

STUDI PERENCANAAN BANGUNAN PENGENDALIAN AKRESI DAN ABRASI DI PANTAI TANJUNGWANGI KABUPATEN BANYUWANGI

Hariyoni¹, Dian Sisingsih², Suwanto Marsudi²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan,

²Dosen Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya

Abstrak: Pantai Tanjungwangi dengan panjang 4.591 km mengalami akresi, abrasi di beberapa bagian yang disebabkan oleh adanya gelombang dominan dari arah timur laut. Untuk itu diperlukan upaya penanganan untuk mengatasi akresi, abrasi yang terjadi.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui distribusi arah gelombang, gelombang rencana kala ulang 25 tahun H_{maks} , H_{10} , dan gelombang dominan arah timur laut. Untuk permasalahan angkutan sedimen dan stabilitas pantai, studi ini bertujuan untuk mendapatkan solusi penanggulangan secara teknis.

Dari hasil analisa diperoleh prosentase arah gelombang terbesar dari arah selatan sebesar 51,51 %, dan gelombang maksimum berasal dari arah timur laut yaitu 12,59 %. Besarnya angkutan sedimen sesuai dengan analisis data adalah 13.267,55 m³/tahun (abrasi), 812,24 m³/tahun (akresi). Observasi lapangan dalam kurun waktu 10 tahun mendapatkan hasil sebesar 13.294,96 m³/tahun (abrasi), 808,02 m³/tahun (akresi). Dari hasil analisa disimpulkan bahwa Pantai Tanjungwangi didominasi oleh proses abrasi. Revetment dari tumpukan batu alam yang sesuai dapat diterapkan di lokasi studi.

Kata Kunci : pantai Tanjungwangi, gelombang, akresi, abrasi, revetment

Abstract: The Tanjungwangi Beach has a length of 4.52 km has been experiencing with accretion and abrasion in some area due to the dominant wave from northeast direction. Therefore, it is important to take any actions considered as necessary countermeasures to solve the problem of accretion and abrasion.

The aim of this study is to understand the distribution of wave direction, the wave with the return period of 25 years H_{max} , H_{10} , and the dominance of wave from northeast direction. In term of sediment transport and coastline stability problems, the study location is aiming to find the technical solution.

The results indicated that the direction of highest wave comes from the south with rate of 51.505 %, while the highest wave was developed from the northeast direction was 12.596 %. Transported sediment based on data analysis were 13,267.552 m³/year (abrasion) and 812.239 m³/year (accretion). However, the field observation within 10 year period showed that the transport rates are 13,294.955 m³/year (abrasion) and 808.018 m³/year (accretion). Based on the analysis, Tanjungwangi Beach is majorly experiencing with abrasion processes. The revetment structure of natural rock pile was suggested to be set up within the study area.

Keywords: Tanjungwangi beach, wave, accretion, abrasion, revetment

Pantai Tanjungwangi yang berada di Desa Sologiri Kelurahan Ketapang Kecamatan Kalipuro Kabupaten Banyuwangi dengan panjang 4,592 km, terletak pada 8°07'14,57" LS – 114°25'46,01" BT dengan batas-batas sebagai berikut:

- Utara : Kabupaten Situbondo
- Timur : Selat Bali
- Selatan : Kota Banyuwangi
- Barat : Kawah ijen yang berbatasan langsung dengan Kabupaten Bondowoso.



Gambar 1. Peta lokasi studi



Gambar 2. Situasi garis pantai Tanjungwangi (2011)

Terjadinya akresi dan abrasi di Pantai Tanjungwangi diakibatkan beberapa faktor yaitu:

1. Faktor alami
 - Adanya serangan gelombang dominan dari arah timur laut yang bersamaan dengan air pasang. Kondisi ini mengakibatkan banyak kerusakan pada pemukiman penduduk, dar-maga pelabuhan, persawahan, perkebunan kelapa.
 - Kondisi pantai yang terbuka mengakibatkan terjadinya serangan gelombang dari berba-gai arah. Pantai Tanjungwangi tidak mem-punyai perlindungan alami seperti hutan ba-kau maupun pelindung buatan yang berupa bangunan pantai
 - Tidak adanya sungai-sungai yang memba-wa suplai sedimen, hanya parit-parit di dae-rah tersebut. Beberapa parit yang bermuara di pantai tersebut pada umumnya pendek dan debit aliran hanya terjadi pada musim hujan, sehingga sedimen yang terangkut juga kecil.
2. Faktor non alami
 - Adanya penambahan daratan untuk pem-bangunan industri yang mengakibatkan mundurnya garis pantai. Akibat dari ini se-mua terjadi angkutan sedimen sejajar pantai sehingga berkurangnya daratan yang tidak terlindungi oleh bangunan sekitarnya maka terjadi abrasi.

Studi ini bertujuan untuk memberikan beberapa alternatif bangunan yang sesuai untuk mengatasi permasalahan di lokasi studi

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkitan Gelombang

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energi air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehing-ga permukaan air yang tadinya tenang akan tergang-gu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air.

Data-data kecepatan angin yang digunakan un-tuk pembangkitan gelombang adalah data yang dicatat di darat yang diukur pada ketinggian tertentu di atas permukaan laut. Hal ini mengakibatkan data tersebut harus melewati tahap koreksi, antara lain:

1. Koreksi elevasi

Pada peramalan gelombang biasanya digunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m, bila tidak diukur pada ketinggian tersebut, kecepatan angin perlu dikoreksi dengan rumus. (Yuwono, 1992:1-7):

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/2} \quad (2-1)$$

dengan:

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas tanah (m/dt).

U_z = kecepatan angin terukur pada elevasi z tanah (m/dt).

Z = elevasi pengukuran (m).

2. Koreksi stabilitas

Jika ada perbedaan temperatur udara dan air di laut $\Delta T_{as} = T_a - T_s$ dimana T_a adalah temperatur udara dan T_s adalah temperatur air laut, maka perlu dilakukan koreksi dengan rumus. (Anonim, 1984:3-30):

$$U = R_T \cdot U_{10} \quad (2-2)$$

dengan:

U = kecepatan angin terkoreksi (m/dt).

R_T = koreksi akibat adanya perbedaan tem-peratur udara dan air.

3. Koreksi lokasi

Biasanya pengukuran angin dilakukan di darat. Dalam proses pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah data di atas per-mukaan air laut. Karena itu diperlukan trans-formasi ke data di atas permukaan laut.

4. Koreksi durasi

Waktu yang diperlukan untuk melintasi jarak 1 mil dihitung dengan rumus berikut. (Anonim, 1984:3-27):

$$U_t = (U_{10})_L \cdot R_T \cdot R_L \quad (2-3)$$

$$t = \frac{1609}{U_t} \quad (2-4)$$

dengan:

t = waktu yang diperlukan untuk melintasi jarak 1 mil (dt).

U_t = kecepatan angin (m/dt).

$(U_{10})_L$ = kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas tanah (m/dt).

Rumus untuk mendapatkan nilai $U_t/3600$ (Anonim, 1984:3-27):

a. Untuk $1 dt < t < 3600 dt$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left\{ 0,9 \log_{10} \frac{45}{t} \right\} \quad (2-5)$$

b. Untuk $3600 dt < t < 360.000 dt$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 0,15 \log_{10} t + 1,5334 \quad (2-6)$$

Perhitungan kecepatan rata-rata dalam satu jam dilakukan dengan rumus berikut (Anonim, 1984: 3-27):

$$U_{t=3600} = \frac{U_t}{\left(\frac{U_t}{U_{3600}} \right)} \quad (2-7)$$

dengan:

U_t = kecepatan angin untuk melintasi jarak 1 mil (m/dt)

U_{3600} = kecepatan angin dalam 1 jam (m/dt).

U_t = kecepatan angin rata-rata dalam 1 jam (m/dt).

5. Faktor tegangan angin

Selanjutnya kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut. (Triatmodjo, 2008:155):

$$U_A = 0,71 \cdot U_t^{1,23} \quad (2-8)$$

dengan:

U_A = faktor tegangan angin (m/dt).

Gelombang Signifikan

Pada lokasi studi, gelombang yang terjadi merupakan gelombang maksimum tanpa mendapat batasan dari lama hembus angin dan panjang fetch. Persamaan yang dipakai gelombang yang terbentuk sempurna (FDS) adalah. (anonim, 1984:3-47):

$$\frac{g \cdot H_s}{U_A^2} = 2,433 \cdot 10^{-1} \quad (2-9)$$

$$\frac{g \cdot T_s}{U_A} = 8,134 \quad (2-10)$$

$$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \cdot 10^4 \quad (2-11)$$

dengan:

H_s = tinggi gelombang signifikan (m).

T_s = periode gelombang signifikan (dt).

t = lama hembus angin (dt).

F = panjang fetch efektif (m).

g = percepatan gravitasi (m.dt⁻²).

U_A = faktor tegangan angin (m.dt⁻¹).

Gelombang Rencana

Penentuan tinggi gelombang dan kala ulang gelombang rencana didasarkan pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan nilai daerah yang akan dilindungi. Gelombang representatif adalah tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili spektrum gelombang. (Triatmodjo, 2008:31).

Pada umumnya digunakan H_{33} atau rata-rata dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang yang juga disebut sebagai gelombang signifikan (H_s) (Triatmodjo, 2008:312).

Distribusi Frekuensi Gelombang

Penentuan tinggi gelombang dengan kala ulang tertentu dilakukan dengan analisa harga ekstrim tinggi gelombang menggunakan Metode Log Pearson Tipe III. Pengujian kesesuaian terhadap data gelombang ini menggunakan Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square.

Distribusi Arah Gelombang

Analisa distribusi arah gelombang dilakukan dengan cara meninjau gelombang yang terjadi dari berbagai arah.

Elevasi Muka Air Laut Rencana

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu pasang surut, *wave set-up*, *wind set-up* dan kenaikan muka air laut karena pemanasan global.

Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (*longshore transport*).

Transpor sedimen sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Transpor ini banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan pelabuhan, akresi, abrasi pantai dan sebagainya, oleh karena itu diperlukan analisa transpor sedimen. Ru-

mus empiris yang digunakan merupakan hubungan antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai. Untuk laut dangkal diperoleh nilai $C_g \approx C_b$, adalah

$$P_{ls} = \frac{\rho_w \cdot g}{16} \cdot H_b^2 \cdot C_b \sin \alpha_b \quad (2-12)$$

dengan:

P_{ls} = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai saat pecah (Nm/dt/m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

C_b = cepat rambat gelombang pecah (m/dt)
 $= \sqrt{g \cdot d_b}$

α_b = sudut datang gelombang pecah.

ρ_w = rapat masa air laut (kg/m³)

Bila traspor sedimen sepanjang pantai dinyatakan dalam bentuk berat terendam (*immersed weight*) maka:

$$I_1 = (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot \alpha \cdot Q \quad (2-13)$$

$$I_1 = K \cdot P_{ls} \quad (2-14)$$

dengan:

ρ_s = rapat masa pasir (kg/m³).

I_1 = berat terendam

α = faktor koreksi porositas = 0,6.

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

ρ_w = rapat masa air laut (kg/m³)

Jika kedua persamaan tersebut di atas disubstitusikan maka akan diperoleh:

$$Q = \frac{K \cdot P_{ls}}{(\rho_s \cdot \rho_w) \cdot g \cdot \alpha} \quad (2-15)$$

dengan:

Q = debit transpor sedimen sejajar pantai (m³/th)

K = konstanta. Dengan nilai $K = 0,39$ bila menggunakan gelombang H_s dan $K = 0,77$ bila yang digunakan dalam perencanaan adalah gelombang H_{rms} .

Berdasarkan ketersediaan data α_0 dan H_0 , rumus pendekatan jumlah transpor sedimen sejajar pantai dapat dihitung dengan rumus:

$$Q \cdot \alpha_0 \cdot H_0 = 2,03 \cdot 10^6 \cdot f \cdot H_0^{5/2} \cdot F(\alpha_0) \quad (2-16)$$

$$F(\alpha_0) = (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad (2-17)$$

dengan:

Q = debit transpor sedimen sejajar pantai (m³/th)

α_0 = sudut gelombang datang

H_0 = tinggi gelombang pecah (m)

f = prosentase gelombang

$$0,05 \cdot \tilde{\rho} g^{3/2} \cdot H_0^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad (2-18)$$

Bangunan Pengaman Pantai

Pengamanan terhadap kestabilan pantai dapat dilakukan dengan membangun suatu bangunan pantai agar dapat melindungi pantai dari serangan gelombang dan arus. Adapun cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, (Triatmodjo, 2008) yaitu:

1. Memperkuat /melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang.
2. Mengubah lajur transpor sedimen sepanjang pantai.
3. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai.

Untuk menentukan dimensi batu pelindung/armor dipergunakan rumus Hudson sebagai berikut:

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cos \theta} \quad (2-19)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (2-20)$$

dimana:

W = berat jenis batu pelindung (kg atau ton)

γ_r = berat jenis batu (kg/m³ atan ton/m³)

γ_a = berat jenis air laut (kg/m³ atan ton/m³)

H = tinggi gelombang rencana (m)

θ = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang (°)

K_D = koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung (batu alam atau buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisinya, ikatan antara butir dan keadaan pecahnya gelombang.

Lebar puncak pemecah gelombang dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$B = n \cdot k \Delta \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \quad (2-21)$$

Dimana:

B = lebar puncak (m)

n = jumlah butir batu (minimum = 3)

$k \Delta$ = koefisien lapis

W = berat jenis batu pelindung (kg atau ton)

γ_r = berat jenis batu (kg/m³ atan ton/m³)

Tebal lapis pelindung dan jumlah butir tiap satu luasan diberikan oleh rumus berikut

$$N = A \cdot n \cdot k\Delta \left[t - \frac{P}{100} \right] \cdot \left[\frac{\gamma_r}{w} \right]^3 \quad (2-22)$$

Dimana:

- t = tebal lapisan pelindung
- n = jumlah butir batu (minimum = 3)
- kΔ = koefisien lapis
- A = luas permukaan (m²)
- P = porositas rerata dari lapisan pelindung (%)
- N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A
- W = berat jenis batu pelindung (kg atau ton)
- γ_r = berat jenis batu (kg/m³ atau ton/m³)

Stabilitas Bangunan

Analisa kestabilan bangunan dilakukan terhadap guling, pergeseran datar, dan daya dukung tanah.

1. Stabilitas terhadap guling

Bangunan yang dinyatakan stabil terhadap guling jika:

$$Sf = \frac{\sum M_T}{\sum M_G} > 1,5 \quad (2.23)$$

$$Sf = \frac{\sum M_T}{\sum M_G} > 1,1 \quad (2.24)$$

Dimana:

- Sf = angka keamanan (*safety factor*)
- M_T = momen tahan (ton.m)
- M_G = momen guling (ton.m)

2. Stabilitas terhadap pergeseran datar

Bangunan yang dinyatakan stabil terhadap pergeseran datar jika:

$$Sf = \frac{f \sum V}{\sum H} > 1,5 \quad (2.25)$$

$$Sf = \frac{f \sum V}{\sum H} > 1,1 \quad (2.26)$$

Dimana:

- Sf = angka keamanan (*safety factor*)
- ΣV = total gaya vertikal (ton)
- ΣH = total gaya horizontal (ton)

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Bangunan dinyatakan stabil terhadap daya dukung tanah jika:

$$e = \left| \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{L}{2} \right| \quad (2.27)$$

$$\sigma_{\text{maks/min}} = \left(\frac{\sum V}{L} \right) \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) < \sigma_{\text{ijin}} \quad \text{Jika } e < \frac{L}{6} \quad (2.28)$$

$$\sigma_{\text{maks/min}} = 2 \frac{\sum V}{\left[3 \left(\frac{L}{2} \pm e \right) B \right]} < \sigma_{\text{ijin}} \quad \text{Jika } e > \frac{L}{6} \quad (2.29)$$

Dimana:

- Sf = angka keamanan (*safety factor*)
- M = momen yang bekerja pada bangunan (M_T - M_G) (ton.m)
- ΣV = total gaya vertikal (ton)
- L = panjang bangunan (m)
- e = eksentrisitas
- σ = daya dukung tanah (ton/m²)

METODOLOGI

Studi ini menggunakan data sekunder dari berbagai sumber/instansi. Selanjutnya data tersebut divalidasi dan dikontrol dengan investigasi lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembangkitan gelombang dengan menggunakan kecepatan angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Banyuwangi untuk tahun pengamatan 2006-2010 ditampilkan dalam Tabel 1.

Penentuan tinggi gelombang dan kala ulang gelombang rencana didasarkan pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan nilai daerah yang akan dilindungi. Hasil perhitungan untuk H_{maks} dan H₁₀ tahunan seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Sedangkan hasil penentuan tinggi gelombang dengan kala ulang tertentu menggunakan analisa harga ekstrim tinggi gelombang dapat dilihat pada Tabel 4. dan Tabel 5.

Analisa distribusi arah gelombang dilakukan dengan cara meninjau gelombang yang terjadi pada suatu tempat dari berbagai arah. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter sangat penting di dalam perencanaan bangunan

pantai disajikan pada Tabel 7. dan Tabel 8. Transpor sedimen sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 9.

Pemilihan Bangunan Pengendali

Pantai Tanjungwangi merupakan pantai berpasir, berkarang dan lokasinya yang bertebing atau mempunyai beda elevasi dengan garis pantai. Kerusakan atau abrasi terjadi pada daerah pemukiman penduduk, kantor pemerintahan dan fasilitas umum. Hal ini dikarenakan oleh serangan gelombang dominan dari

arah timur laut. Untuk itu diperlukan penanganan secara langsung.

Dengan mempertimbangkan kondisi lokasi, maka struktur revetment dirasa sangat cocok untuk pengamanan di Pantai Tanjungwangi. Berdasarkan fungsinya, revetment berfungsi sebagai pengaman garis pantai secara langsung terhadap serangan gelombang yang mengakibatkan abrasi dan sebagai pelindung pantai terhadap limpasan gelombang (*overtopping*). Hasil perencanaan bangunan pengendali (revetment) yang diusulkan seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Rekapitulasi Hs Kondisi Fetch Terbatas dan Hs Kodisi FDS Dengan Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2006-2010

Bulan	2006		2007		2008		2009		2010	
	FDS	Fetch								
Januari	1,730	2,412	3,749	2,679	2,919	2,412	2,662	1,987	1,327	2,412
Februari	0,968	2,412	0,968	1,987	1,327	2,412	1,948	2,201	2,662	2,201
Maret	2,414	3,224	3,187	4,375	1,327	2,823	1,948	3,420	1,523	3,024
April	2,662	2,412	1,327	2,823	0,968	2,412	1,948	3,420	4,661	5,291
Mai	1,142	1,769	1,948	3,420	1,327	1,594	1,948	3,420	3,187	3,420
Juni	1,523	1,362	0,968	1,362	0,968	1,362	0,968	1,362	0,968	1,987
Juli	1,327	1,479	1,327	2,823	0,968	1,362	0,968	1,362	1,327	2,823
Agustus	1,327	2,201	0,968	1,362	0,968	1,362	0,968	1,362	0,968	1,362
September	0,968	1,362	0,968	1,362	1,327	1,594	0,657	1,122	2,662	3,224
Oktober	0,968	1,769	0,968	1,362	1,327	1,122	0,807	1,243	2,414	3,808
November	0,968	1,362	1,730	1,820	1,948	2,823	1,948	1,318	3,187	3,420
Desember	1,730	3,224	2,662	2,823	1,327	2,201	4,661	5,291	2,176	3,615
H _{Max}	2,662	3,224	3,749	4,375	2,919	2,823	4,661	5,291	4,661	5,291

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 2. Rekapitulasi H_{Maks} Tahunan

Tahun	H _{maks} (m)
2006	2,662
2007	3,749
2008	2,823
2009	4,661
2010	4,661
n ₁	4,011
n ₂	3,488
n ₃	4,605
n ₄	2,439
n ₅	3,109
n ₆	3,774
n ₇	3,184
n ₈	3,030
n ₉	2,573
n ₁₀	3,001

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3. Rekapitulasi H₁₀ Tahunan

Tahun	H ₁₀ (m)
2006	2,097
2007	2,700
2008	2,065
2009	2,042
2010	2,852
n ₁	3,098
n ₂	2,623
n ₃	3,548
n ₄	1,722
n ₅	2,331
n ₆	2,827
n ₇	2,335
n ₈	2,248
n ₉	1,837
n ₁₀	2,243

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Gelombang Rencana untuk H_{Maks}

No	Tr	Pr	G	G.S	Log H_{Maks}	H_{Maks} Rencana (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	5	20	0,828	0,082	0,605	4,030
2	10	10	1,304	0,129	0,652	4,489
3	25	4	1,828	0,180	0,704	5,057
4	50	2	2,175	0,215	0,738	5,473
5	100	1	2,495	0,246	0,770	5,884

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Gelombang Rencana untuk H_{10}

No	Tr	Pr	G	G.S	Log H_{10}	H_{10} Rencana (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
1	5	20	0,825	0,071	0,450	2,820
2	10	10	1,308	0,113	0,492	3,104
3	25	4	1,843	0,159	0,538	3,454
4	50	2	2,202	0,190	0,569	3,709
5	100	1	2,531	0,219	0,598	3,961

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Prosentase Mawar Gelombang Dengan Kecepatan Angin Maksimum Tahun 2006-2010

Arah	Tinggi Gelombang (m)					Total
	< 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	> 3	
Utara	0	0	0	0	0	0
Timur Laut	2,659	6,648	2,309	0,770	0,210	12,596
Timur	4,689	5,598	0,420	0,000	0,000	10,707
Tenggara	11,547	12,806	0,770	0,070	0,000	25,192
Selatan	20,224	27,292	3,569	0,420	0,000	51,505
Barat Daya	0	0	0	0	0	0
Barat	0	0	0	0	0	0
Barat Laut	0	0	0	0	0	0
Total	39,118	52,344	7,068	1,260	0,210	100

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Rekapitulasi Penentuan Tinggi Bangunan Kondisi Muka Air Laut Rata-Rata (MSL)

No	Parameter Gelombang	Pemilihan		Satuan
		H_{maks} (Fixed rigid structure)	H_{10} (Semi rigid structure)	
1	MSL	1,590	1,590	m
2	Wave Set-up	0,835	0,574	m
3	Wind Set-up	0,379	0,376	m
4	Sea Level Rise	0,215	0,215	m
5	Runup	2,777	1,666	m
6	Free Board	0,400	0,400	m
Tinggi Bangunan		6,197	4,822	m

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8. Rekapitulasi Penentuan Tinggi Bangunan Kondisi Muka Air Laut Tertinggi (HHWL)

No	Parameter Gelombang	Pemilihan		Satuan
		H_{maks} (Fixed rigid structure)	H_{10} (Semi rigid structure)	
1	HHWL	2,900	2,900	m
2	Wave Set-up	-	-	m
3	Wind Set-up	0,379	0,376	m
4	Sea Level Rise	0,215	0,215	m
5	Runup	2,857	1,106	m
6	Free Board	0,400	0,400	m
Tinggi Bangunan		6,551	4,997	m

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 9. Rekapitulasi Total Sedimen “Q Untuk Setiap Titik Tinjau

Titik Tinjau	Q_s (m ³ /th)	ΔQ (m ³ /th)	Proses yang Terjadi	Keterangan
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
0	-50,85			
1	-108,02	57,17	Akresi	P0-P1
2	-304,73	-198,71	Abrasi	P1-P2
3	-441,79	-137,05	Abrasi	P2-P3
4	-322,36	119,42	Akresi	P3-P4
5	-257,14	65,22	Akresi	P4-P5
6	-273,17	-16,03	Abrasi	P5-P6
7	-279,89	-6,73	Abrasi	P6-P7
8	-263,35	16,55	Akresi	P7-P8
9	-227,63	35,71	Akresi	P8-P9
10	-511,63	-284,00	Abrasi	P9-P10
11	-960,33	-448,70	Abrasi	P10-P11
12	-1.308,59	-348,26	Abrasi	P11-P12
13	-1.666,49	-357,90	Abrasi	P12-P13
14	-2.312,50	-648,00	Abrasi	P13-P14
15	-2.691,43	-378,94	Abrasi	P14-P15
16	-2.651,15	40,29	Akresi	P15-P16
17	-2.585,51	65,84	Akresi	P16-P17
18	-2.674,92	89,41	Akresi	P17-P18
19	-2.892,44	-217,52	Abrasi	P18-P19
20	-6.145,09	-3.253,45	Abrasi	P19-P20
21	-7.419,03	-1.273,14	Abrasi	P20-P21
22	-8.533,23	-1.114,20	Abrasi	P21-P22
23	-8.848,78	-315,55	Abrasi	P22-P23
24	-10.492,28	-1.643,50	Abrasi	P23-P24
25	-11.213,70	-721,42	Abrasi	P24-P25
26	-11.839,63	-625,94	Abrasi	P25-P26
27	-12.587,12	-747,49	Abrasi	P26-P27
28	-12.882,08	-74,95	Abrasi	P27-P28
29	-12.650,37	11,71	Akresi	P28-P29
30	-12.849,83	-199,46	Abrasi	P29-P30
31	-13.153,30	-303,47	Abrasi	P30-P31
32	-13.178,09	-22,79	Abrasi	P31-P32
33	-12.999,48	176,61	Akresi	P32-P33
34	-12.864,97	134,51	Akresi	P33-P34

Tabel 10. Perhitungan Angkutan Sedimen di Lapangan (observasi)

Titik	Luas (m ²)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Volume (m ³ /tahun)	Proses yang terjadi
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
P0-P1	310,530	2	621,060	56,480	Akresi
P1-P2	853,760	2,5	2.134,400	-194,036	Abrasi
P2-P3	746,940	2	1.493,880	-135,807	Abrasi
P3-P4	29,090	2	58,180	118,836	Akresi
	682,690	2	1.365,380		
P4-P5	352,890	2	705,780	64,162	Akresi
P5-P6	85,570	2	171,140	-15,558	Abrasi
P6-P7	9,480	2	18,960	-6,256	Abrasi
	43,890	2	87,780		
P7-P8	50,390	2	100,780	16,218	Akresi
	93,060	3	279,180		
P8-P9	168,380	2,3	387,274	35,207	Akresi
P9-P10	1.348,990	2,3	3.102,677	-282,062	Abrasi
P10-P11	2.028,170	2,4	4.867,608	-442,509	Abrasi
P11-P12	1.587,080	2,4	3.808,992	-346,272	Abrasi
P12-P13	1.726,240	2,4	4.142,976	-356,945	Abrasi
	90,240	2,4	216,576		
P13-P14	2.024,520	3,5	7.085,820	-644,165	Abrasi
P14-P15	1.182,100	3,5	4.137,350	-376,123	Abrasi
P15-P16	221,820	2	443,640	40,331	Akresi
P16-P17	274,760	2,6	714,376	64,943	Akresi
P17-P18	494,200	2	988,400	89,855	Akresi
P18-P19	792,790	3	2.378,370	-216,215	Abrasi
P19-P20	7.162,010	5	35.760,050	-3.250,914	Abrasi
P20-P21	2.789,870	5	13.949,350	-1.268,123	Abrasi
P21-P22	2.443,680	5	12.218,400	-1.110,764	Abrasi
P22-P23	691,720	5	3.458,600	-314,418	Abrasi
P23-P24	3.616,130	5	18.080,650	-1.643,696	Abrasi
P24-P25	3.157,730	2,5	7.894,325	-717,065	Abrasi
P25-P26	2.754,230	2,5	6.885,575	-625,961	Abrasi
P26-P27	3.290,330	2,5	8.225,825	-747,802	Abrasi
P27-P28	329,870	2,5	824,675	-74,970	Abrasi
P28-P29	25,860	4,76	123,094	11,190	Akresi
P29-P30	461,030	4,76	2.194,503	-189,500	Abrasi
P30-P31	698,580	4,76	3.325,241	-302,295	Abrasi
P31-P32	104,090	2,42	251,898	-22,899	Abrasi
P32-P33	801,500	2,42	1.939,630	176,330	Akresi
P33-P34	611,300	2,42	1.479,346	134,486	Akresi

Perhitungan Stabilitas Bangunan

Analisa kestabilan bangunan dilakukan terhadap guling, pergeseran datar, dan daya dukung tanah seperti yang diuraikan berikut:

Kondisi muka air laut surut (LLWL).

1. Stabilitas terhadap guling.

- Untuk kondisi normal

$$\frac{365,933 + 0,306 + 0,669 + 3,122}{54,498 + 8,899 + 3,688} = 5,51$$
- Untuk kondisi gempa

$$\frac{365,933 - (365,933 \cdot 0,15) + 0,075 + 0,669 + 3,122}{54,498 + 34,613 + 3,688} = 3,31$$

2. Stabilitas terhadap geser

- Untuk kondisi normal

$$SF = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 \cdot 15,082}{(6,114 + 3,980) - (1,310 + 1,276 + 3,122)} \right) = 11,46$$
- Untuk kondisi gempa

$$SF = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194(102,194,05) - 15,082}{(25,044 + 3,98) - (0,320 + 1,276 + 3,122)} \right) = 1,70$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

- Untuk kondisi normal

$$\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 13,51 \text{ ton/m}^2 < 70,63 \text{ ton/m}^2$$
- Untuk kondisi gempa

$$\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 14,75 \text{ ton/m}^2 < 21,45 \text{ ton/m}^2$$

Kondisi muka air rata-rata (MSL)

1. Stabilitas terhadap guling.

- Untuk kondisi normal

$$\frac{365,933 + 0,306 + 4,033 + 8,972}{69,296 + 8,899 + 3,688} = 4,63$$
- Untuk kondisi gempa

$$\frac{365,933 - (365,933 \cdot 0,15) + 0,075 + 4,033 + 8,972}{69,296 + 34,613 + 3,688} = 2,77$$

2. Stabilitas terhadap geser

- Untuk kondisi normal

$$SI' = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 - 19,772}{(6,114 + 3,980) - (1,310 + 4,224 - 6,545)} \right) = 23,96$$
- Untuk kondisi gempa

$$SI' = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194(102,194,05) - 19,772}{(25,044 + 3,98) - (0,320 + 4,224 + 6,545)} \right) = 2,16$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

- Untuk kondisi normal

$$\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 14,12 \text{ ton/m}^2 < 69,99 \text{ ton/m}^2$$
- Untuk kondisi gempa

$$\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 15,03 \text{ ton/m}^2 < 21,33 \text{ ton/m}^2$$

Kondisi muka air pasang (HHWL)

1. Stabilitas terhadap guling.

- Untuk kondisi normal

$$\frac{365,933 + 0,306 + 12,637 + 20,717}{59,024 + 8,899 + 3,688} = 5,43$$
- Untuk kondisi gempa

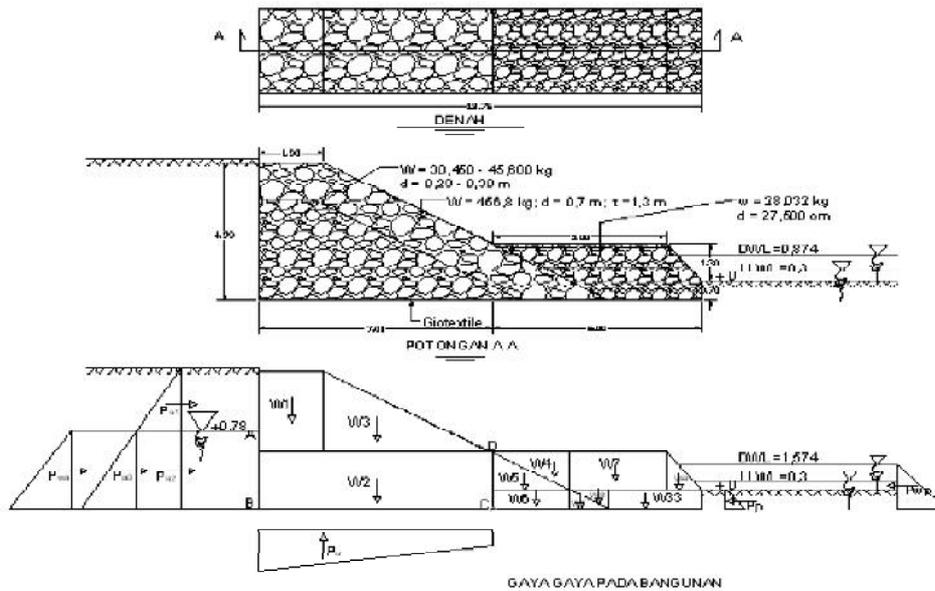
$$\frac{365,933 - (365,933 \cdot 0,15) + 0,075 + 12,637 + 20,717}{59,024 + 34,613 + 3,688} = 2,96$$

2. Stabilitas terhadap geser

- Untuk kondisi normal

$$SI' = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 - 16,516}{(6,114 + 3,980) - (1,310 + 9,046 + 11,854)} \right) = 4,77$$
- Untuk kondisi gempa

$$SI' = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 - (102,194 \cdot 0,15) - 16,516}{(25,044 + 3,98) - (0,320 + 9,046 + 11,854)} \right) = 4,25$$



Gambar 3. Bangunan revetmen tumpukan batu alam.

Sumber: Hasil Perhitungan

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

- Untuk kondisi normal
 $\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 14,38 \text{ ton/m}^2 < 70,13 \text{ ton/m}^2$
- Untuk kondisi gempa
 $\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 16,85 \text{ ton/m}^2 < 21,23 \text{ ton/m}^2$

Kondisi muka air gelombang pecah

1. Stabilitas terhadap guling.

- Untuk kondisi normal

$$\frac{365,933 + 0,306 + 4,222 + 10,353}{64,372 + 8,899 + 3,688} = 4,92$$
- Untuk kondisi gempa

$$\frac{365,933 - (365,933 \cdot 0,15) + 0,075 + 4,222 + 10,353}{64,372 + 34,613 + 3,688} = 2,91$$

2. Stabilitas terhadap geser

- Untuk kondisi normal

$$SF = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 - 18,211}{(6,114 + 3,980) \cdot (1,310 + 4,355 + 4,689)} \right) = 30,58$$
- Untuk kondisi gempa

$$SF = 0,577 \cdot \left(\frac{102,194 - (102,194 \cdot 0,15) - 18,211}{(25,044 + 3,98) \cdot (0,320 + 4,355 + 4,689)} \right) = 2,50$$

3. Stabilitas terhadap daya dukung tanah

- Untuk kondisi normal
 $\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 12,92 \text{ ton/m}^2 < 70,63 \text{ ton/m}^2$
- Untuk kondisi gempa
 $\sigma_{max} < \sigma_{ijin} \rightarrow 15,22 \text{ ton/m}^2 < 22,38 \text{ ton/m}^2$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Gelombang dominan di pantai Tanjungwangi berasal dari arah selatan sebesar 51,50 % yang dibangkitkan oleh angin. Namun gelombang maksimum berasal dari arah timur laut yaitu 12,59%, hal ini dikarenakan oleh angin yang membangkitkan gelombang terbesar dari arah timur laut. Sehingga gelombang dari arah timur laut yang dipakai sebagai perhitungan selanjutnya. Gelombang rencana dengan kala ulang 25 tahun yaitu $H_{maks} = 5,06 \text{ m}$, $H_{10} = 3,45 \text{ m}$.
2. Besarnya angkutan sedimen sesuai dengan analisis data adalah 13.267,55 m³/tahun (abrasi), 812,24 m³/tahun (akresi). Perhitungan berdasarkan pengukuran di lapangan diperoleh angkutan sedimen sebesar 13.294,96 m³/tahun (abrasi), 808,02 m³/tahun (akresi). Hal ini sesuai dengan data dalam kurun waktu 10 tahun. Sehingga perhitungan dan analisis data bisa diterapkan di lokasi studi. Sebagai catatan bahwa perhitungan dengan analisis data harus di kalibrasi terlebih dahulu. Dari hasil analisa diatas dapat disimpulkan bahwa Pantai Tanjungwangi mengalami proses abrasi
3. Dari hasil pemilihan dan perhitungan bangunan pengaman pantai dipilih untuk revetment tumpukan batu alam yang sesuai diterapkan di lokasi studi.
4. Bangunan revetment tumpukan batu alam dengan dimensi sebagai berikut:
 1. Tinggi bangunan 5 m, lebar pondasi 7 m, panjang kaki bangunan 6 m, tinggi kaki bangunan 2 m.

2. Lapisan pelindung (*armour layer*)
 - Berat satuan batuan
(W) = 456,80 kg
 - Diameter batuan
(ϕ) = 0,7 m
 - Tebal lapisan batuan
(t) = 1,3 m
 - Lebar puncak bangunan
(B) = 1,9 m
Tebal (t) = 0,8 m
3. Lapisan filter (*filter layer*)
 - Berat satuan batuan
(W) = 456,80 kg
(W₁₀) = 45,68 kg
(W₁₅) = 30,45 kg
 - Diameter batuan (ϕ)
(W₁₀) = 0,3 m
(W₁₅) = 0,28 m
4. Lapisan pelindung kaki (*toe protection*)
 - Berat satuan batuan
(W) = 28,03 kg
 - Diameter batuan (ϕ)
(ϕ) = 0,28 m
5. Kondisi bangunan stabil terhadap gaya-gaya yang mungkin terjadi.

Saran

Sistim penanggulangan abrasi pantai dengan bangunan/struktur perlu dilakukan, akan tetapi harus memperhatikan nilai-nilai estetika pantai di lokasi studi.

Pantai Tanjungwangi merupakan pantai berpasir, dan berkarang maka struktur revetment dari tumpukan batu alam sangat sesuai untuk pengamanan garis pantai secara langsung terhadap serangan gelombang yang mengakibatkan abrasi.

Diharapkan hasil studi ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi instansi terkait untuk mengatasi masalah di lokasi studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual Volume I*. Washington, DC: Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual Volume II*. Washington, DC: Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Christiady H., Hary. 2007. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Sumarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional Surabaya.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data) Jilid I*. Bandung: Penerbit Nova.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data) Jilid II*. Bandung: Penerbit Nova.
- Triatmodjo, B. 2008. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yuwono, N. 1986. *Teknik Pantai Volume I*. Yogyakarta: Biro penerbit keluarga mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.