

**MODEL MATEMATIS SALINITAS AIR DI MUARA SUNGAI
UNTUK PENGAIRAN TAMBAK UDANG WINDU
(Studi kasus di Pantai Utara Kabupaten Karawang)**

**MATHEMATICAL MODEL OF WATER SALINITY IN RIVER MOUTH AS THE WATER SOURCE
FOR WATER POND OF TIGER PRAWN
(Case Study in Northern Coast of Karawang Regency)**

Andri Sewoko¹, Saiful Rochdyanto², Putu Sudira²

ABSTRACT

The main cause of the failure of water pond is the fluctuation of water quality. This research aims at testing two models, which are able to describe the fluctuation of water salinity as one of the water quality parameters. The research was conducted in Muara Sedari, Karawang from November to December 2002.

The two models applied were Mixed-Salinity Model and Cosines Model. Mixed salinity model predicts salinity in river mouth through computation of salinity of both river and sea which are mixed in. Cosines model predicts salinity of water in river mouth as considering sea tidal and river discharge. Cosines Models consists of two models, namely Tidal Model and Salinity Regression Model. Output of Tidal Model becomes one of the inputs of Salinity Regression Model. In this research four types of Salinity Regression Model were tested.

Salinity of water from the study area was measured using Argentometry method and the observed data were used to validate the model. Results indicated that all models are applicable, however, Cosines Model using Second Degree Polynomial Model has the best agreement.

Key Words: Water Pond, River Mouth, Salinity, Tidal, Argentometry

PENDAHULUAN

Perbaikan pengairan pertambakan adalah langkah vital bagi keselamatan budidaya pertambakan, karena penyebab utama kegagalan usaha pertambakan adalah buruknya sistem pengairan dan berfluktuasinya kualitas air. Apalagi 70 persen lahan tambak air payau (*brackish water pond*) di Indonesia masih dikelola secara tradisional, dengan teknologi pengaturan air yang sangat sederhana.

Perbaikan pengelolaan air pertambakan harus bertolak dari permasalahan-permasalahan pengairan pertambakan. Permasalahan utama pengairan pertambakan adalah kualitas air yang fluktuatif dan distribusi kualitas air yang tidak merata.

Di Sidoarjo dan tempat-tempat lain di Indonesia, kegagalan usaha tambak mencapai 60 persen, dan salah satu penyebabnya adalah sistem pengairan dan fluktuasi kualitas perairan sangat tinggi (Anonim, 1996). Fenomena lain yang sangat penting dalam kegiatan pengairan pertambakan

adalah distribusi kualitas air yang tidak merata. Menurut Handoyo (1993), terbatasnya kemampuan gerakan air laut mencapai daerah tambak, serta panjang pendeknya saluran yang harus dilalui, maka, semakin panjang saluran pengairan akan semakin sulit memasok air asin ke tambak, yang pada gilirannya akan mempengaruhi distribusi kualitas air.

Salah satu parameter kualitas air yang penting adalah salinitas air (kadar garam), berdasarkan informasi dari penelitian-penelitian sebelumnya, bahwa salinitas air pertambakan amat fluktuatif dan distribusinya tidak merata, maka keberadaan suatu model yang dapat memberikan informasi distribusi dan fluktuasi salinitas air menjadi sangat penting. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan menguji kelayakan penggunaan dua model matematis salinitas air (Model Pencampuran Salinitas dan Model Kosinus). Salinitas air yang optimum untuk pengairan tambak udang windu pada bulan pertama dan kedua adalah antara 20 – 25 ppt, pada bulan ketiga antara 15 – 20 ppt dan pada bulan keempat sebesar 15 ppt (Handoyo, 1993).

CARA PENELITIAN

Uji kelayakan penggunaan kedua model dilakukan melalui pengujian langsung di lapangan yaitu di daerah pertambakan di sekitar Muara Sedari, Kabupaten Karawang. Data sekunder yang dibutuhkan adalah data pasang surut tahun 1999, 2000, 2001 dan 2002, sedangkan data yang diambil langsung di lapangan pada saat penelitian adalah data salinitas muara, debit air tawar, debit muara, pasang surut, curah hujan, dan morfologi muara. Data salinitas di muara yang diambil di lapangan kemudian dibandingkan dengan data salinitas keluaran kedua model. Menurut Sudira (1999) untuk memvalidasi model dapat dipergunakan Uji T dan koefisien determinasi (R^2).

Untuk memprediksikan salinitas di muara, Model Pencampuran Salinitas mendasarkan pada perhitungan pencampuran konsentrasi salinitas air laut dan air tawar:

$$\Psi_M = (\Psi_L Q_M - \Psi_L (Q_{s+h} + Q_R) + \Psi_{s+h} (Q_{s+h} + Q_R)) \cdot Q_M^{-1} \dots (1)$$

Ψ_M = Salinitas di muara (ppt)

Ψ_L = Salinitas air laut (ppt)

Q_M = Debit muara (m^3/det)

Q_{s+h} = Debit air tawar (m^3/det)

Q_R = Parameter debit terhambat (m^3/det)

Ψ_{s+h} = Salinitas air tawar (ppt)

¹ Karyawan Perum Jasa Tirta II, Jatiluhur

² Staf Pengajar Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada

Untuk menghitung nilai debit air tawar (Q_{s+h}) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{s+h} = Q_s + Q_h \dots\dots\dots (2)$$

Q_h tergantung pada tebal hujan sehingga :

$$Q_{s+h} = Q_s + A \cdot B \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

A = Parameter luas daerah tangkapan hujan (m^2)

B = Intensitas hujan (mm/jam)

Q_s = Debit air sungai (m^3/det)

Q_h = Debit air hujan yang masuk ke muara (m^3/det)

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penggunaan Model Pencampuran salinitas adalah tidak ada pengaruh gelombang air laut, pencampuran air berjalan sempurna, aliran di saluran tunak, tidak ada pengaruh kadar garam dari tanah, dan proses aklimatisasi berlangsung cepat.

Sedangkan untuk memperhitungkan salinitas di muara, Model Kosinus mendasarkan pada hubungan regresi antara salinitas di muara, pasang surut dan debit air tawar :

$$\Psi_M = f(TMA, Q_{s+h}) \dots\dots\dots (4)$$

Untuk memprediksikan pasang surut digunakan submodel pasang surut sebagai berikut :

$$TMA = A_m \cdot \cos(\omega t - \alpha) + TMA_R \dots\dots\dots (5)$$

Ψ_M = Salinitas muara (ppt)

TMA = Pasang surut air laut (cm)

A_m = Parameter amplitudo pasang surut (cm)

ω = Parameter kecepatan sudut pasang surut ($^\circ$)

t = Waktu pengamatan

α = Parameter sudut keterlambatan pasang surut ($^\circ$)

TMA_R = Pasang surut rata-rata (cm)

Q_{s+h} = Debit air tawar (m^3/det)

Pada penelitian ini diuji empat model regresi salinitas yaitu :

$$a. Y = Y_0 + a X_1^b + c X_2^d \dots\dots\dots (6)$$

$$b. Y = Y_0 + a e^{bX_1} + c e^{dX_2} \dots\dots\dots (7)$$

$$c. Y = Y_0 + a X_1 + b X_2 + c X_1^2 + d X_2^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$d. Y = Y_0 X_1^a X_2^b \dots\dots\dots (9)$$

Dengan Y = salinitas di muara (ppt), X_1 = pasang surut air laut (cm), X_2 = debit air tawar (m^3/det), sedangkan Y_0 , a, b, c, dan d, merupakan parameter-parameter persamaan regresi. Kemudian dicari dari empat model regresi tersebut yang menghasilkan prediksi salinitas terbaik.

Asumsi yang digunakan dalam penyusunan Model Kosinus adalah gelombang air laut tidak mempengaruhi debit, pencampuran air berjalan sempurna, aliran di saluran tunak, yang mempengaruhi pasang surut hanya gaya tarik bulan, merupakan pasang tunggal, kondisi awan tidak mempengaruhi daya tarik bulan, dan tidak ada pengaruh kadar garam dari tanah.

Pada saat menjalankan Submodel Pasang Surut dilakukan pada empat fase yaitu Fase Bulan Baru, Fase Bulan Seperempat, Fase Bulan Purnama dan Fase Bulan Tigaperempat. Hal ini disebabkan karena pada keempat fase bulan tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda terutama pada parameter amplitudo pasang surut.

Sampel air diambil di 5 titik pengamatan seperti terlihat pada Gambar 1, jarak titik 1 dari pantai 1250 meter, jarak titik 2 dari pantai 1851 meter, jarak titik 3 dari pantai 3374 meter, dan jarak titik 4 dari pantai 5258 meter, sedangkan titik 0 berada di laut (100 meter dari pantai). Pengamatan dilakukan selama 30 hari, setiap hari pada satu

titik diambil 4 sampel pada saat menjelang pasang (sekitar pukul 18.00 WIB), saat pasang maksimum (sekitar pukul 24.00 WIB), saat menjelang surut (sekitar pukul 06.00 WIB), dan saat surut minimum (sekitar pukul 12.00 WIB). Sampel air yang diambil di lapangan diukur salinitasnya dengan metode Argentometri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin ke arah hulu muara maka salinitas akan semakin rendah. Hal ini disebabkan semakin ke arah hulu pengaruh air laut terhadap salinitas semakin kecil. Semakin dekat dengan laut pengaruh air laut akan makin besar sehingga salinitas akan semakin tinggi.

Volume air muara semakin mendekati laut semakin besar. Volume air muara (Q_M) merupakan penjumlahan antara volume air sungai (Q_s), volume air hujan yang masuk ke muara (Q_h), dan volume air laut yang masuk ke muara (Q_L). Semakin mendekati laut, aliran air laut yang masuk ke muara semakin besar akibatnya volume air muara semakin besar dan salinitas semakin tinggi.

Data curah hujan tersebut diambil dari stasiun curah hujan Cibuya. Selama penelitian, hujan hanya terjadi pada tanggal 2 Desember 2002, pukul 15.18 s.d. 16.12 WIB, dengan ketebalan 18 mm.

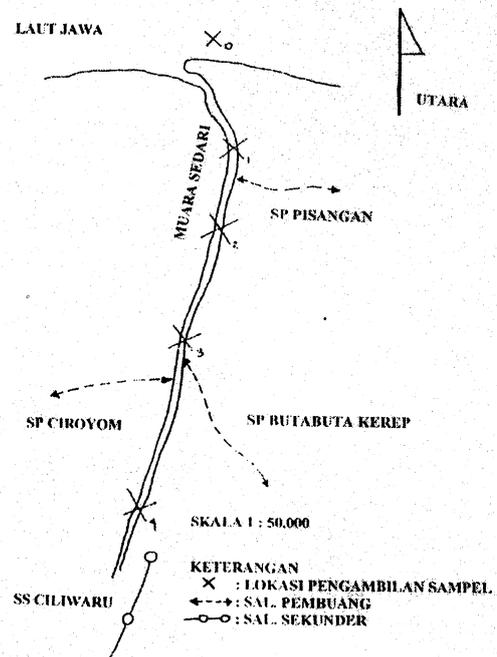


Figure 1. Location of the study area

Nilai parameter Q_R menunjukkan nilai suatu hambatan terhadap aliran air sungai ke laut atau hambatan aliran air laut menuju muara. Semakin besar nilai Q_R menunjukkan bahwa pencampuran air laut dan air sungai semakin tidak sempurna. Penyebabnya terutama faktor geografis dan pasang surut air laut. Jika nilai Q_R bernilai positif maka menunjukkan hambatan aliran sungai ke laut lebih besar daripada hambatan aliran air laut ke muara.

Dari hasil simulasi model diketahui bahwa nilai parameter Q_R pada zona 1 sebesar $1,37 \text{ m}^3/\text{det}$, pada zona 2 sebesar $0,80 \text{ m}^3/\text{det}$ pada zona 3 sebesar $0,09 \text{ m}^3/\text{det}$. Ini menunjukkan semakin ke arah hulu hambatan (Q_R) terhadap aliran sungai menuju ke arah laut semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pengaruh pasang surut air laut ke arah hulu semakin kecil sehingga nilai Q_R menjadi semakin kecil.

Parameter A menunjukkan luas daerah tangkapan hujan, parameter tersebut dipergunakan untuk memberi gambaran pengaruh hujan di atas muara terhadap salinitas di muara. Asumsi yang dipergunakan adalah seluruh air hujan yang jatuh dalam wilayah seluas A, langsung mengalir sebagai aliran permukaan (*surface runoff*) dan masuk ke muara.

Selama penelitian hanya terjadi satu kali hujan dengan ketebalan hanya 18 mm, sehingga nilai parameter A menjadi kurang akurat. Semakin sering terjadi hujan akan baik untuk menentukan nilai parameter A. Karena di lokasi penelitian lama tidak terjadi hujan, maka diperkirakan

infiltrasi yang terjadi cukup besar, sehingga pengaruh terhadap kesalahan nilai parameter A dalam penelitian ini cukup besar. Dari hasil simulasi, dapat diketahui luas daerah tangkapan hujan Zona 1 seluas 89.000 m^2 , Zona 2 seluas 81.000 m^2 , dan Zona 3 seluas 69.000 m^2 .

Apabila digambarkan dalam bentuk grafik maka perbandingan salinitas antara observasi dan model tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Dari grafik Gambar 2 dapat diketahui bahwa salinitas air di lokasi penelitian sangat berfluktuasi, hal ini disebabkan fenomena pasang surut dan berfluktuasinya suplai air tawar dari buangan sawah di daerah hulu. Dari grafik Gambar 2 dapat diketahui bahwa pada lokasi penelitian, aklimatisasi terjadi cukup cepat, penyebabnya diduga hambatan gerakan air dari muara ke laut atau sebaliknya cukup kecil yang ditunjukkan dengan nilai parameter Q_R . Aklimatisasi merupakan indikator kecepatan perubahan besarnya konsentrasi salinitas. Semakin besar nilai Q_R maka proses aklimatisasi akan semakin lambat.

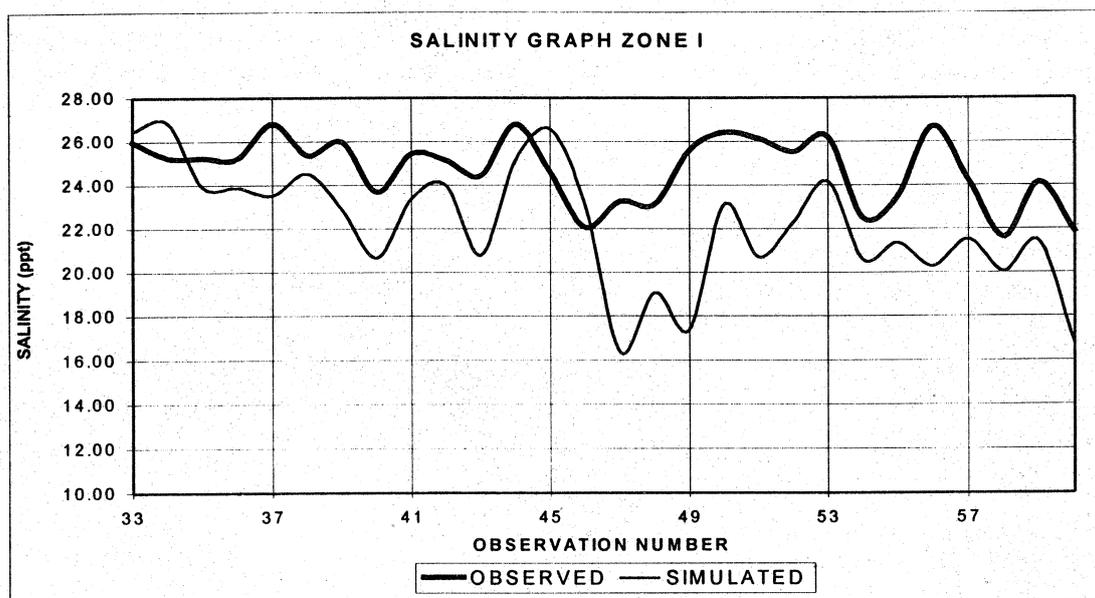


Figure 2. Observed and simulated of salinity

Salinitas observasi terlihat lebih lamban dalam menghadapi perubahan *input system* daripada salinitas hitung. Hal ini disebabkan dalam sistem nyata perubahan terhadap input sistem, membutuhkan waktu adaptasi. Misalnya terjadi kenaikan tinggi muka air yang berdampak naiknya debit air laut masuk ke muara, tidak langsung spontan mempengaruhi salinitas di seluruh muara, melainkan membutuhkan waktu pergerakan air laut perlahan ke arah hulu. Dari grafik dapat diketahui bahwa aklimatisasi atau perubahan salinitas pada lokasi penelitian ternyata sangat cepat dan mudah dipengaruhi pasang surut dan debit air tawar.

Data TMA air laut diambil dari stasiun pengukur pasang surut (*tidal gauge*) terdekat, yaitu stasiun milik Dinas Hidrooceanografi TNI AL di Marunda, Jakarta. Dari grafik Gambar 3 dan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa pasang surut di air laut memang berfluktuasi yang mendekati fungsi kosinus. Pada fase bulan purnama dan bulan baru ternyata amplitudo pasang surut sangat besar.

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pada tiap fase diketahui nilai kecepatan sudut pasang surut (ω) besarnya sama, 50 derajat. Pada fase bulan baru dan bulan purnama, rata-rata nilai parameter amplitudo cukup besar, lebih dari 40 cm. Selisih TMA tertinggi dan TMA terendah yang besar ini, menurut Hutabarat (1984) disebabkan posisi matahari dan bulan berada satu garis dengan bumi, sehingga gaya tarik bulan dan matahari saling memperkuat dan menghasilkan pasang yang tinggi (*spring tides*).

Dari grafik Gambar 3 dan Tabel 1, dapat diketahui bahwa TMA model dan TMA rata-rata tidak berbeda jauh dengan TMA observasi. Walaupun deviasi TMA rata-rata terhadap TMA observasi lebih kecil daripada deviasi TMA model terhadap TMA observasi. Ini berarti dengan meratakan TMA dari tahun-tahun sebelumnya (tahun 1999 s.d. tahun 2001), menghasilkan prediksi TMA yang lebih akurat. Dari grafik dapat dilihat bahwa terjadi pasang ganda, tetapi TMA model hanya dapat memprediksikan satu pasang yang terjadi setiap hari. TMA Rata-rata dapat

memprediksikan terjadinya pasang ganda, meskipun TMA prediksi tersebut lebih rendah dari TMA observasi. Penyebabnya pada TMA rata-rata sudah dihitung pasang ganda pada tahun-tahun sebelumnya, sehingga dapat diprediksikan adanya pasang ganda. Sedangkan pada model hanya dihitung berdasarkan fungsi kosinus sehingga adanya pasang ganda tidak terakomodasi. Diduga penyebab pasang

ganda adalah gaya tarik matahari dan gaya tarik bulan, sehingga terjadi dua gaya tarik pasang yang tidak terjadi bersamaan. Tetapi gaya tarik pasang yang disebabkan matahari ternyata lebih rendah daripada gaya tarik bulan, hal ini disebabkan letak matahari yang lebih jauh dari bulan sehingga gaya tariknya lebih lemah dan berakibat pasang pada waktu malam hari akan lebih tinggi.

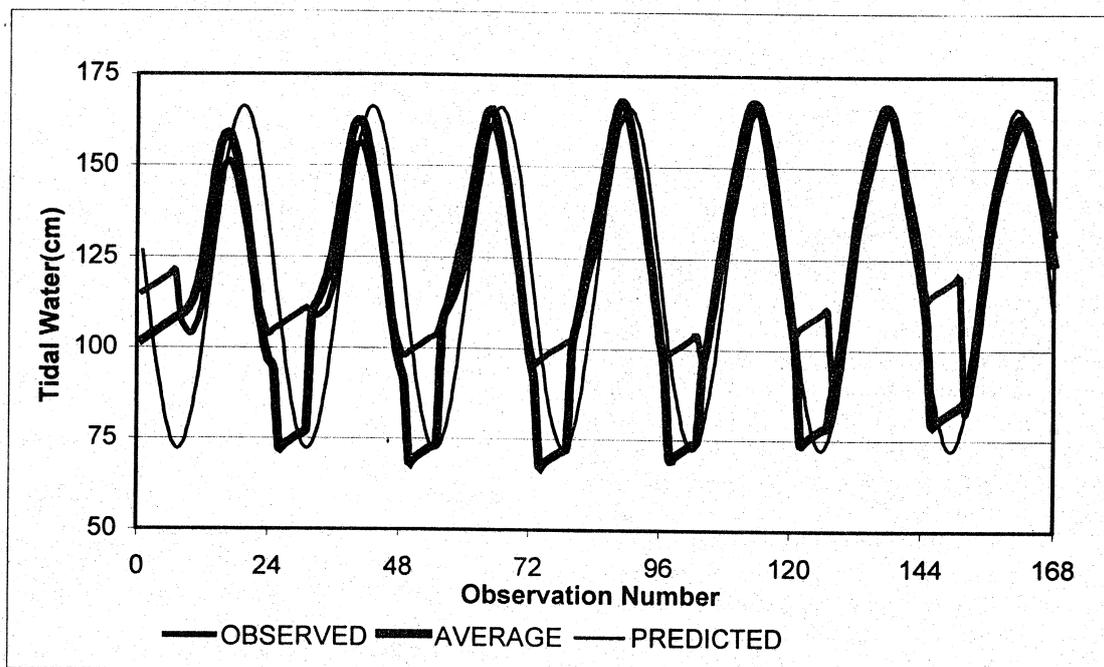


Figure 3. Observed and predicted tidal water

Table 1. Observed and Predicted Values of Tidal Water on 25 November 2002

Time	Observed (cm)	Predicted (cm)	Average (cm)	Difference (cm)
1:00	118	113	120	-5
2:00	119	114	88	-5
3:00	120	115	89	-5
4:00	121	116	90	-5
5:00	122	117	91	-5
6:00	123	118	92	-5
7:00	124	119	93	-5
8:00	81	90	85	9
9:00	86	96	90	10
10:00	94	105	97	11
11:00	104	115	107	11
12:00	118	127	120	9
13:00	131	137	132	6
14:00	141	144	143	3
15:00	149	149	149	0
16:00	154	151	153	-3
17:00	157	153	154	-4
18:00	160	154	154	-6
19:00	161	154	153	-7
20:00	159	151	150	-8
21:00	154	145	144	-9
22:00	147	139	138	-8
23:00	139	132	132	-7
0:00	132	126	127	-6

Hasil simulasi terhadap Model Kosinus dengan melakukan pengujian terhadap empat persamaan regresi menunjukkan hasil keempat model dapat diaplikasikan karena T hitung model $< T$ tabel. Dari pengujian koefisien determinasi (R^2), diketahui nilai R^2 pada zona 1 persamaan 6 sebesar 0,45, nilai R^2 persamaan 7 sebesar 0,76, nilai R^2 persamaan 8 sebesar 0,77 dan nilai R^2 persamaan 9 sebesar 0,59. Ini menunjukkan bahwa persamaan ketiga (Pers. 8), $Y = Y_0 + a X_1 + bX_2 + c X_1^2 + dX_2^2$, (persamaan polinomial berderajat 2) paling layak diaplikasikan daripada tiga persamaan lainnya.

Fenomena ini menunjukkan bahwa kejadian di alam akan cenderung mengikuti fungsi polinomial dan fungsi linear hanya terjadi pada percobaan percobaan di laboratorium. Penyebabnya percobaan di luar laboratorium sangat dipengaruhi berbagai variabel dan parameter yang sulit dikendalikan sehingga tidak mungkin merupakan fungsi persamaan linear.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dapat diterapkan di lapangan sebab, semua model yang diuji dalam penelitian ini tersedia variabel debit sungai (debit air tawar), sedangkan parameter-parameter yang dibutuhkan telah didapatkan dalam penelitian ini. Pada kedua model ini (model pencampuran salinitas dan model kosinus) dapat diketahui jumlah kebutuhan air tawar atau dapat diketahui jumlah pasok air tawar yang harus disuplai dari Saluran Sekunder Ciliwaru, sehingga salinitas pada Muara Sedari dapat optimal untuk kegiatan budidaya tambak di sekitar muara. Selama ini pasok air tawar untuk tambak masih tergantung dari drainasi dari petak-petak sawah di hulu muara dan dari limpasan bendung-bendung di daerah hulu. Akibatnya kualitas air (salinitas) menjadi sangat fluktuatif, dan budidaya tambak yang potensial ini menjadi rentan terhadap kegagalan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan, analisis, dan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu dari hasil pengujian dengan Uji T, Model Kosinus dan Model Pencampuran ternyata layak untuk digunakan, tetapi

Model Kosinus dengan Submodel Regresi Polinomial Berderajat 2 ($Y = Y_0 + a X_1 + bX_2 + c X_1^2 + dX_2^2$), memberikan hasil yang paling baik untuk memprediksikan salinitas.

Submodel Pasang Surut dapat digunakan, karena dari hasil pengujian dapat memberikan prediksi pasang surut, tetapi model pasang surut ini tidak dapat memprediksikan adanya pasang ganda yang disebabkan adanya gaya tarik matahari. Disamping itu dapat diketahui bahwa amplitudo pasang surut tertinggi terjadi pada saat bulan purnama.

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini, maka disarankan melakukan uji model pada kondisi curah hujan yang cukup banyak sehingga dapat menggambarkan pengaruh hujan terhadap salinitas di muara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1996, *Manajemen Penggunaan Lahan dan Air untuk Pengembangan Budidaya Perikanan*. Makalah Seminar Nasional Perikanan di UGM tahun 1996, Tim PT Monodon Kencana, Surabaya.
- Handoyo, Gentur, 1993, *Kajian Kualitas Air Tambak Tradisional di Sekitar Sungai Tenggang Semarang*. Thesis Program Studi S2 Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hutabarat, Sahala, 1985, *Pengantar Oseanografi*, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kusumaatmaja, Sarwono, 1999, *Tidak Mudah Menikmati Potensi Laut*. *Trubus* 361 (30) hal. 15-16, Jakarta.
- Sudira, Putu, 1999, *Pemodelan dan Simulasi*, Diktat kuliah Pascasarjana Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.