

PENGENDALIAN KERUSAKAN LINGKUNGAN PERMUKIMAN KAWASAN PANTAI PULAU MIANGAS DENGAN PENCEGAHAN EROSI DAN ABRASI

Sarbidi

Pusat Litbang Permukiman
Jl. Panyaungan Cileunyi Wetan-Kabupaten Bandung
Email: sarbidi_pustekim@yahoo.co.id

Diterima: 28 Juli 2009; Disetujui: 22 Juni 2010

ABSTRAK

Pulau Miangas adalah pulau kecil terluar di wilayah bagian utara Negara Indonesia berbatasan dengan wilayah Negara Filipina. Oleh karena itu, setiap meter pengikisan pantai Pulau Miangas akan menggeser pula wilayah laut beserta seluruh kekayaan yang terkandung di dalamnya dari klaim penguasaan teritorial Negara Indonesia. Penelitian menyoroti kerusakan pantai Pulau Miangas yang diakibatkan oleh erosi dan abrasi. Kajian mencakup identifikasi permasalahan, pengumpulan data batimetri, data pasang surut, peta Miangas dari citra satelit, peramalan gelombang signifikan dari data angin lima tahunan dan observasi kawasan pantai secara langsung. Gelombang signifikan dianalisis dengan metode Sverdrup-Munk Bretschneider. Kerusakan pantai menggunakan gambar jaring elemen yang disimulasikan dengan program Surface Water Modeling System dan pembacaan peta citra satelit. Kajian menyimpulkan pantai Pulau Miangas sebelah Utara, sebelah Barat-Barat Laut, sebelah Selatan ke arah Barat dan Selatan ke arah Timur sudah mengalami kerusakan akibat erosi dan abrasi. Lahan pantai bagian Barat-Barat Laut dikikis sekitar 3 m per tahun. Kerusakan pantai bagian Utara, Barat-Barat Laut dan Selatan ke arah Barat dan bagian sebelah kanan dermaga dapat dikendalikan dengan penerapan beberapa pemecah gelombang sejajar pantai dan penanaman pohon bakau; bagian Selatan ke arah Timur, khususnya di sebelah kiri dermaga dapat menerapkan konstruksi tembok laut atau revetmen di sepanjang pantai yang mengalami kerusakan.

Kata Kunci: Erosi, abrasi, pengendalian, pemecah gelombang, tembok laut, pohon bakau

ABSTRACT

Miangas Island is the most outside of a small island in northern of the Indonesia which is border to the Philippines. Therefore every meter erosion and abrasion of shoreline will shift the offshore area and the natural ocean resources from the authority of the Indonesian territorial. The research explored destruction of beach of Miangas Island caused by erosion and abrasion. The research involves the problems identification, bathymetry, tidal, map of Miangas Island, significant wave hind casting by the five years wind data and observation of the coastal area. Significant wave analyzed by Sverdrup-Munk-Bretschneider method. The coastal destruction used the drawing of net elements simulated by Surface Water Modeling System and the satellite image map. The research concludes that the beach in North, West to the Northwest, South to the West and South to the East direction have already destructed by erosion and abrasion. The beach land in West to the Northwest eroded about 3 meters per year. Destruction control of North, West to the Northwest, and South to the West coastal line, and the right side of port apply some of detached breakwaters combined with mangrove trees; south to the East direction apply seawall or revetment is precisely in the destruction beach area.

Keywords: Erosion, abrasion, control, detached breakwater, revertment, mangrove trees

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pulau Miangas adalah pulau kecil terluar dari wilayah bagian Utara Republik Indonesia. Pulau ini berbatasan dengan wilayah Negara Filipina. Karena posisinya tersebut maka Pulau Miangas ditetapkan sebagai wilayah khusus yang dikenal dengan "checkpoint border crossing area".

Pulau Miangas mempunyai luas sekitar 3,15 km², dihuni oleh sebanyak 678 jiwa dan merupakan bagian dari Kecamatan Nanusa, Kabupaten Kepulauan Talaud, Propinsi Sulawesi Utara.

Jarak Pulau Miangas terhadap Nanusa (gugusan kepulauan terdekat di wilayah Indonesia) sekitar 145 mil laut, sedangkan jarak Pulau Miangas dengan Filipina hanya 48 mil laut. Oleh karena itu,

interaksi kehidupan sosial, ekonomi dan budaya dengan Filipina tidak dapat dihindarkan terutama untuk pemenuhan kebutuhan sehari-hari.

Letak Pulau Miangas sangat strategis dalam menjaga luas dan keutuhan wilayah Republik Indonesia. Eksistensi pulau ini harus dipertahankan dengan sungguh-sungguh. Dengan letaknya yang spesifik sebagai pulau terluar, maka erosi pantai Pulau Miangas harus ditangani dengan baik. Setiap meter pengikisan pantai Pulau Miangas terluar akan menggeser pula wilayah laut beserta seluruh kekayaan yang terkandung didalamnya dari klaim penguasaan teritorial Negara Republik Indonesia. Kerusakan pantai pulau ini bukan hanya menjadi isu lokal akan tetapi menjadi isu nasional.

Secara teoritis, erosi pantai dapat disebabkan faktor alam dan artifisial. Faktor alam didorong oleh hantaman gelombang laut yang terus-menerus. Faktor artifisial dipicu oleh perbuatan manusia, yang secara tidak terkendali mengeksploitasi kawasan pantai, misalkan membangun permukiman yang masuk dalam sempadan pantai, pembangunan struktur pantai yang tidak memenuhi persyaratan teknis, merusak kawasan penyanggah (*buffer zone*) hutan bakau, dan lain-lain.

Teknik pencegahan erosi pantai dapat melalui pendekatan teknis dan non teknis secara terpadu. Pendekatan teknis, antara lain membuat bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk kondisi gelombang sekitar Pulau Miangas, menempatkan permukiman di luar garis sempadan pantai dan menjaga kelestarian hutan bakau. Secara non teknis adalah memberikan pemahaman pada masyarakat mengenai dampak negatif erosi pantai, bagi kelestarian pulau dan kehidupan mereka sendiri.

Rumusan Masalah

Energi yang dikandung oleh ombak, yang terus menerus menghantam pantai dapat menyebabkan erosi pada pantai dan abrasi pada tebing pantai batuan padat yang masif. Erosi dan abrasi dapat dicegah dengan membangun infrastruktur peredam energi gelombang, membangun pemecah gelombang dan menanam tumbuhan pereduksi ombak di sekitar pantai (biasanya hutan bakau). Peristiwa pasang surut turut pula mempengaruhi garis pantai, meskipun kadarnya kecil dibanding ombak dan arus laut. Pasang surut berpengaruh terhadap dinamika air di sekitar pantai. Vegetasi atau hutan bakau yang tumbuh subur di sepanjang pantai dapat berfungsi sebagai penangkap sedimen (*sediment trap*) di kawasan pantai, sehingga membantu pertumbuhan pantai.

Aktifitas manusia yang memanfaatkan pantai untuk berbagai kepentingan, juga dapat merubah morfologi atau bahkan merusak lingkungan di kawasan pantai.

Permasalahannya, bagaimana menentukan teknik konstruksi yang tepat untuk mencegah kerusakan pantai Pulau Miangas. Tulisan ini akan membahas metode teknik struktural pencegah kerusakan kawasan pantai pulau tersebut. Data dan informasi diambil dari survei investigasi dan desain pengamanan pantai Pulau Miangas, Ditjen Sumber Daya Air tahun 2005.

METODOLOGI

Identifikasi Masalah

Lingkungan di kawasan pantai Pulau Miangas, sangat rentan erosi dan abrasi, karena letaknya jauh dari kawasan pulau besar, juga berada pada perairan Samudra Pasifik yang berombak besar. Seberapa besar kejadian erosi dan abrasi ini, sangat dipengaruhi oleh tinggi gelombang, periode gelombang dan gelombang dominan. Biasanya parameter-parameter gelombang tadi diperoleh dari model transformasi gelombang, yaitu transformasi gelombang dari laut dalam menuju laut dangkal atau daerah pantai. Pemodelan menggunakan analisis numerik, dengan kombinasi refraksi dan defraksi gelombang.

Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan kajian dibagi dalam tiga kegiatan, yaitu identifikasi permasalahan kawasan pantai, pengumpulan data sekunder (kajian pustaka) dan data primer (observasi lapangan), penetapan titik pemodelan numerik (penentuan area perairan dan daratan yang akan dan tidak terkena model). Dalam tulisan ini terdapat tiga lokasi penting yang memerlukan penanganan erosi pantai.

Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai hasil studi yang pernah dilaksanakan oleh institusi berwenang dan data pustaka lainnya, antara lain: peta Pulau Miangas, peta bathimetri, data angkutan litoral, data pasang surut, dan lain-lain.

Pengumpulan Data Primer

Data primer adalah angin, yaitu data angin dari stasiun terdekat. Data angin berasal stasiun Naha di Pulau Sangihe. Selanjutnya dilakukan analisis *windrose*, *fetch* dan gelombang signifikan.

Pengolahan Data

Data angin yang ada diolah dengan metode matematik menghasilkan *windrose*, *fetch* dan dengan menggunakan metode *Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB)* didapatkan nilai gelombang signifikan, selanjutnya menggunakan statistik Gumbel didapatkan nilai gelombang maksimum.

Pemodelan gelombang pada perairan Pulau Miangas menggunakan model gelombang, yang dikembangkan oleh *University of Maine* bekerjasama dengan *U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station*. Model gelombang adalah model finit elemen yang dihubungkan dengan model SMS (*Surface Water Modeling System*).

Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan ditujukan untuk penentuan prioritas pengembangan infrastruktur pencegahan erosi dan abrasi pantai Pulau Miangas pada area pemodelan.

KAJIAN PUSTAKA

Pantai (*shore*) adalah daerah di tepi perairan laut, yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. *Shore* dapat dibagi dalam tiga zona (Hang Tuah, S, 2003), yaitu:

1. *Back shore zone* adalah bagian pantai, yang hanya tergenang pada saat pasang tertinggi dan pada saat badai.
2. *Fore shore zone* adalah bagian pantai berbatasan dengan *backshore zone*, yaitu bagian yang tergenang pada saat air pasang sampai dengan pada air surut.
3. *Offshore zone* bagian pantai yang dibatasi oleh pantai yang sedikit di bawah muka air surut sampai ke batas kedalaman, dimana interaksi gelombang dengan dasar tidak ada lagi.

Garis pantai tidak akan mengalami perubahan bila arah gelombang datang dari lepas pantai adalah tegak lurus garis pantai. Kondisi ini hampir tidak mungkin terjadi, karena adanya hidrodinamika air laut, yang menyebabkan garis pantai akan selalu berubah, kecuali garis pantai yang berada di antara dua *headland*, itupun setelah berbentuk *logarithmic and parabolic* (Silvester dan Shu, 1993).

Wind Stress Factor

Gelombang laut terbentuk karena faktor tekanan air yang bertiup dari laut dalam menuju laut dangkal. Perhitungan tinggi gelombang atau yang disebut dengan *hindcasting* atau pembangkitan gelombang menggunakan data angin dari stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) atau lapangan terbang terdekat. Data angin yang diperoleh, biasanya adalah data angin harian yang isinya adalah:

- $U_{rata-rata}$: kecepatan angin rata-rata harian.
- $U_{terbesar}$: kecepatan angin maksimum harian.
- Arah angin: arah datangnya angin bertiup.

Langkah pertama menganalisis data angin adalah mendapatkan nilai *Wind Stress Factor* (U_A), yaitu sebagai nilai yang akan digunakan dalam melakukan peramalan gelombang (Bambang, Triatmojo, 1999). Namun sebelumnya perlu

melakukan koreksi-koreksi terhadap elevasi pengukuran angin, kecepatan angin rata-rata, pengaruh stabilitas temperatur antara udara dan air laut, lokasi pengamatan dan koefisien seret.

Fetch Efektif

Fetch adalah daerah bangkitan gelombang di laut. Ruang *fetch* dapat dibatasi oleh suatu pulau atau daratan yang mengelilingi laut tersebut (Bambang, Triatmojo, 1999). *Fetch* diperlukan untuk *hindcasting*. Kecepatan dan arah angin dalam *fetch* konstan. Panjang *fetch* efektif untuk masing-masing arah angin dapat dihitung dengan rumus matematik.

Gelombang Signifikan

Berdasarkan *Shore Protection Manual, Volume-1*, tinggi gelombang signifikan dihitung menggunakan persamaan atau rumus *Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB)*. Penggunaan rumus tersebut didasarkan pada perhitungan durasi kritis (t_c).

Apabila diperoleh durasi kritis (t_c) < data durasi (t) disebut *fetch limited*. Kondisi demikian biasa disebut dengan *non-fully developed seas* dan perhitungan tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) menggunakan data gelombang signifikan dengan nilai *fetch* yang telah diketahui.

Apabila durasi kritis (t_c) > data durasi (t) disebut *duration limited* dan perhitungan tinggi gelombang (H) dan periode gelombang (T) menggunakan data gelombang signifikan dengan nilai *fetch* minimum yang dihitung dengan rumus matematik.

Prosedur Simulasi Gelombang

Merujuk pada *Surface Water Modeling System*, simulasi gelombang dibagi ke dalam beberapa tahap sebagai berikut:

1. Penentuan konsep model, yaitu penentuan batas area daratan dan perairan, yang akan dan tidak dimasukkan dalam pemodelan.
2. Pembangkitan jaringan elemen.
3. Menginput data amplitudo, arah dan periode gelombang, gravitasi, jumlah iterasi dan ketelitian yang akan dicapai.
4. Eksekusi simulasi model gelombang. Keluaran pemodelan dapat berupa grafik, gambar kontur perambatan gelombang atau jaring elemen segitiga dan animasi.

Kerusakan Pantai Akibat Erosi dan Abrasi

Erosi pantai adalah kerusakan garis pantai akibat dari terlepasnya material pantai, seperti pasir atau lempung yang terus menerus dihantam oleh gelombang laut, atau dikarenakan oleh terjadinya perubahan keseimbangan angkutan sedimen di perairan pantai (Hang Tuah, S, 2003).

Erosi menyebabkan mundurnya pantai dari kedudukan semula.

Erosi dapat terjadi akibat dari:

- pembuatan bangunan pantai yang menjorok ke laut yang mengubah keseimbangan pantai
- penebangan hutan pantai (bakau/ mangrove)
- matinya karang pantai dan hutan bakau yang berfungsi sebagai pemecah gelombang, akibat pencemaran perairan pantai
- pengambilan material pantai (pasir atau karang pantai) dan material di sungai (pasir dan batu)

Abrasi pantai adalah erosi pada jenis pantai yang masif seperti cadas, batu atau lapisan beton. Erosi dan abrasi dapat menyebabkan kerusakan lahan dan properti atau aset yang berada di dekat pantai.

Penanggulangan Erosi dan Abrasi Pantai

Pada pantai yang seimbang, proses alami membentuk suatu sistem perlindungan terhadap erosi pantai. Untuk pantai berpasir perlindungan tersebut dapat berupa timbunan pasir di sisi belakang pantai.

Pada daerah tropis, pantai berpasir seringkali terlindungi dari gempuran ombak oleh terumbu karang yang hidup di sepanjang pantai. Selain itu, di daerah belakang pantai (*back shore*) tumbuhan pantai seperti pandan dan rumput membantu menjaga agar pasir yang terdapat di gundukan pasir tidak terbawa oleh angin keluar dari daerah pesisir.

Pada daerah pantai berlumpur, perlindungan alam berupa tumbuhan bakau atau pohon api-api dan lapisan lumpur yang tebal dapat pula meredam energi gelombang yang datang.

Pola penanggulangan erosi pantai dapat dilakukan melalui tiga pendekatan yaitu:

- Bertahan dan melindunginya, dengan cara membatasi erosi yang terjadi supaya tidak bertambah parah.
- Membiarkan erosi yang terjadi, mundur dari pantai, merelokasi atau memindahkan aset sumber daya pantai yang berharga menjauhi pantai, serta mempersiapkan daerah belakang pantai supaya aman terhadap erosi atau dengan menyesuaikan peruntukan lahannya.
- Maju dan bekerja sama dengan alam, mengembalikan garis pantai ke posisi semula dengan cara memasang bangunan pengaman pantai, melakukan reklamasi, melakukan penghijauan pantai, penumbuhan terumbu karang, atau perlakuan yang terpadu. Pola menangani erosi tergantung pada beberapa aspek seperti:
 - Tujuan yang akan dicapai
 - Keadaan gelombang, arus dan angkutan sedimen
 - Keadaan bathimetri dan material dasar

- Bahan bangunan yang tersedia
- Keadaan mekanika tanah
- Keadaan lingkungan
- Peruntukan lahan dan rencana pengembangan daerah
- Kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat
- Pendanaan

Jenis bangunan pengaman pantai yang biasa diterapkan (*US Army Corps of Engineers, 1992*):

Tembok laut (*seawall*): Jenis konstruksi pantai yang masif dan ditempatkan sejajar dengan garis pantai, menempel pada tebing pantai dan membatasi secara langsung bidang daratan dengan air laut; dapat digunakan sebagai pengaman pada pantai berlumpur atau berpasir. Fungsi utama: mencegah erosi pantai bagian darat, yang secara langsung terkena hantaman gelombang dan arus laut, melindungi langsung pantai bagian darat di belakang struktur, serta berfungsi juga sebagai tembok penahan tanah yang ada di belakang konstruksi. Bahan konstruksi yang dipergunakan berupa pasangan batu dan beton.

Revetment: Jenis konstruksi yang tidak masif. Fungsinya untuk melindungi langsung pantai bagian darat di belakang struktur. Bahan konstruksi yang digunakan yaitu batu kosong, blok-blok beton, plat beton, pasangan batu dan beton. Susunan batu kosong atau blok-blok beton dengan kemiringan tertentu, disebut konstruksi tipe *rubble mound*, yang mempunyai lapis pelindung luar disebut *armor*. Antara pantai yang dilindungi dan *revetment* harus ada lapisan filter yang berfungsi mencegah hanyutnya material pantai yang halus.

Groin: Jenis konstruksi pengaman erosi pantai yang dipasang tegak lurus garis pantai. Fungsinya untuk menjaga keseimbangan angkutan pasir sejajar pantai (*longshore sand drift*). *Groin* tegak lurus pantai berfungsi menahan atau mengurangi besarnya angkutan pasir sejajar pantai. *Groin* hanya cocok untuk pantai yang berpasir saja. Bahan konstruksi yang dipergunakan antara lain susunan batu kosong, pasangan batu, tiang pancang beton atau baja dan balok-balok beton. Dengan dipasangnya *groin* maka gerakan sedimen sejajar pantai akan tertahan dibagian hulu (*updrift*) dan sebaliknya akan terjadi erosi dibagian hilir (*downdrift*). Proses erosi dan sedimentasi pantai antara dua *groin* yang berurutan akan terhenti (tercapai keseimbangan) bila garis pantai membentuk sudut 90 derajat dengan arah gelombang yang dominan dan apabila tidak dikehendaki terjadi erosi maka perlu penambahan pasir atau *filling the groins*.

Detached Breakwater. Jenis konstruksi pengaman erosi pantai dipasang pada bagian laut, yang relatif jauh dari pantai, posisi bangunan sejajar garis pantai. Fungsinya untuk menambah garis pantai yang berada antara pantai dan *breakwater* itu sendiri. Bahan konstruksi yang dipergunakan antara lain susunan batu kosong, pasangan batu, tiang pancang beton atau baja dan balok-balok beton.

Tanggul laut: Jenis konstruksi pantai yang masif dibuat sejajar dengan garis pantai tetapi tidak menempel pada tebing pantai. Jika pada *breakwater*, diantara *breakwater* yang satu dengan lainnya dibuat celah, maka pada tanggul laut struktur dibuat menerus. Lokasi tanggul laut tergantung keperluan, pada umumnya terletak antara 10 sampai 30 m dari garis pantai.

Pengisian pasir: merupakan usaha pengaman pantai yang tidak menimbulkan dampak negatif, sehingga dipandang sebagai usaha pengaman pantai yang terbaik dibandingkan bangunan pengaman pantai yang lain (Syamsudin, 2001). Dengan adanya pengisian pasir maka pantai akan maju dari kedudukan semula. Majunya garis pantai diharapkan sesuai dengan keperluan. Agar pasir yang diisikan tidak cepat hilang maka pengisian pasir umumnya dikombinasikan dengan groin.

Penanaman bakau: pada erosi yang diakibatkan oleh adanya penebangan bakau maka usaha pengaman pantai dapat dilakukan dengan penanaman bakau kembali. Agar bakau tidak rusak oleh gelombang maka penanaman bakau dapat dikombinasikan dengan struktur pemecah gelombang (Hang Tuah, S, 2003), sehingga bakau dapat tumbuh dan tidak hanyut oleh gelombang.

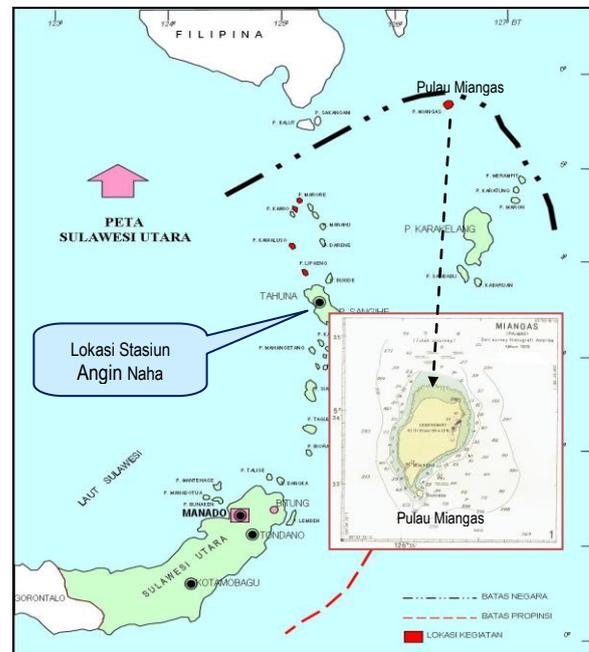
HASIL KAJIAN LAPANGAN

Pulau Miangas

Secara geografis, Pulau Miangas terletak pada 6°8' - 4°35' Lintang Utara dan 127°11' - 126°24' Bujur Timur. Luas wilayah 3,2 Km². Pada sisi sebelah Barat, umumnya berupa dataran rendah, pada beberapa tempat terdapat bukit batu karang/kapur serta goa; daerah dataran didominasi oleh tanaman kelapa dengan hamparan pasir putih terdapat hampir seluruh pantai. Wilayah Pulau Miangas terdiri dari daerah dataran dan perbukitan, dimana di tengah pulau terdapat rawa berupa cekungan dengan kedalaman mencapai 50 - 100 cm ditumbuhi oleh tanaman galuga yang merupakan salah satu konsumsi bagi masyarakat.

Secara administratif, Pulau Miangas termasuk dalam wilayah Kecamatan Nanusa, Kabupaten Kepulauan Talaud, Propinsi Sulawesi Utara. Letak pulau ditampilkan pada Gambar 1.

Pulau Miangas adalah pulau kecil terluar bagian Utara dari wilayah Negara Republik Indonesia. Pulau ini berbatasan dengan wilayah Negara Filipina. Karena itu ditetapkan sebagai wilayah khusus yang dikenal dengan "*checkpoint border crossing area*".



Gambar 1 Letak Pulau Miangas (*Laporan Tim Survei 2006*)

Pada bagian Utara-Timur Pulau Miangas terdapat bukit menyusuri pantai kurang lebih 2 kilometer, yang mana dibagian Utara mulai landai.

Bagian Selatan-Barat terdapat bangunan dermaga yang saat ini berfungsi sebagai tambatan kapal-kapal yang bersandar. Pada bagian ini terdapat permukiman penduduk yang menjorok masuk ke tengah pulau.

Bagian Barat-Utara merupakan batas Pulau Miangas yang mengarah ke batas wilayah terluar Republik Indonesia bagian Utara.

Bagian Utara merupakan daerah yang perlu diamankan karena telah terjadi pergeseran garis pantai.

Bagian Barat-Selatan yang merupakan daerah permukiman. Disini sudah terjadi erosi pantai. Disini beberapa bangunan sudah sangat dekat dengan garis pantai. Pada saat ini, gelombang yang datang memang tidak langsung masuk ke dalam permukiman penduduk, tetapi akibat erosi pantai terus berkelanjutan akan mendorong, permukiman penduduk terkena gangguan gelombang.

Bagian pantai Timur-Selatan tepatnya di daerah dermaga sudah terdapat pengaman pantai namun sudah rusak.

Tahun 2005 berpenduduk 645 jiwa dan rumah 132 buah. Pulau Miangas merupakan pulau kecil terluar di wilayah Utara Indonesia. Jarak Miangas dengan kota kabupaten 185 mil, dengan kota kecamatan Nanusa 75 mil dan dengan Tibanban Filipina hanya 50 mil.

Kejadian Gelombang

Kejadian gelombang diramalkan berdasarkan data angin harian *time series* 5 lima tahunan, antara tahun 2000 sampai tahun 2004. Data angin diperoleh dari Stasiun Meteorologi kelas III Naha yang berada pada lokasi bandar udara di Pulau Sangihe. Posisi stasiun pada 03°41’ Lintang Utara dan 125°31’ Bujur Timur, tinggi stasiun 8 meter. Lokasi stasiun ditampilkan pada Gambar 1.

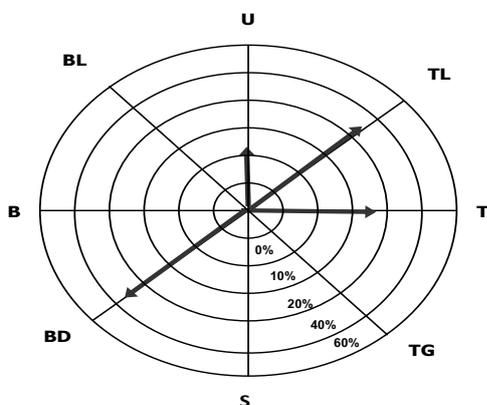
Data angin digunakan untuk peramalan gelombang (*hindcasting*). Kejadian gelombang di sekitar Pulau Miangas berasal dari seluruh arah angin, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Kejadian gelombang yang paling berpengaruh terhadap seluruh pantai Miangas, terbesar berasal dari arah Barat Daya 26,67%; dari arah Timur Laut 21,78%; arah Timur 15,45%; arah Utara 12,36%; arah Selatan 7,58%; arah Barat 5,96%. Gelombang yang merambat dari Barat Laut dan Tenggara kurang dari 5%. Secara visual ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 1 Persentase Kejadian Gelombang

| Arah Gelombang | (tahun 2000 sampai tahun 2004) | | | | | | Jumlah (%) |
|----------------|--------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------------|
| | Tinggi Gelombang (m) | | | | | | |
| | 0 - 1 | 1 - 2 | 2 - 3 | 3 - 4 | > 4 | CALM | |
| Utara | 9.93 | 2.13 | 0.22 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 12.36 |
| Timur Laut | 18.25 | 2.80 | 0.47 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.78 |
| Timur | 10.23 | 4.78 | 0.37 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 15.45 |
| Tenggara | 2.21 | 0.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.87 |
| Selatan | 3.53 | 3.24 | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 7.58 |
| Barat Daya | 13.98 | 10.15 | 3.09 | 0.44 | 0.00 | 0.00 | 27.67 |
| Barat | 3.24 | 1.40 | 0.88 | 0.37 | 0.07 | 0.00 | 5.96 |
| Barat laut | 2.94 | 0.88 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.05 |
| CALM | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.28 | 2.28 |
| Jumlah | 64.31 | 26.05 | 6.33 | 0.88 | 0.14 | 2.28 | 100 |

Sumber: Hasil Analisis Pembangkitan Gelombang



Gambar 2 Wave Rose Tahunan Pantai Pulau Miangas (Hasil Analisis)

Gelombang Signifikan

Nilai perkiraan untuk gelombang signifikan dihitung dengan metode statistik analisa frekuensi. Hasil perhitungan dengan *error* terkecil adalah nilai gelombang signifikan yang mungkin terjadi pada perioda ulang tertentu.

Gelombang signifikan yang mungkin terjadi pada perairan laut sekitar Pulau Miangas untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun ditampilkan pada Tabel 2.

Batimetri

Pemetaan situasi batimetri Pulau Miangas untuk keperluan pemodelan ditetapkan pada elevasi +1,0m; 0m; -5m sampai dengan -63,0m (Ditjen SDA, 2005).

Tabel 2 Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan

| Tinggi Gelombang (m) | Periode Ulangan (<i>Return Period</i>), Tahunan | | | | | | | | |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|-------|----|-----|
| | | Hs | Ts | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Utara | Hs | 2,20 | 3,33 | 4,13 | 5,19 | 6,02 | 6,88 | | |
| | Ts | 8,24 | 9,66 | 10,5 | 11,5 | 12,2 | 12,83 | | |
| Timur Laut | Hs | 2,39 | 2,73 | 2,82 | 2,86 | 2,86 | 2,86 | | |
| | Ts | 8,44 | 8,91 | 9,03 | 9,07 | 9,08 | 9,08 | | |
| Timur | Hs | 1,96 | 2,06 | 2,09 | 2,13 | 2,14 | 2,15 | | |
| | Ts | 7,80 | 7,95 | 8,02 | 8,07 | 8,08 | 8,10 | | |
| Tenggara | Hs | 1,48 | 1,61 | 1,71 | 1,83 | 1,93 | 2,03 | | |
| | Ts | 6,95 | 7,20 | 7,37 | 7,59 | 7,76 | 7,92 | | |
| Selatan | Hs | 2,09 | 2,37 | 2,54 | 2,73 | 2,86 | 2,98 | | |
| | Ts | 8,00 | 8,41 | 8,64 | 8,87 | 9,03 | 9,19 | | |
| Barat Daya | Hs | 2,79 | 3,39 | 3,66 | 3,90 | 4,02 | 4,12 | | |
| | Ts | 8,98 | 9,71 | 10,0 | 10,3 | 10,4 | 10,49 | | |
| Barat | Hs | 3,04 | 4,13 | 4,69 | 5,30 | 5,69 | 6,04 | | |
| | Ts | 9,09 | 10,6 | 11,4 | 12,3 | 12,8 | 13,31 | | |
| Barat Laut | Hs | 1,59 | 1,90 | 2,09 | 2,30 | 2,45 | 2,60 | | |
| | Ts | 7,12 | 7,58 | 7,89 | 8,28 | 8,57 | 8,86 | | |

Sumber: Hasil Analisis Pembangkitan Gelombang

Hs: tinggi gelombang signifikan

Ts: perioda gelombang

Pasang Surut

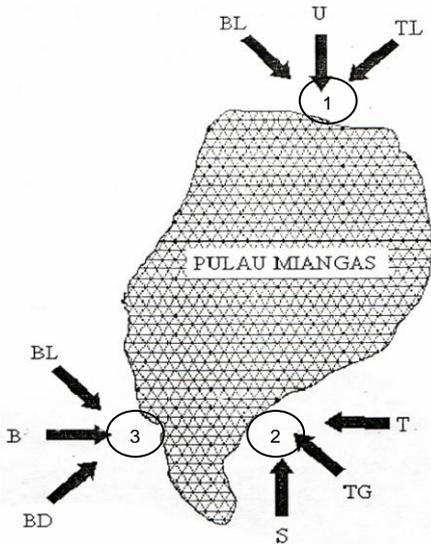
Tipe pasang surut yang terjadi pada perairan Pulau Miangas adalah jenis campuran. Posisi muka air terendah (*Low Water Surface, LWL*) = 0,00; muka air rata-rata (*Mean Sea Level, MSL*) = +1,30 dan muka air tinggi (*High Water Surface, HWL*) = 2,62 (Ditjen SDA, 2005).

Kerusakan Lingkungan Pantai

Simulasi kerusakan (erosi dan abrasi) pantai Pulau Miangas menggunakan pemodelan gelombang di 3 lokasi pantai. Lokasi 1 pantai Utara (pertanian), lokasi 2 pantai Selatan-Barat (permukiman), lokasi 3 pantai Selatan-Timur (dermaga). Posisi lokasi pemodelan ditampilkan pada Gambar 3. Masukan data adalah gelombang signifikan periode ulang 25 tahun, posisi batimetri dan pasang surut.

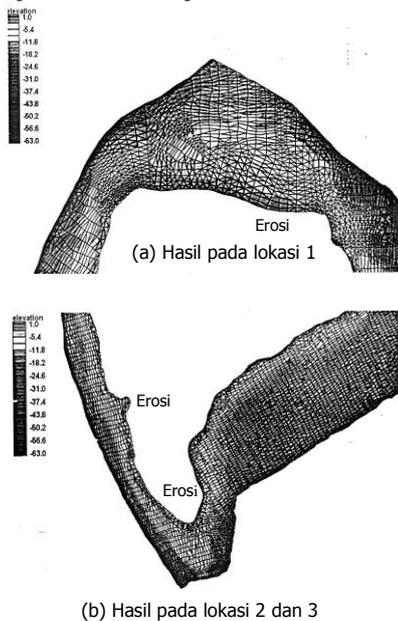
Hasil pemodelan kerusakan pantai Pulau Miangas ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Wilayah pulau yang terkena erosi dan abrasi merupakan kawasan pertanian, permukiman penduduk dan sekitar dermaga, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Oleh karena itu pencegahan erosi dan abrasi sangat penting bagi Pulau Miangas.



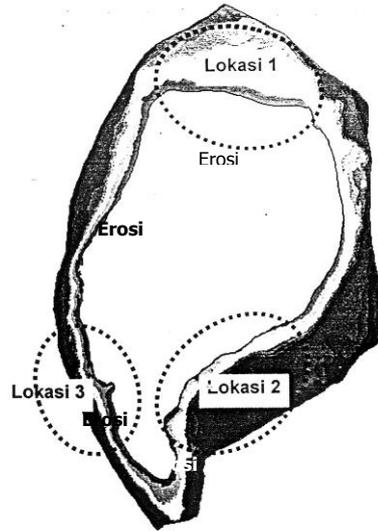
Gambar 3 Sketsa Lokasi Pemodelan Kerusakan Pantai Pulau Miangas (Tanpa Skala) (Ditjen SDA 2005, hal 7-14)

Pulau Miangas relatif datar (kurang dari 5%). Berdasarkan observasi diketahui bahwa pada titik-titik simulasi telah terjadi erosi dan abrasi yang disebabkan oleh gelombang laut. Menurut penduduk setempat, gelombang besar dapat merendam permukiman dan telah mengurangi lahan di kawasan pantai. Abrasi mampu mengikis areal kelapa sekitar 3 m per tahun.



Gambar 4 Sketsa Hasil Pemodelan Jaring Elemen pada Pantai Pulau Miangas (tanpa skala), Tahun 2005 (Ditjen SDA 2005, hal 7-35)

Keterangan:
Erosi pantai pada lokasi 1, lokasi 2 dan lokasi 3.



Gambar 5 Sketsa Geometri Pantai Pulau Miangas (Tanpa Skala), Tahun 2005 (Ditjen SDA 2005, hal 7-34)

Keterangan:
Erosi pada lokasi 1, lokasi 2 dan lokasi 3.



Gambar 6 Kerusakan (Erosi dan Abrasi) Pantai Kawasan Permukiman Pulau Miangas (Iconos, skala 1:3,500)

Pencegahan Kerusakan Lingkungan Pantai

Kerusakan pantai Pulau Miangas sudah mulai terjadi pada bagian Utara, Selatan-Barat dan Selatan-Timur. Sampai saat ini belum ada upaya untuk mencegah abrasi, padahal gelombang besar hampir terjadi sepanjang tahun.

Teknik pencegahan kerusakan pantai Pulau Miangas, yang sebaiknya dilakukan khususnya pada bagian Utara, Selatan-Barat dan Selatan-Timur adalah sebagai berikut:

- Bagian Utara, bagian Selatan-Barat dan bagian Barat-Barat Laut: dipasang *detached breakwaters* karena model ini dapat menambah pantai (*tombolo*) yang berada di bagian

belakangnya. Model dikombinasi dengan penanaman pohon bakau (mangrove).

- Bagian Selatan-Timur: khusus sebelah kiri dermaga, dibangun konstruksi tembok laut atau *revetment* sepanjang pantai yang rusak. Model dikombinasi dengan penanaman pohon bakau (mangrove). Sedangkan bagian sebelah kanan dermaga dipasang *detached breakwaters*, dikombinasi dengan penanaman pohon bakau (mangrove).

Pembangunan konstruksi pengaman pantai berguna untuk melestarikan eksistensi Pulau Miangas dan batas wilayah Negara RI, mencegah gangguan lingkungan permukiman penduduk, lahan pertanian kelapa dan kawasan dermaga (Gambar 6).

Terjadinya kerusakan pantai ditandai adanya perubahan garis pantai. Erosi atau abrasi dapat merusak permukiman dekat pantai, kawasan penyanggah (*buffer zone*) dan properti lainnya. Pada musim gelombang maksimum atau tinggi, permukiman berada dekat pantai akan mudah terkena jangkauan limpasan gelombang laut (*wave run-up*) dan bencana banjir.

Kerusakan lingkungan pantai Pulau Miangas selain dapat dicegah dengan membangun struktur pengaman pantai yang sesuai untuk daerah pantai Miangas, juga dilakukan penataan permukiman dan melarang pendirian perumahan di luar garis sempadan pantai.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pulau Miangas adalah pulau kecil terluar bagian Utara dan berbatasan langsung dengan wilayah Negara Filipina. Posisi geografis Pulau Miangas sangat penting bagi keutuhan Wilayah Negara Indonesia.

Kejadian gelombang di sekitar Pulau Miangas berasal dari seluruh arah angin. Tinggi gelombang signifikan untuk periode ulang 2 tahun hingga 100 tahun, seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Informasi mengenai kondisi gelombang signifikan merupakan hal yang mendasar dan penting untuk mengkaji permasalahan pantai, khususnya untuk mengkaji pengaruh gelombang laut terhadap kerusakan garis pantai.

Berdasarkan hasil kajian gelombang signifikan, citra satelit dan observasi lapangan diketahui bahwa di pantai Pulau Miangas sudah terjadi kerusakan atau pengikisan yang disebabkan oleh erosi dan abrasi. Kerusakan tersebut menghantam permukiman penduduk, lahan pertanian kelapa dan kawasan dermaga.

Pencegahan kerusakan pantai Pulau Miangas dapat dilakukan dengan beberapa kegiatan sebagai berikut:

Pencegahan Kerusakan Pantai Sebelah Utara

Bagian Utara Pulau Miangas terdapat bukit karang dan pantai yang landai di sebelah Barat. Usaha penanggulangan dapat dilakukan dengan membuat *detached breakwaters* dan penanaman pohon bakau (mangrove). Model dapat berfungsi sebagai pemecah gelombang, untuk melindungi bukit karang di sebelah Utara serta kawasan pertanian kelapa di sebelah Barat-Barat Laut atau Timur Laut.

Detached breakwaters, merupakan struktur *type rubble mound* dengan armor dari blok beton (kubus dan tetrapod). Di belakang *breakwater* diharapkan akan terbentuk endapan pasir membentuk formasi tombolo atau salien. Antara *Detached breakwaters* diharapkan menjadi pantai yang stabil berpasir putih yang dapat dikembangkan sebagai sarana pariwisata. Pada lahan tombolo ditanam pohon mangrove.

Pencegahan Kerusakan Pantai Sebelah Barat

Bagian Barat Pulau Miangas terdapat kawasan pertanian kelapa yang terbentang hingga ke kawasan permukiman yang berada di sebelah Selatan pulau. Usaha penanggulangan dengan membuat *detached breakwaters* dan penanaman pohon bakau (mangrove). Model dapat berfungsi sebagai pemecah gelombang dan pembentuk formasi tombolo atau salien.

Pencegahan Kerusakan Pantai Bagian Selatan, Sebelah Timur

Usaha penanggulangan pantai sebelah Selatan, ke arah Timur sudah dilakukan dengan pembuatan tembok laut (khusus sebelah kiri dermaga), namun sudah rusak sehingga perlu dimodifikasi, tetapi sebelah kanan dermaga belum ada usaha pencegahan. Bangunan pengaman pantai yang baru dapat dibuat dengan tipe *revetment* dari blok beton bergerigi dari susunan batu kosong atau dengan susunan buis beton diisi siklop.

Tembok laut atau *revetment* yang baru juga merupakan bangunan masif dengan pasangan batu karang gunung yang berasal dari luar Pulau Miangas, misalnya dari pulau Talaud. *Revetment* ini dibuat dengan kemiringan 1 : 3 agar memudahkan para pejalan kaki yang akan turun dan naik ke pantai maupun ke darat. Lebar mercu tembok ± 3 m untuk memungkinkan lalu lintas pejalan kaki di sepanjang pantai. Di belakang tembok dipasang saluran drainase untuk menampung limpasan gelombang. Bagian Selatan ke arah Utara dipasang beberapa *detached breakwaters*.

Pencegahan Kerusakan Pantai Bagian Selatan dan Sebelah Barat

Erosi pantai yang terjadi di daerah permukiman penduduk dan kawasan pertanian kelapa belum ada usaha penanggulangannya. Bangunan pengaman pantai yang disarankan juga merupakan *detached breakwaters* dan dikombinasi dengan penanaman pohon bakau (mangrove).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan kajian kejadian gelombang signifikan, pemodelan gelombang dan peta citra satelit diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kerusakan pantai Pulau Miangas yang disebabkan oleh erosi dan abrasi sudah mulai terjadi pada bagian Utara, Selatan-Barat dan Selatan-Timur.
2. Penyebab utama kerusakan kawasan pantai Pulau Miangas adalah hantaman gelombang besar, yang menyebabkan erosi dan abrasi terjadi hampir sepanjang tahun.
3. Erosi dan abrasi telah mampu mengikis pantai pada areal kebun kelapa sekitar 3 m per tahun.
4. Sampai saat ini belum ada upaya-upaya teknis untuk mencegah kerusakan kawasan pantai.
5. Kerusakan kawasan pantai Pulau Miangas dapat dicegah dengan membangun struktur pengaman pantai, seperti *detached breakwater*, *revertment* dan tembok laut, yang dikombinasikan dengan penanaman pohon bakau (mangrove).

Saran

Untuk mencegah kerusakan kawasan pantai Pulau Miangas disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Terapkan pencegahan secara terpadu antara struktural dan vegetatif.
2. Gunakan data gelombang ekstrim, periode ulang 25 tahun, dalam perancangan struktur *detached breakwater*, *revertment* dan tembok laut.
3. Gunakan batu-batu besar yang berasal dari luar Pulau Miangas ketika membuat struktural pengaman pantai.
4. Libatkan masyarakat penghuni Pulau Miangas dalam membangun struktur dan vegetasi pengaman pantai.

DAFTAR PUSTAKA

Bambang, Triatmojo. eds (1999). *Teknik Pantai*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Beta Offset.
Ditjen Sumber Daya Air. eds 2005. *Draft Final Report: SID Bangunan Pengaman Pantai Pulau*

Miangas. Satker Sementara Irigasi Sangihe Talaud dan Pulau Kecil Sulawesi Utara.

Figlus, Jens., Kobayashi, Nobuhisa., Gralher, Christine, and Iranzo, Vicente. eds 2010. Wave Overtopping and Over Wash of Dunes. *Journal of Waterway, Port, and Ocean Engineering*. Volume 136, Issue 5. ISSN - 0733 - 950X/e-ISSN - 1943 - 5460. American Society of Civil Engineering. <http://www.google.co.id>.

Hang Tuah, S. eds 2003. *Mekanisme Abrasi dan Sedimentasi di Pantai*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan ITB.

Hang Tuah, S. eds 2003. *Teori Gelombang*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan ITB.

Hang Tuah, S. eds 2003. *Sistem Proteksi Erosi Pantai*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan ITB.

Kim, Kyuhan., Seo, Henijung, and Kobayashi, Nobuhisa, eds. 2010. Field Assesment of Sea Water Exchange Breakwater. *Journal of Waterway, Port, and Ocean Engineering*. Volume 136, Issue 5. ISSN - 0733 - 950X/e-ISSN - 1943 - 5460. American Society of Civil Engineering. <http://www.google.co.id>.

R. Bakhtyar, A. Brovelli, D.A. Barry, and L. Li. eds 2010. Wave-Induced Water Table Fluctuation, Sediment Transport and Beach Profile Change: Modeling and Comparison with Large-Scale Laboratory Experiments. *Coastal Engineering Journal*. ISSN: 0378 - 3839. Imprint: Elsevier. <http://www.google.co.id>.

Syamsudin. eds 2001. *Pengamanan Pantai dengan Cara Pengisian Pasir*. Denpasar, Bali: Workshop on Integrated Bali Beach Conservation Program.

Suastika, I Ketut, and J.A. Battjes, eds 2009. A Model for Blocking of Periodic Waves. *Coastal Engineering Journal*. Vol 3 pp 153 - 162. <http://www.google.co.id>. <http://its.ac.id/cgi-bin/htsearch>.

Tim Survai. eds 2006. *Laporan Survei: Kajian Pembangunan Prasarana dan Sarana PU Perkim Kawasan Pulau-Pulau Kecil. Pulau Miangas Kecamatan Nanusa, Kabupaten Kepulauan Talaud Propinsi Sulawesi Utara*. Satker Puslitbang Permukiman. Bandung: April 2006.

US Army Corps of Engineers. eds (1984). *Shore Protection Manual, Volume-1*. Washington D.C: Government Printing Office.

US Army Corps of Engineers. eds 1992. *Engineering Manual: Coastal Groins and Nearshore Breakwater*. Washington D.C: Government Printing Office.