	3.158
4	-0.002	-17.815
5	0.003	19.558
6	-0.002	-12.593
7	-0.127	-955.424
8	-0.134	-1004.416
9	-0.127	-951.030
10	-0.154	-1155.825
11	-0.125	-937.141
12	-0.159	-1193.115
13	-0.180	-1351.518
14	-0.062	-466.695
15	-0.077	-574.648
16	-0.135	-1009.997
17	-0.186	-1398.471
18	-0.046	-341.444
19	0.000	3.158
20	-0.021	-159.811
21	-0.064	-483.382
22	-0.063	-472.521

Sedimen yang masuk ke daerah pantai yang ditinjau meliputi dari suplai sedimen dari sungai, material yang berasal dari erosi tebing, angkutan sedimen sepanjang pantai dan tegak lurus pantai (*onshore transport*) yang masuk ke ruas yang ditinjau, dan penimbunan pantai dan tegak lurus pantai (*offshore transport*) yang keluar dari ruas pantai yang ditinjau dan penambangan pasir pantai. Dalam kasus ini yang diperhitungkan untuk sedimen yang masuk hanya angkutan sedimen sepanjang pantai, demikian juga untuk sedimen yang keluar.

PEMBAHASAN

Batuan penyusun pantai yang terdiri dari pasir sangat halus, halus, kerikilan, kerakalan hingga bongkah memperlihatkan adanya aktifitas arus sejajar pantai yang mendistribusikan material pantai, makin jauh dari sumber, maka makin kecil ukurannya.

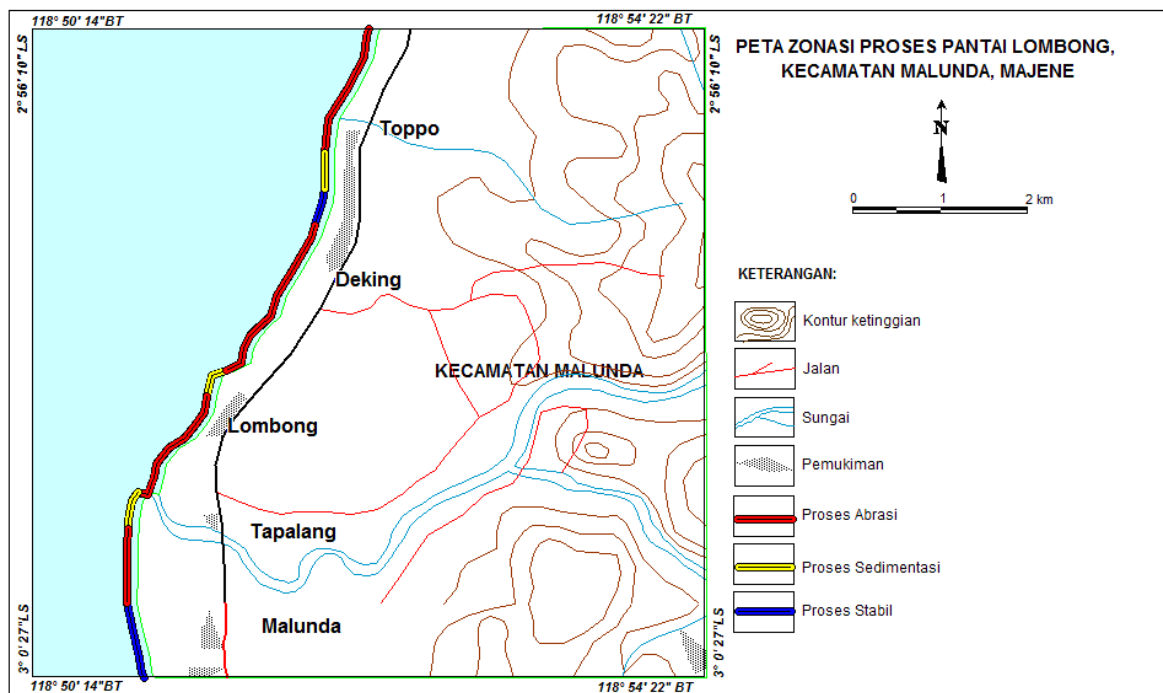
Kondisi morfologi daerah penelitian umumnya landai, dengan relief datar. dibentuk akibat adanya beberapa proses geologi. Proses yang dominan mempengaruhi kawasan pantai daerah penelitian adalah proses sedimentasi dan abrasi. Terbentuknya kondisi alam yang diakibatkan oleh proses geologi antara lain oleh adanya pengaruh angin, gelombang, pasang surut, arus laut dan beberapa faktor alam lainnya.

Kemiringan bibir pantai di wilayah pantai Lombong berkisar antara 6° hingga 9°, dengan jarak lokasi pemukiman yang kurang dari 1 m terhadap garis pantai, menyebabkan daerah ini sangat rentan terhadap potensi bahaya yang disebabkan oleh gelombang laut, khususnya abrasi.

Berdasarkan hasil pengukuran penampang pantai secara lateral, beda tinggi dataran pantai tempat pemukiman berada relatif sangat landai (0.2-1.0 m) dengan jarak yang sangat dekat terhadap garis pantai (18-52 m). Berdasarkan informasi ini sudah dapat diketahui, bahwa saat air laut mengalami pasang, bangunan terdekat akan berada dalam jangkauan air laut. Jarak bangunan yang sangat dekat dengan garis pantai, akan mengalami kerusakan yang cukup signifikan apabila terus menerus terkena air laut.

Proses dinamika pantai yang berlangsung di daerah penelitian bervariasi dari relatif stabil hingga abrasi. Tingkat abrasi yang diperlihatkan di daerah penelitian berbeda dari satu tempat ke tempat yang lain. Lokasi yang mengalami tingkat abrasi cukup parah terdapat di bagian tengah daerah penelitian. Kondisi tersebut ditandai dengan pantai yang sempit, kondisi dinding pantai yang hancur, di sepanjang pantai dipagari oleh boronjong kayu uling yang diisi dengan bongkah batu berukuran besar (~0,5-1 m diameter). Adapun kondisi dinding pantai di Dusun Toppo dan Tanisi, sudah tidak memadai dan banyak yang hancur.

Berdasarkan hasil perhitungan energi fluks, terlihat bahwa daerah-daerah yang berpotensi mengalami proses abrasi adalah di titik amat 1 hingga 2; 6 hingga 13; 14 hingga 17; 19 hingga 21, sedangkan pantai yang berpotensi mengalami sedimentasi adalah pada titik amat 2 hingga 3; 13 hingga 14; 17 hingga 19. Titik amat 3 hingga 6 dan 21 hingga 22 relatif stabil (Gambar 11).



Gambar 11. Peta zonasi proses pantai

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil kesimpulan, antara lain adalah sebagai berikut:

Arah angin dominan yang dapat memicu timbulnya gelombang di perairan Majene, adalah angin yang berasal dari arah barat (18,11 %), angin barat laut (17,41 %), sedangkan angin yang berasal dari arah lainnya kurang dari 10 %.

Tinggi gelombang dari arah barat dan barat laut relatif lebih tinggi dibandingkan dengan dari arah lainnya, karena arah ini mempunyai kecepatan dan panjang *fetch* angin yang lebih besar.

Berdasarkan hasil perhitungan energi fluks pada tiap-tiap titik amat, dapat diprediksi bahwa tempat-tempat yang memiliki potensi mengalami abrasi, sedimentasi dan stabil di sepanjang pantai Lombong, Majene adalah sebagai berikut:

Daerah yang berpotensi mengalami abrasi adalah antara titik-titik amat 1 dan 2; 6 hingga 13; 14 hingga 17 dan 19 hingga 21. Daerah yang berpotensi mengalami sedimentasi adalah lokasi di antara titik-titik amat antara 2 hingga 3; 13 hingga 14; dan 17 hingga 19. Daerah yang mengalami proses dinamika pantai stabil adalah di lokasi antara titik-titik amat 3 hingga 6 dan 21 hingga 22.

Upaya mitigasi yang sudah dilakukan dan dapat dikembangkan lebih lanjut adalah jenis penanaman tanaman mangrove dan nipah, serta pemasangan bronjong kayu uling yang diisi dengan bongkah batuan. Pemasangan dinding pantai yang terbuat dari tembok mudah hancur terutama di daerah dengan potensi abrasi kuat. Pemasangan bangunan pemecah gelombang, bisa berupa pemasangan jetty berbentuk segitiga, terutama di daerah yang berpotensi mengalami abrasi kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Barat yang telah memberikan peluang, sehingga penelitian ini dapat berlangsung dan terimakasih kepada Cecep Sulaeman, Gangsar Turjono dan Deden Junaedi atas dukungan dan bantuannya selama melakukan penelitian di lapangan.

ACUAN

Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), 1991. *Peta Rupa Bumi, Skala 1 : 50.000, Lembar 2012-14 (Majene), 2012-41 (Galung-galung), 2012-44 (Malunda) dan 2013-12 (Tapalang)*, Cibinong, Bogor.

- Badan Meteorologi Geofisika dan Klimatologi, 2000-2009. *Data arah dan kecepatan angin harian*, Laporan Intern.
- Dinas Hidro-Oseanografi TNI – AL (Dishidros), 2009. *Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia tahun 2010*, Jakarta
- Djuri, Sudjatmiko, Bachri, S., dan Sukido, 1998. *Peta Geologi Lembar Majene dan Bagian Bawah Lembar Palopo, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Dolan, R., Hayden, B.P., dan Vincent, M.K., 1972. *Classification of coastal landform of America*, *Zithschr Geomorphology*, Encyclopedia of beaches and coastal environment, 3-6.
- Sverdrup, H. U., dan W. H. Munk, 1947. *Wind, Sea, and Swell: Theory of Relations for Forecasting*: H. O. Pub. No. 601, IJ. S. Navy Department, 44; pp.
- Triatmodjo, B., 1999. *Teknik Pantai*, Beta offset, Gramedia, ISBN, 9798541057
- U. S. Army Corps of Engrgs., Coastal Engrg., Res., Center (USACE), 1984. *Shore Protection Manual* (3rd Ed.), U. S. Gov. Print. Office.