

ANALISIS STABILITAS PENYUMBATAN MUARA SUNGAI AKIBAT FENOMENA GELOMBANG, PASANG SURUT, ALIRAN SUNGAI DAN POLA PERGERAKAN SEDIMEN PADA MUARA SUNGAI BANG, KABUPATEN MALANG

Feirani Vironita¹

Rispiningtati²

Suwanto Marsudi³

Abstrak

Muara Sungai Bang di Kabupaten Malang mengalami pendangkalan di mulut sungai diiringi dengan penyempitan sungai yang dapat mengganggu lalu lintas kapal nelayan saat air surut dan dapat mengakibatkan banjir saat air pasang yang dapat merugikan penduduk karena sebagian besar daerah tersebut digunakan sebagai pelabuhan ikan. Studi ini bertujuan untuk mengetahui laju sedimentasi di muara, sehingga dapat memberikan alternatif pemecahan masalah pendangkalan dan penyempitan muara.

Berdasarkan perhitungan gelombang diperoleh bahwa gelombang dominan berasal dari arah Selatan. Berdasarkan perhitungan angkutan sedimen pada muara Sungai Bang sebesar 15369,728 m³/th; sedangkan angkutan sedimen pantai sebesar 66042,94 m³/tahun dari arah selatan dan 73790,85 m³/tahun dari arah utara. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa angkutan sedimen yang mempengaruhi muara berasal dari angkutan sedimen sungai dengan volume *budget* sedimen per tahun sebesar 23117,64 m³. Oleh karena itu diperlukan bangunan jeti sebagai bangunan pengatur sedimen di muara.

Bangunan jeti direncanakan dengan panjang 480 m, ketinggian 9,7 m dari dasar laut dengan usia guna 16 tahun. Strategi pengelolaan muara sungai terbaik yang dapat dilakukan untuk menanggulangi masalah sedimentasi di Sungai Bang adalah dengan mulut sungai terbuka.

Kata kunci : Muara, Gelombang, Sedimen, Jeti

Abstraction

The Bang River at Malang residenc had suffered from shoaling and constriction in the river mouth. This condition can cause a problem on river transportation of local fisherman, especially when the seawater drawdown and also flood problem when high tide was occurred. The purpose of this study was to found out the sedimentation rate and then could be able to gave the alternative solution for shoaling and constriction problem at the river mouth.

The result of wave calculation showed that the wave dominant from southern. Approximately 15370 m³/year of sediment transport was occurred at the Bang River estuary, while the shore sediment transport was 66043 m³/year from southern and 73791 m³/year from northern. Hence, it can be known that the sediment transport from the river was the main and it showed that the volume of budget sediment was 23118 m³. Therefore, it was necessary to build the jeti structure as an alternative structure to control the sedimentation at the estuary.

Jetty structure was planned with length 480 m, height 9,7 m from sea base with useful life 16 years. The best management strategy of river estuary that can be applied to overcome the sedimentation problem at the River Bang with opened river mouth.

Key words : estuary, Wave, Sediment, Jeti

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Minat Teknik Sumber Daya Air Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

² Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.

³ Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki lima pulau besar dan ribuan pulau kecil sehingga memiliki wilayah pantai yang sangat panjang mencapai 80.000 km dengan muara sungai yang cukup banyak. Wilayah tersebut merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai kawasan pemukiman, pusat pemerintahan, pelabuhan, pertambangan, industri, perikanan, pertanian, pariwisata dan sebagainya.

Semakin intensifnya kegiatan pemanfaatan wilayah pantai dan muara sungai dapat menimbulkan peningkatan kebutuhan, prasarana dan sebagainya, yang selanjutnya akan mengakibatkan munculnya permasalahan baru; yaitu mundurnya garis pantai, tanah yang timbul akibat endapan pantai yang dapat mengakibatkan majunya garis pantai, pembelokan atau pendangkalan muara yang dapat menyumbat aliran sungai, pencemaran dan intrusi air laut. Adapun permasalahan yang sering dijumpai di daerah muara sungai kecil adalah pendangkalan akibat proses sedimentasi. Apabila proses ini terjadi secara terus menerus tanpa adanya suatu penanganan maka lambat laun muara akan tertutup sedimen sehingga dapat menghambat aliran sungai dan menaikkan muka air di hulu muara. Sungai Bang merupakan sungai yang memiliki nilai ekonomis tinggi, sungai ini berfungsi sebagai alur penghubung antara laut dan daratan.

Adanya pendangkalan di bagian muara sungai dapat mengakibatkan terhambatnya lalu lintas kapal nelayan di saat air surut dan di lain pihak saat air laut mengalami pasang, air meluap melebihi bibir sungai sehingga daerah sekitar Desa Tambakrejo mengalami banjir.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui laju sedimentasi dan pola pergerakan sedimen di muara, sehingga dapat memberikan alternatif pemecahan

masalah pendangkalan dan penyempitan muara yang menyebabkan banjir pada bagian hulu Sungai Bang. Hal ini dilaksanakan agar dapat mengurangi kerugian yang semakin besar. Sedangkan manfaat yang ingin dicapai dalam studi ini diharapkan dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan bagi instansi terkait untuk mengatasi masalah pendangkalan muara pada kondisi daerah yang serupa.

KAJIAN PUSTAKA

Pengertian muara sungai

Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau di bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut. Sedangkan estuari adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi pasang surut (Triatmojo, 1999 : 277).

Pembangkitan gelombang yang dipengaruhi oleh angin

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energi ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang tadinya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk.

Data-data kecepatan angin yang digunakan untuk 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:I-7) :

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7}, \text{ untuk } z < 20\text{m}$$

Dengan :

U_{10} = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m 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 di laut, maka perlu dilakukan koreksi dengan rumus (Anonim, 1984:3-30) :

$$U = R_T \cdot U_{10}$$

Dengan :

U = Kecepatan angin terkoreksi (m/dt).

R_T = Koreksi akibat adanya perbedaan temperatur udara dan air.

3. Koreksi lokasi

Biasanya pengukuran angin dilakukan di darat, padahal dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah data di atas permukaan laut. Karena itulah diperlukan transformasi ke data di atas permukaan laut.

4. Koreksi durasi

Mencari waktu yang diperlukan untuk melintasi jarak 1 mil dengan rumus berikut (Anonim, 1984:3-27):

$$t = \frac{1609}{U_f}$$

$$U_f = (U_{10})_L \cdot R_T \cdot R_L$$

Dengan :

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

U_f = Kecepatan angin (m/dt).

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

Kemudian mencari nilai $U_t/3600$ dengan rumus (Anonim, 1984:3-27):

- Untuk $1 \text{ dt} < t < 3600 \text{ dt}$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left\{ 0,9 \log_{10} \frac{45}{t} \right\}$$

- Untuk $3600 \text{ dt} < t < 360.000 \text{ dt}$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 0,15 \log_{10} t + 1,5334$$

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

$$U_{t=3600} = \frac{U_t}{\left(\frac{U_t}{U_{3600}} \right)}$$

Dengan :

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

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

$U_{t=3600}$ = Kecepatan angin rata-rata dalam 1 jam (m/dt).

5. Faktor tegangan angin

Setelah dilakukan berbagai konversi seperti yang dijelaskan di atas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut (Triatmodjo, 1999:155) :

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23}$$

Dengan :

U_A = Faktor tegangan angin (m/dt).

Gelombang signifikan

Pada kondisi laut terbuka, energi yang dihasilkan angin sudah terserap penuh oleh permukaan air yang membentuk gelombang. Kecepatan angin yang tertentu tidak mungkin lagi bagi gelombang untuk tumbuh, sehingga lama hembus dari angin sudah melebihi dari waktu yang diperlukan untuk membangkitkan gelombang. Pada keadaan di atas gelombang yang terjadi adalah gelombang terbentuk sempurna. Kondisi terbentuk sempurna ini artinya pada kecepatan angin tertentu gelombang yang terjadi merupakan gelombang

maksimum tanpa mendapat batasan dari lama hembus angin dan panjang *fetch*. Persamaan yang dipakai untuk membangkitkan gelombang yang terbentuk sempurna adalah (Anonim, 1984:3-47):

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

$$\frac{g \cdot T_s}{U_A} = 8,134$$

$$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,15 \cdot 10^4$$

Dengan :

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

T_s = Periode gelombang signifikan (detik)

t = Lama hembus angin (detik)

F = Panjang *fetch* efektif (m)

g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

U_A = Faktor ketegangan angin (m/dt)

Gelombang Pecah

1. Gelombang pecah di laut dalam

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidakstabilan dan gelombang pecah. Adapun kemiringan batas maksimum diberikan oleh bentuk (Triatmodjo, 1999:94):

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} = 0,142$$

Sedangkan persamaan cepat rambat gelombang dan panjang gelombang di laut dalam dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999:17):

$$C_o = \frac{g \cdot T}{2\pi} \quad L_o = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

2. Gelombang pecah di laut dangkal

Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif

(d/L) dan kemiringan dasar laut (m). Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu. Munk (1949) memberikan rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah berikut ini (Triatmodjo, 1999:94):

$$\frac{H_b}{H'_o} = \frac{1}{3,3(H'_o/L_o)^{1/3}}$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,28$$

Beberapa penelitian lain membuktikan bahwa indeks tinggi gelombang pecah (H_b/H'_o) dan d_b/H_b tergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang yang ditunjukkan oleh grafik. Bila ditulis dalam bentuk rumus maka akan berbentuk seperti berikut (Triatmodjo, 1999:95):

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (a \cdot H_b / g \cdot T^2)}$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})}$$

Dengan :

H'_o = Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen (m).

d_b = Kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = Tinggi gelombang pecah (m).

a, b = Fungsi kemiringan pantai.

m = Kemiringan pantai.

Refraksi Gelombang

Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Analisa refraksi menggunakan metode ortogonal yang dikemukakan oleh Arthur (1952). Teori ini didasarkan pada *Snell's Law* (Yuwono, 1986:22):

$$\frac{L_o}{\sin \alpha_o} = \frac{L}{\sin \alpha} = \frac{B_o}{\cos \alpha_o} = \frac{B}{\cos \alpha} = x$$

$$Kr = \sqrt{\frac{B_o}{B}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$$

Untuk suatu gelombang yang bergerak dari *deep water* ke *shallow water* berlaku rumus berikut (Yuwono, 1986:21):

$$\frac{H}{H_o} = \frac{H}{H'_o} \sqrt{\frac{B_o}{B}}$$

$$H = Ks.Kr.H_o$$

Dengan :

L = Panjang gelombang (m).

L_o = Panjang gelombang laut dalam (m).

C_o = Kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m/dt).

T = Periode gelombang (dt).

α = Sudut antara garis kedalaman dengan puncak gelombang.

Kr = Koefisien refraksi.

Ks = Koefisien *shoaling*

H_o = Tinggi gelombang laut dalam (m)

H = Tinggi gelombang (m).

Fluktuasi Muka Air Laut

1. Kenaikan Muka Air Karena Gelombang (*Wave Set Up*)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang air pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set down*, sedangkan naiknya muka air disebut *wave set up*. *Wave set up* di pantai dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut : (Longuet-Higgins dan Steward, 1961 dalam Teknik Pantai, 1999)

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b$$

dengan:

S_w = *Wave Set Up*.

H_b = Tinggi gelombang laut (m).

g = Percepatan gravitasi (m/dt²).

T = Periode gelombang (detik).

2. Kenaikan Muka Air Karena Angin (*Wind Set Up*)

Angin dengan kecepatan besar yang terjadi di permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar sepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas. Penentuan elevasi muka air rencana selama terjadinya badai adalah sangat kompleks yang melibatkan interaksi antara angin dan air, perbedaan tekanan atmosfer selalu berkaitan dengan perubahan arah dan kecepatan angin; dan angin tersebut yang menyebabkan fluktuasi muka air laut.

Run Up Gelombang

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, gelombang tersebut akan naik (*runup*) pada permukaan bangunan. Elevasi (tinggi) bangunan yang direncanakan bergantung pada *runup* dan limpasan yang diijinkan. Adapun fungsi bilangan Iribaren untuk berbagai jenis lapis lindung mempunyai bentuk berikut (Triatmodjo, 1999:268) :

$$I_r = \frac{tg \theta}{(H / L_o)^{0,5}}$$

Dengan :

I_r = Bilangan Iribaren.

θ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang.

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan (m).

L_o = Panjang gelombang di laut dalam (m).

Analisa Angkutan Sedimen

1. Angkutan sedimen pantai

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang terbawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa arus ke pantai. Gerak sedimen di daerah dekat pantai oleh gelombang dan arus sangat mempengaruhi proses dinamis pantai. Akibat gerakan gelombang datang yang membuat sudut dengan garis pantai, dapat menimbulkan

angkutan sedimen menyusur sepanjang garis pantai yang banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan, erosi dan sebagainya.

Sebagian rumus-rumus empiris yang ada merupakan hubungan yang sederhana antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai. Pada penerapan di laut dangkal dalam teori gelombang linier diperoleh $C_g \approx C_b$, sehingga komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai adalah :

$$P_l = \frac{\rho \cdot g}{16} \cdot H_b^2 \cdot C_b \cdot \sin \alpha_b$$

Dengan :

P_l = 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.

Bila transpor sedimen sepanjang pantai dipresentasikan dalam bentuk berat terendam (*immersed weight*) maka :

$$I_l = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot a' \cdot Q$$

$$I_l = K \cdot P_l$$

Dengan :

ρ_s = Rapat massa pasir (kg/m^3).

I_l = Berat terendam.

a' = Faktor koreksi porositas = 0,6.

g = Percepatan gravitasi (m/dt^2).

Bila kedua persamaan tersebut disubstitusikan maka akan diperoleh :

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot a'} P_l$$

Dengan :

Q = Debit tranpor sedimen sejajar pantai (m^3/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} .

2. Angkutan sedimen sungai

Angkutan sedimen sungai perlu diperhitungkan terutama di daerah sekitar

muara yang mengalami pendangkalan. Perhitungan angkutan sedimen sungai menggunakan metode *total load* Engelund & Hansen dengan memperhitungkan *bed load* dan *suspended load*. Metode ini digunakan karena berdasarkan pengukuran dengan $D_{50} < 1\text{mm}$ diperoleh hasil yang memuaskan. Adapun parameter yang digunakan adalah (Priyantoro, 1987:58) :

$$S = \Phi (\Delta \cdot g \cdot D_{50}^3)^{1/2}$$

$$\Phi = 0,1 \cdot f^{-1} \cdot \psi^{2,5}$$

$$\psi = \frac{\psi'}{\mu} = \frac{R \cdot I}{\Delta \cdot D_{50}}$$

$$f = \frac{\tau}{1/2 \cdot \rho \cdot \bar{u}^2} = \frac{2 \cdot g}{c^2}$$

$$c = \frac{\bar{u}}{\sqrt{R \cdot I}}$$

Dengan :

S = Volume total angkutan sedimen ($\text{m}^3/\text{dt/m}$).

Φ = Intensitas angkutan sedimen.

$\Delta = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$.

ψ = Gaya geser.

μ = *Ripple factor*.

R = Jari-jari hidrolis (m).

I = Kemiringan dasar sungai.

C = Koefisien Chezy ($\text{m}^{1/2}/\text{dt}$).

D = Diameter butiran (mm).

\bar{u} = Kecepatan rata-rata (m/dt).

3. Keseimbangan (*Budget*) sedimen

Budget sedimen adalah keseimbangan volume transpor sedimen dalam suatu penggal pantai berdasarkan jumlah transpor sedimen, erosi dan deposisi. Prinsip keseimbangan dalam *budget* sedimen sempurna akan memberikan hasil nilai sedimen yang masuk memiliki harga yang sama besar dengan nilai sedimen yang keluar. Apabila nilai sedimen yang masuk lebih besar dari nilai sedimen yang keluar maka akan memberi nilai selisih yang berarti terjadi pengendapan dan sebaliknya.

Prisma Pasang Surut

Prisma pasang surut (*Tidal Prism*) adalah volume air yang masuk dari laut ke sungai lewat muara antara “*Low Water Slack*” dan “*High water Slack*” berikutnya. Pada keadaan dimana tidak ada debit air tawar dari sungai, maka air yang masuk ke sungai pada saat pasang (*flood*) dan yang keluar dari sungai pada saat surut (*ebb*) volumenya adalah sama. Prisma pasang surut (P) dapat ditentukan berdasarkan dua cara yaitu dengan cara pengukuran langsung dari penampang sungai di daerah yang terpengaruh gerakan pasang surut dan

pengukuran debit (arus) di lokasi muara sungai.

Stabilitas Muara Sungai

Faktor penting yang menentukan pembentukan mulut sungai adalah prisma pasang surut dan transpor sedimen sepanjang pantai total, yang dinyatakan dalam bentuk W/M_{tot} . M_{tot} tersebut adalah jumlah transpor sedimen netto dari berbagai arah gelombang datang di pantai yang ditinjau ($m^3/tahun$) sedangkan W adalah prisma pasang surut.

Tabel 1. Nilai Stabilitas Inlet Per Bruun

W/M_{tot}	Stabilitas
$W/M_{tot} > 150$	Kondisi muara baik, terdapat sedikit gundukkan pasir dan penggelontoran baik
$100 < W/M_{tot} < 150$	Kondisi muara menjadi kurang baik, formasi gundukan pasir terlihat di mulut muara
$50 < W/M_{tot} < 100$	Gundukan pasir membesar, tetapi alur muara masih dapat menerobos gundukan pasir
$20 < W/M_{tot} < 50$	Mulut muara sudah dipenuhi oleh gundukan pasir, pada waktu badai gelombang pecah di atas gundukan pasir, tetapi muara masih berfungsi karena adanya aliran air tawar dari sungai
$W/M_{tot} < 20$	Mulut muara sudah tidak stabil sama sekali

Sumber : Jatmoko, 1999:10

Luas Penampang Muara Sungai

1. Rumus O'Brien

Pendekatan untuk menentukan ukuran penampang muara telah diusulkan oleh O'Brien (1969) yaitu dengan membuat rumus hubungan antara prisma pasang surut (P) yang lewat muara tersebut dengan ukuran penampang muara. Prinsip dari rumus ini adalah rumus empiris yang dikembangkan berdasarkan teori keseimbangan. Arus yang terjadi karena perbedaan tinggi muka air (karena adanya pasang surut) di teluk atau lagoon dan laut akan membentuk alur secara alamiah yang luasnya tergantung pada prisma pasang surut di lokasi tersebut. Rumus ini lalu dikembangkan oleh Jarrett (1976) dengan menggunakan data inlet yang terdapat di pantai Atlantic, Gulf dan Pasific, hasilnya sebagai berikut (Yuwono, 1994:32):

$$A = 1,58 \cdot 10^{-4} \cdot P^{0,95}$$

Dengan :

A = Luas penampang aliran minimum di muara yang diukur di bawah MSL (m^2).

P = Prisma pasang surut (m^3)

Perlu dijelaskan disini bahwa pendekatan tersebut didasarkan pada pengukuran data inlet dan bukan pada muara sungai. Sehingga aplikasinya pada muara sungai masih perlu diteliti lebih lanjut.

2. Rumus Jepang

Pendekatan lain dalam penentuan ukuran lebar dan dalam alur pelayaran adalah dengan menggunakan cara Jepang yang menggunakan dua rumus sebagai berikut:

$$b_2 = 0,67b_1$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{b_2}{b_1} \right) - 0,69$$

Dengan :

b_1 = Lebar bagian hulu (m).

b_2 = Lebar alur pelayaran (m).

d_1 = Kedalaman rerata sungai di bagian hulu (m).

d_2 = Kedalaman rerata di aur pelayaran (m).

Bangunan Jeti

Jeti adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Pada penggunaan muara sungai sebagai alur pelayaran, pengendapan di muara dapat mengganggu lalu lintas kapal. Untuk keperluan tersebut *jeti* harus panjang sampai ujungnya berada di luar gelombang pecah. Dengan *jeti* yang panjang, transportasi sedimen sepanjang pantai dapat tertahan.

Rumus yang dipakai untuk menghitung berat tiap satuan butiran material dalam berbagai kondisi gelombang dan kondisi perletakkan adalah (Jatmoko,1999:25):

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a}$$

Dengan :

W = Berat butir material pelindung (kN/m),

ρ_r = Berat satuan material (kN/m³),

H = Besaran tinggi gelombang (m),

K_D = Koefisien lapisan material,

S_r = Perbandingan antara berat satuan material dengan berat satuan air laut, dan

θ = Sudut kemiringan sisi bangunan.

Tebal lapisan dan jumlah butiran dapat diperkirakan dengan perhitungan memakai rumus sebagai berikut (Jatmoko,1999:25):

$$t = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3}$$

$$N = A \cdot n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[1 - \frac{P}{100} \right] \cdot \left[\frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3}$$

Dengan :

t = Jumlah lapis material (biasanya 2 lapis),

K_D = Koefisien lapisan material,

w = Berat butiran material (kN/m)

ρ_r = Berat satuan material (kN/m³),

N = Jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A, dan

ρ_r = Berat jenis batu (kN/m³)

Sedangkan, lebar minimum puncak bangunan diperhitungkan menggunakan rumus sebagai berikut (Jatmoko,1999:27):

$$B = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3}$$

Dengan :

B = Lebar puncak bangunan (m),

K_D = Koefisien lapisan material,

m = Jumlah material pelindung yang ada di puncak bangunan (minimal 3 buah),

w = Berat butiran material pelindung (kN/m), dan

ρ_r = Berat satuan material pelindung (kN/m).

Strategi Pengelolaan Muara Sungai

Adapun strategi pengelolaan muara sungai untuk menanggulangi masalah tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti jenis pemanfaatan muara sungai, operasi dan pemeliharaan, dampak lingkungan dan sebagainya. Dua pilihan dasar yang perlu ditinjau adalah (Triatmodjo,1999:293):

1. Muara sungai selalu terbuka

Supaya mulut sungai selalu terbuka diperlukan dua buah *jeti* panjang untuk menghindari sedimentasi di dalam alur muara dan pembentukan *sand bar*. Untuk menanggulangi erosi yang terjadi di hilir *jeti*, diperlukan bangunan pengendali erosi yang dapat berupa revetmen, groin, pemecah

gelombang atau kombinasi dari ketiganya.

2. Muara sungai boleh tertutup

Ada dua pilihan yaitu mulut sungai tidak boleh berbelok atau boleh berpindah. Pembelokan muara sungai dapat menyebabkan sungai semakin panjang dan dapat mengurangi kemampuannya untuk melewati debit. Untuk menahan pembelokan muara sungai perlu dibuat *jeti* sedang, *jeti* pendek, bangunan di tebing mulut sungai, atau pengerukan rutin endapan.

METODOLOGI STUDI

Lokasi Studi

Sungai Bang adalah salah satu sungai yang berada di daerah Kabupaten Malang tepatnya di Kecamatan Sumbermanjing Wetan, dengan panjang 23,4 km; luas daerah alirannya \pm 2.341,706 Ha. Secara astronomis, wilayah studi ini terletak pada $112^{\circ}42'30''$ - $112^{\circ}45'00''$ BT dan $8^{\circ}23'30''$ - $8^{\circ}21'30''$ LS dengan batas-batas sebagai berikut :

Sebelah Utara : Desa Sidomulyo Kulon,
Kabupaten Malang

Sebelah Selatan : Samudera Indonesia

Sebelah Timur : Desa Tambakasri,
Kabupaten Malang

Sebelah Barat : Desa Tambakrejo dan
Desa Kedung Banteng,
Kabupaten Malang.

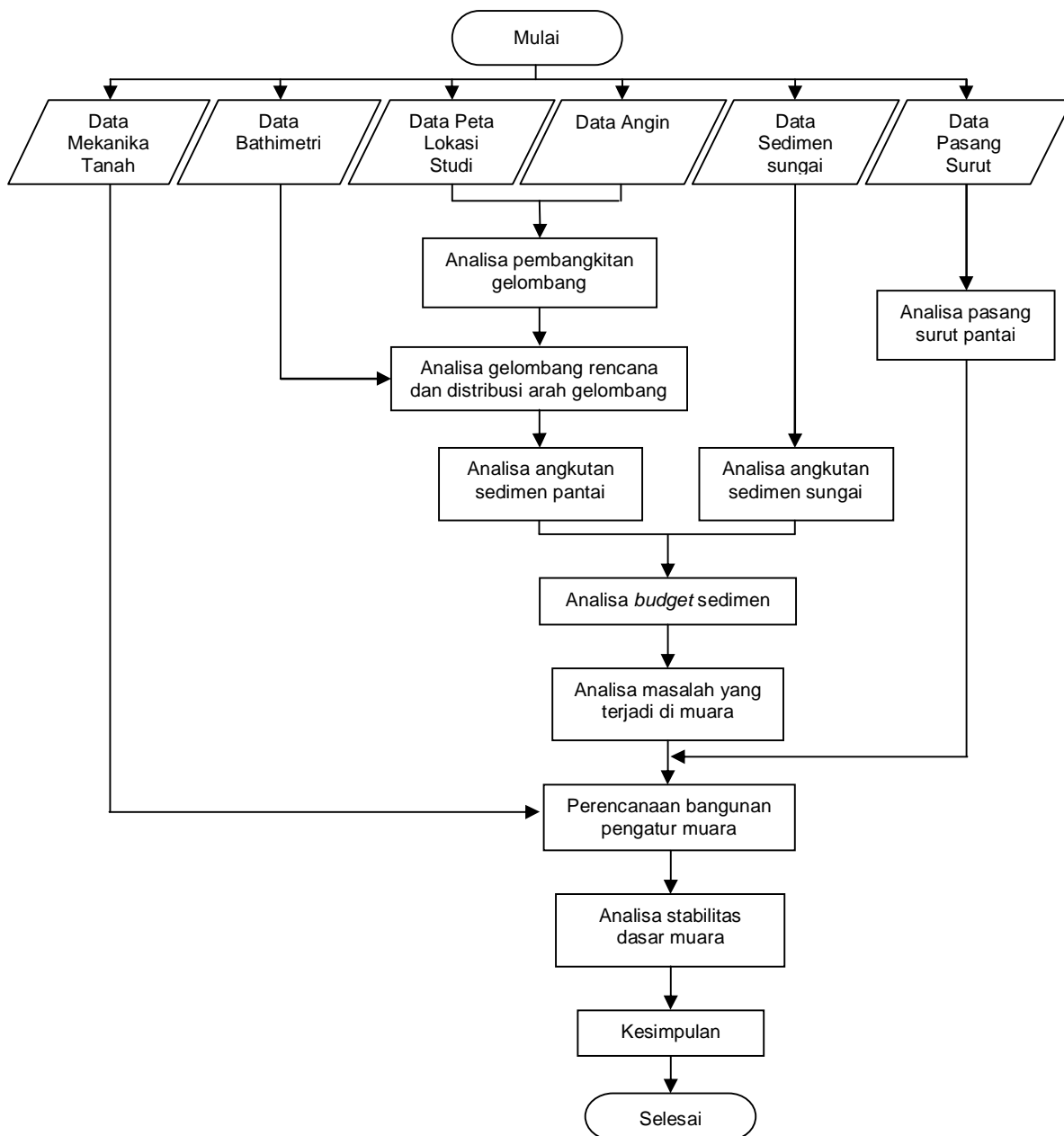


Gambar 1. Daerah Aliran Sungai Bang

Langkah Perhitungan

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan, maka tahapan yang ditempuh dalam studi ini adalah sebagai berikut:

1. Membangkitkan gelombang untuk menentukan tinggi dan periode gelombang yang terjadi berdasarkan faktor tegangan angin terkoreksi.
2. Menganalisa mawar gelombang yang berdasarkan kelompok arah dan klasifikasi tinggi gelombang dalam prosentase jumlah gelombang.
3. Menganalisa secara statistik data gelombang signifikan tahunan dengan menggunakan Metode *Partial Duration Series*.
4. Menganalisa gelombang rencana untuk menentukan tinggi gelombang dengan kala ulang tertentu yang memadai bagi keperluan perencanaan dengan Metode Log Pearson Type III, kemudian dilakukan pemeriksaan uji kesesuaian dengan menggunakan Uji Smirnov Kolmogorov dan Uji Chi Square.
5. Menganalisa refraksi gelombang dan gelombang pecah yang terjadi.
6. Perhitungan angkutan sedimen sejajar pantai dengan Metode Fluks energi.
7. Menganalisa angkutan sedimen sungai dengan Metode Engelund dan Hansen untuk mengetahui sedimen sungai yang menuju pantai, sehingga dapat diketahui keseimbangan sedimen di pantai.
8. Berdasarkan keseimbangan sedimen tersebut dianalisa masalah yang terjadi di muara untuk menentukan alternatif pengaturan muara yang sesuai.
9. Menganalisa stabilitas muara untuk mengetahui kemampuan sungai mengalirkan sedimen.
10. Menganalisa penampang muara.
11. Merencanakan bangunan pengatur muara.
12. Kesimpulan.

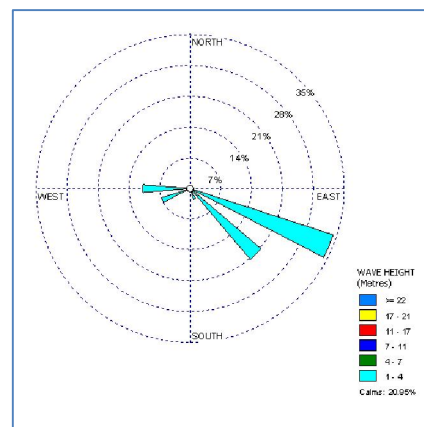


Gambar 2. Bagan Alir Pengerjaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Distribusi Gelombang

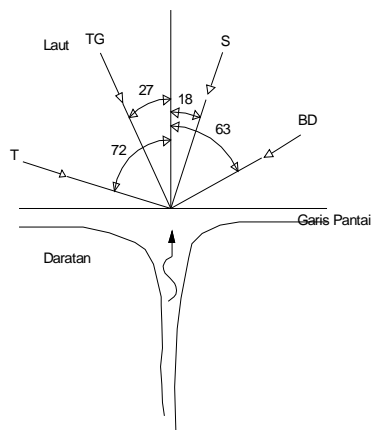
Setelah dilakukan perhitungan prosentase kejadian tinggi gelombang signifikan sesuai arah yang ditinjau, hasilnya kemudian digambar sebagai mawar angin. Dalam mawar angin, dapat diketahui bahwa arah angin dari laut yang paling dominan yaitu arah Tenggara dengan prosentase 49,836% dan Selatan dengan prosentase 12,048%. Dengan kecepatan dominan antara 4–7 sebanyak 31,599% dan kecepatan antara 7–11 sebanyak 47,731%.



Gambar 3. Mawar gelombang angin

Analisis Refraksi Gelombang

Sudut datang gelombang dibentuk oleh garis arah datang gelombang dan garis normal pantai yang tegak lurus pantai. Dari analisa pada gambar 4, diperoleh sudut datang gelombang untuk masing-masing arah Timur, Tenggara, Selatan dan Barat Daya berturut-turut adalah 72° , 27° , 18° dan 63° .



Gambar 4 Refraksi gelombang

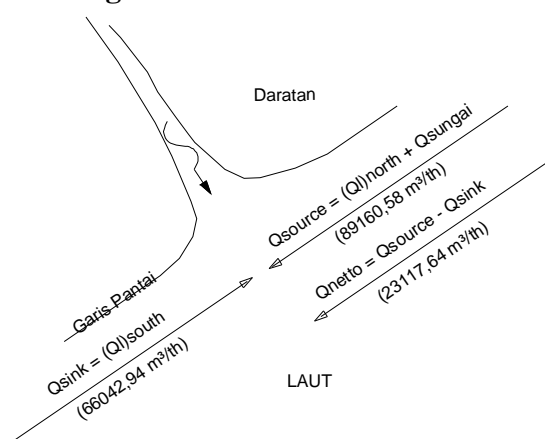
Angkutan Sedimen Pantai

Perhitungan angkutan sedimen pantai menggunakan metode fluks energi yang merupakan metode empiris. Sudut dari garis pantai Sendang Biru $56,25^\circ$ didapatkan $(Q_1)_{\text{south}} = 66043 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dan $(Q_1)_{\text{north}} = 73791 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Angkutan Sedimen Sungai

Berdasarkan perhitungan angkutan sedimen sungai menggunakan metode *total load* Engelund & Hansen yang dapat memberikan hasil memuaskan pada kelompok sedimen $D_{50} < 1\text{mm}$ didapatkan angkutan sedimen sungai sebesar $15370 \text{ m}^3/\text{th}$.

Keseimbangan Sedimen



Gambar 5 Sketsa Keseimbangan Sediment

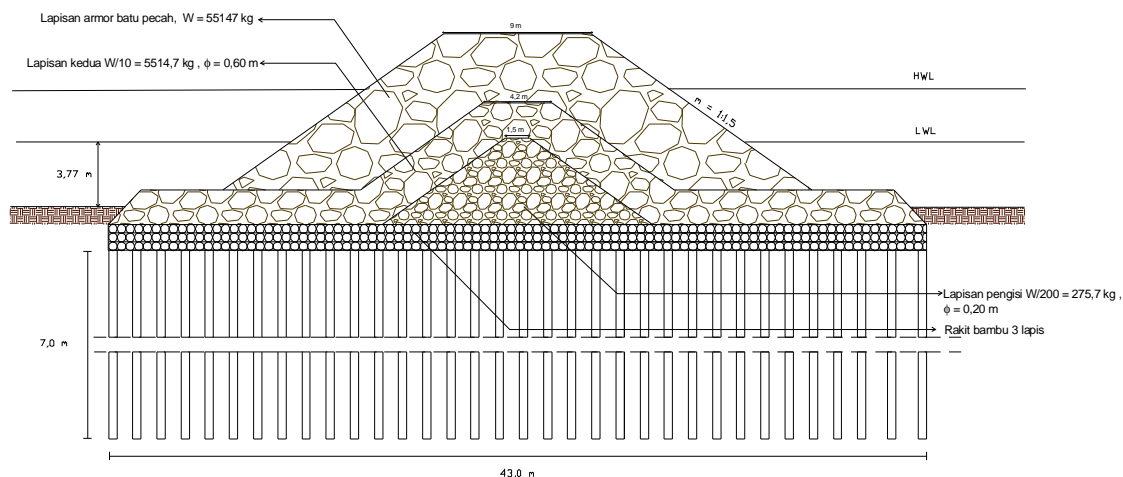
Berdasarkan analisa angkutan sedimen maka besar angkutan sedimen yang terjadi adalah sebesar $23118 \text{ m}^3/\text{th}$ ke arah sisi kanan garis normal pantai.

Analisis Pasang Surut

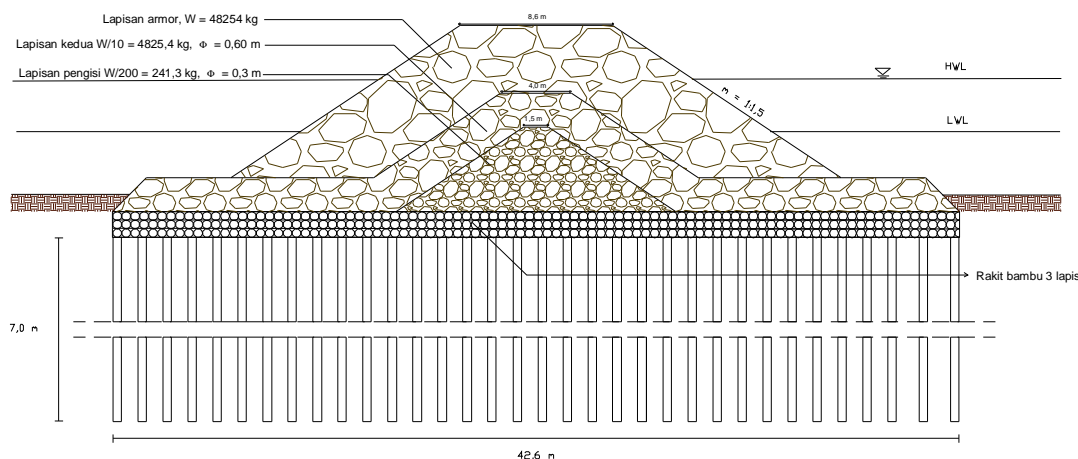
Faktor penting yang menentukan pembentukan mulut sungai adalah prisma pasang surut dan transpor sedimen sepanjang pantai total, yang dinyatakan dalam bentuk P/M_{tot} . berdasarkan perhitungan data pasang surut didapatkan prisma pasang surut sebesar $30003,501 \text{ m}^3/0,5 \text{ cycle}$. Sesuai dengan Tabel 1 mengenai stabilitas mulut sungai berdasarkan perbandingan prisma pasang surut dan angkutan sedimen total (*budget* sedimen) maka muara Sungai Bang memiliki mulut sungai yang tidak stabil dan sangat sering tertutup karena nilai $S < 20$.

Desain Bangunan Jeti

Bangunan pengendali sedimen yang sesuai untuk mengatasi permasalahan di muara Sungai Bang adalah bangunan jeti panjang. Bangunan jeti yang direncanakan memiliki dimensi panjang 480 m , ketinggian $9,7 \text{ m}$ dari dasar laut dengan usia guna 16 tahun .



Gambar 6. Konstruksi Bangunan Jeti Bagian Kepala



Gambar 7. Konstruksi Bangunan Jeti Bagian Lengan

PENUTUP Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan menggunakan Metode Total Load Engelund Hansen, angkutan sedimen pada muara Sungai Bang sebesar $15370 \text{ m}^3/\text{th}$; sedangkan angkutan sedimen pantai yang dihitung melalui Metode Fluks Energi sebesar $66043 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dari arah selatan dan $73791 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dari arah utara.
2. Berdasarkan perhitungan angkutan sedimen sejajar pantai dan angkutan sedimen sungai, didapatkan sebaran sedimen (Q_{netto}) sebesar $23118 \text{ m}^3/\text{th}$ ke arah sisi kanan garis normal pantai.
3. Berdasarkan perbandingan prisma pasang surut dan angkutan sedimen total (*budget* sedimen) maka muara Sungai Bang memiliki mulut sungai yang tidak stabil dan sangat sering tertutup karena nilai $S < 20$.
4. Bangunan pengendali sedimen yang sesuai untuk mengatasi permasalahan di muara Sungai Bang adalah bangunan jeti panjang yang direncanakan dengan dimensi panjang 480 m, ketinggian 9,7 m dari dasar laut dengan usia guna 16 tahun.
5. Strategi pengelolaan muara sungai terbaik yang dapat dilakukan untuk menanggulangi sedimentasi di Sungai Bang didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti jenis pemanfaatan muara, OP, amdal dan sebagainya adalah pengelolaan mulut sungai yang

selalu terbuka dengan membuat jeti panjang.

Saran

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, adapun beberapa saran yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan kajian sedimentasi pada muara Sungai Bang antara lain :

1. Perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam tentang pengaruh bangunan jeti terhadap lingkungan dan pergerakan arus laut.
2. Perlu diupayakan perbaikan yang terus menerus pada sungai dan muara Sungai Bang agar kelancaran sungai dapat terjaga sehingga kegiatan masyarakat sekitar sungai dan muara tidak terganggu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual volume I*, Washington. DC : US Army Corps of Engineers.
- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual volume II*, Washington. DC : US Army Corps of Engineers.
- Anonim (2009). *Coastal Sensitivity to Sea-Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region*. <http://www.fao.org> diakses 23 November 2009.
- Jatmoko, Hoedhy. 1999. *Konstruksi Jeti (Sebagai Alternatif Penanganan Muara Sungai)*. Jakarta : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Priyantoro, Dwi. 1987. *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang : Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Soehoed, A. R. 2004. *Reklamasi Laut Dangkal Canal Estate Pantai Mutiara Pluit*. Jakarta : Djembatan.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data) jilid I*. Bandung : Penerbit Nova.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Ussy, Suhardjono, 2010, **Sediment Transport In Estuary In Bang River Malang, Indonesia**, *International Journal of Academic Research*, Vol 2 No 5.
- Yuwono, Nur. 1986. *Teknik Pantai Volume I*. Yogyakarta : Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Yuwono, Nur. 1994. *Perancangan Bangunan Jeti*. Yogyakarta : Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada.