

PENDUGAAN INSTRUSI AIR LAUT DI SUNGAI

Salamun¹

Diterima 31 Agustus 2006

ABSTRACK

Estuary is mixing of salt water and fresh water. Therefore Estuary is interisting object to investigation by researcher. Estuary Phenomenon of hydraulic Estuary was dynamic so this research to use numerical model. This model can to be used forecasting for salinity intrution on Estuary or River. Set up model numerical for several variation of Estuary cross section, discharge and tides. Which Saint Venant equation especially on continuity and momentum equation whice is shown water surface (tides) and discharge flow in the river. The result computation then be coupled with the result of dispertion equation. Stability of the scheme was checked with Courant Number and Peclet Number. This Model was verification with electric conductivity (EC).

Key Words : tides, discharge

ABSTRAK

Muara adalah tempat bercampurnya air tawar dan air asin. Oleh karena itu muara selalu menjadi obyek penting dalam penelitian. Hydraulic Fenomena muara sungai adalah aliran dinamis maka penelitian ini menggunakan model numerik. Model numerik dapat digunakan untuk peramalan instrusi/permabatan air garam di muara sungai bahkan di sungai. Pembuatan model numerik untuk beberapa variasi bentuk penampang, debit sungai dan pasang surut. Dengan persamaan Saint Venant khususnya pada kesetimbangan kontinuyitas dan momentum yang menggambarkan kedudukan muka air (pasang surut) dan debit sungai. Selanjutnya persamaan tersebut digabung dengan persamaan dispersi kemantapan skema dicek dengan Bilangan Courant dan Bilangan Peclet. Model ini diverifikasi dengan elektrik konduktitas (EC).

Kata Kunci : debit dan pasang surut

¹ Jurusan Teknik Sipil FT. Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH. Tembalang, Semarang
Email : slmn@sipil.ft.undip.ac.id

PENDAHULUAN.

Fenomena Pasang Surut, Penanggulangan Banjir, Penanganan Drainase, Penyediaan Air Baku, Suplai air tambak dan air irigasi khususnya wilayah pantai membutuhkan usaha terpadu dari berbagai disiplin keahlian seperti hidrologi, hidrolika, perencanaan wilayah, kimia dan lain-lain. Dari segi hidrolika yang menarik adalah perencanaan saluran atau sistem irigasi baik tambak maupun pertanian yang melayani daerah yang sesuai dengan peruntukannya. Pantai khususnya di bagian muara pengaruh pasang surut sangat dominan sekali baik pada saat debit kecil (musim kemarau/musim barat) maupun debit besar (musim penghujan) yaitu merubah sifat dari alirannya, dari steady menjadi unsteady (berubah menurut waktu). Ini terlihat jelas pada sungai yang akan masuk ke laut, hal ini juga berpengaruh pada suplai air asin pada tambak dan air baku penduduk. Kecepatan aliran rendah bila saat terjadi pasang tinggi dan kecepatan tinggi bila terjadi pasang rendah. Kecepatan aliran merupakan faktor yang paling dominan dalam proses pengendapan, sehingga dengan menjaga kestabilan kecepatan akan terjaga pula proses pengendapan ataupun erosi.

Dari uraian diatas untuk merencanakan suatu saluran/sungai yang berfungsi sebagai sistem irigasi dan drainase yang memenuhi kriteria-kriteria yang berlaku, maka diperlukan pemahaman tentang watak dan karakteristik alirannya. Termasuk karakteristik Pa-

sang Surut dan perambatannya ke hulu demikian juga debit dari hulunya.

Dalam analisa aliran di saluran terbuka dapat dilaksanakan baik melalui penelitian eksperimental maupun cara numerik. Dalam tulisan ini dibuat suatu model numerik suatu aliran air di saluran terbuka yang dipengaruhi oleh Pasang Surut.

Diharapkan setelah diketahui fenomena yang ada di muara sungai, akan mendapatkan suatu cara pengendalian aliran yang berguna untuk mengurangi dampak yang merugikan masyarakat kota karena gangguan intrusi air laut dan masyarakat petani tambak tentang suplai air asin yang memanfaatkan sungai sebagai sarana saluran air asin dapat lancar.

LANDASAN TEORI

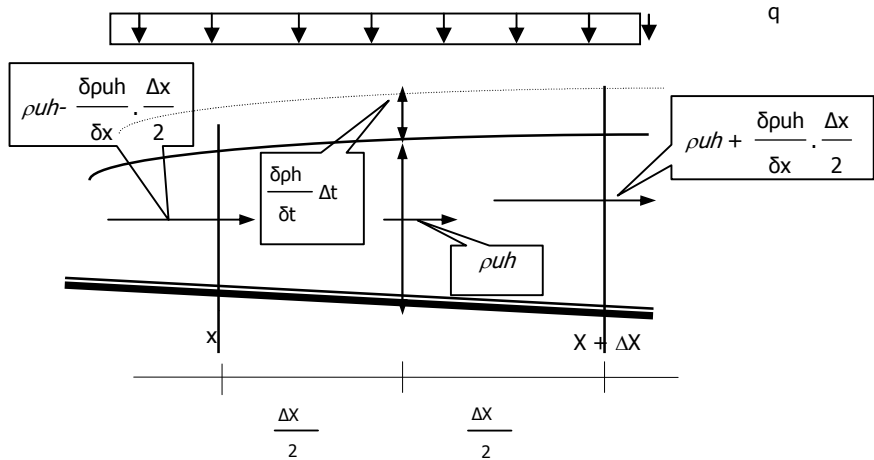
Secara umum muara sungai mempunyai beberapa fungsi al :

- a. Fungsi Hidrologis yaitu pemasok air asin untuk irigasi tambak.
- b. Pemasok akhir sistem hidrologi, mengalirkan air banjir kelaut.

Persamaan aliran adalah persamaan diferensial parsial dalam ruang dan waktu, dan telah dikenal lewat penemuan Barre de St Venant. Dalam pemodelan ini diambil anggapan bahwa aliran hanya dalam satu matra, yaitu dalam arah memanjang saluran/sungai. Persamaan aliran air diturunkan dengan menggunakan prinsip *kekekalan massa* dan *kekekalan momentum*.

Persamaan Kekekalan Massa

Tinjau ruang tilik (Control Volume) panjang dx



Gambar 1. Ruang Tilik

Dimana :

- ρ = rapat masa air
- u = kecepatan aliran arah x
- h = tinggi air
- q = aliran limpasan samping persatuan lebar

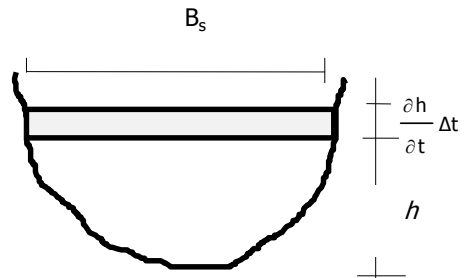
Hukum **kekakalan massa** air di ruang tilik.

Laju massa air yang masuk ruang tilik - laju massa yang keluar ruang tilik = laju kenaikan Volume di dalam ruang tilik.

$$\left\{ \rho u h - \frac{\delta \rho u h}{\delta x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right\} - \left\{ \rho u h + \frac{\delta \rho u h}{\delta x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right\} + \rho q \Delta x = \frac{\delta \rho h}{\delta t} \Delta x \dots\dots\dots (1)$$

atau

$$\frac{\delta \rho h}{\delta t} + \frac{\delta \rho u h}{\delta x} = \rho h \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2. Penampang melintang sungai

Karena air dianggap tak mampu mampat, maka ρ tetap sehingga persamaan diatas dapat ditulis

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} = q \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan ini berlaku untuk satu satuan lebar. Kontinuitas aliran air di dalam sungai/muara dapat diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan

tersebut pada penampang basah sungai/muara.

Persamaan Kekalkan Momentum

Laju netto momentum yang masuk ruang tilik + jumlah gaya yang bekerja pada ruang tilik = laju akumulasi momentum dalam ruang tilik.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- Q = debit aliran
- y = jarak anatar muka air dan garis referensi.
- A = luas tampang basah sungai
- dc = jarak dasar dan pusat berat penampang basah sungai.
- K = Konveyance Chezy

Semua variabel diatas kecuali g adalah fungsi jarak x dan waktu t.

Pitara SW merubah persamaan diatas dengan memasukkan persamaan dispersi sebagai berikut:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial t} \left(\frac{2Qb}{A} \right) + gA \left(1 - \frac{Q^2 b}{gA^3} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{AC^2 R} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan ini diselesaikan dengan pembaganan skema eksplisit. Hasil dari penyelesaian ini dipergunakan untuk menyelesaikan persamaan dispersi sbb:

$$Tr = QS - AKd \frac{\delta S}{\delta x} \dots\dots\dots (6)$$

Yadi (1997) untuk sungai Upang menggunakan persamaan :

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + 2 \frac{Q}{A^2} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q^2}{A^3} \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{rQ|Q|}{A^2(h+\zeta)} = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan ini untuk menyelesaikan pers dispersi sbb:

$$\frac{\delta C}{\delta t} + U \frac{\delta C}{\delta x} - Kd \frac{\delta^2 C}{\delta x^2} = 0 \dots\dots\dots (8)$$

Formulasi gesekan dasar yang menahan aliran yang merupakan rumus empiris antara kehilangan debit dengan kekasaran dasar sbb:

$$Q = K \sqrt{Sf} \dots\dots\dots (9)$$

$$K = C_z A \sqrt{R} \dots\dots\dots (10)$$

Kondisi Batas :

1. Initial Condition : Elevasi muka air dari data lapangan
2. Kondisi Batas Hulu : Kecepatan sama dengan nol
3. Kondisi Batas Hilir : Elevasi muka air dari pasang surut.

Persamaan Pasang Surut

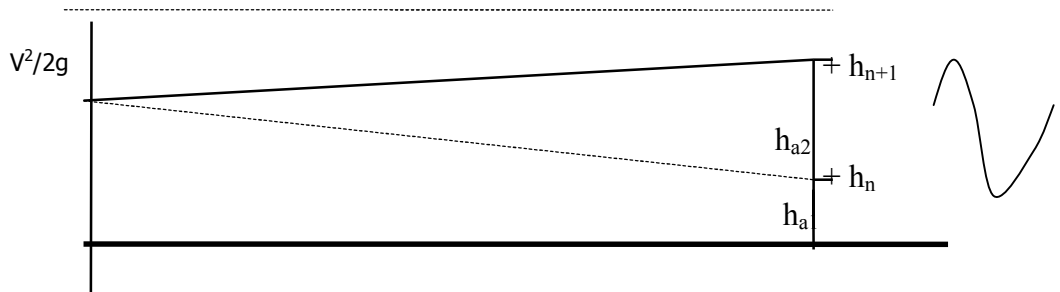
Pasang surut adalah pergerakan permukaan air laut arah vertikal yang disebabkan oleh pengaruh gaya tarik bulan, matahari dan benda angkasa lainnya terhadap bumi. karean air meruapakan zat cair yang tidak dapat menahan geseran, maka akibat gaya tarik bulan, matahari atau benda angkasa lainnya terhadap bumi maka permukaan air laut bergerak. Gerakan muka air ini pereodik sesuai dengan pereode gaya tariknya. Intensitas gaya tarik berfluktuasi sesuai posisi bulan, matahari dan bumi.

Pasang surut yang sering terjadi di Indonesia pada umumnya adalah Diurnal dan Semidiurnal jarang sekali terjadi pasang surut campuran.

Pasang surut dirumuskan

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t + \alpha_i I) \dots\dots\dots (11)$$

garis energi



Gambar 3. Kedudukan muka air akibat adanya pasang dan surut

Dimana :

$h(t)$ = tinggi muka air sesaat.

Z_0 = tinggi muka air rata-rata.

A_i = amplitudo komponen benda angkasa I

ωI = kecepatan sudut putaran komponen benda I.

αI = beda fase.

t = waktu.

n = jumlah komponen.

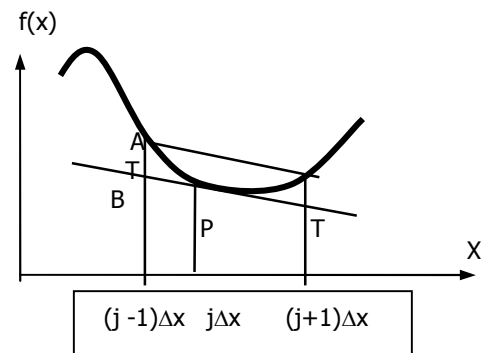
Sehingga pengaruh dari pasang surut terhadap aliran di sungai tergantung dari kedudukan muka air $h(t)$ terhadap muka air aliran sungai di saat pertemuannya.

Penurunan daya aliran ini terjadi bila pasang naik, yaitu akan merubah beda tinggi sehingga energi yang terjadipun kecil.

Bila terjadi pasang rendah maka tinggi muka air di hilir sungai adalah sebesar $h_{a1} = +h_n$, sehingga kecepatan aliran masih tinggi. Namun bila terjadi pasang naik maka tinggi muka air hilir sungai adalah sebesar $(h_{a1} + h_{a2})/h_{n+1}$, sehingga kecepatan aliran akan lebih rendah daripada saat surut bahkan sering aliran ke arah hulu yang

membawa kandungan air laut khususnya salinitas ke arah hulu.

DISKRITISASI



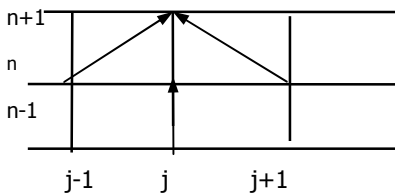
Gambar 4. Skema Diskritisasi suatu Persamaan.

Suatu fungsi satu kisaran bebas $f(x)$ dapat diturunkan sampai n kali didalam selang $(x_0 - h, x_0 + h)$ dimana h cukup kecil. Sehingga persamaan tersebut dapat dibuat seperti deret. Menurut teorema Taylor dalam pengepungan pasti terdapat kesalahan (error).

Pengurangan error dilakukan dengan beberapa orde.

Pengepungan ini ada beberapa cara antara lain :

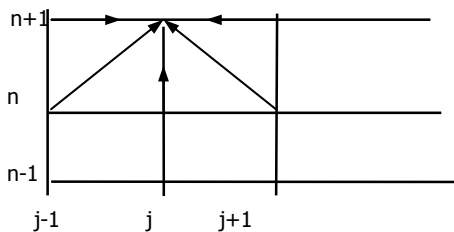
Cara Eksplisit



Gambar 5. Diskritisasi Eksplisit

Semua harga pada langkah waktu baru (new time level) dihitung dari harga pada waktu lama yang sudah diketahui.

Cara Implisit



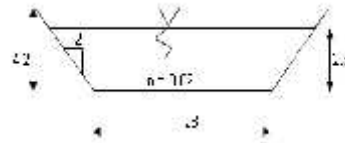
Gambar 6. Diskritisasi Implisit

Semua harga pada langkah waktu baru dihitung dari harga pada langkah waktu lama yang belum diketahui harganya.

HASIL PEMODELAN

Dari data input diadakan simulasi dengan program didapat grafik sebagai berikut:

Data penampang Sungai sbb :



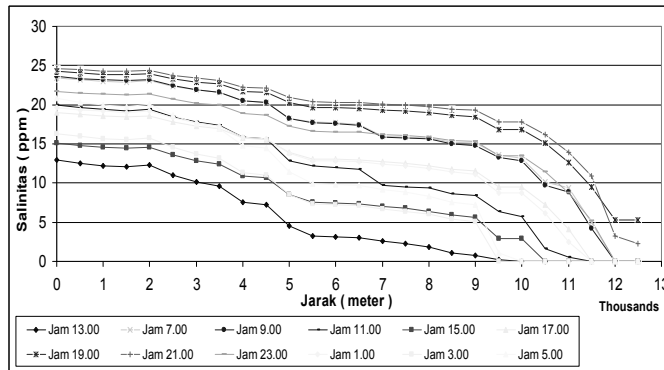
Gambar 7. Penampang sungai

Data pasang surut dengan simpangan 0,80 m. Analisa pada saat debit musim kemarau sebesar 0,81 m³/dtk. Lebar muka air 28 meter. Panjang sungai 12,5 Km. Kemiringan dasar saluran 0,0009.

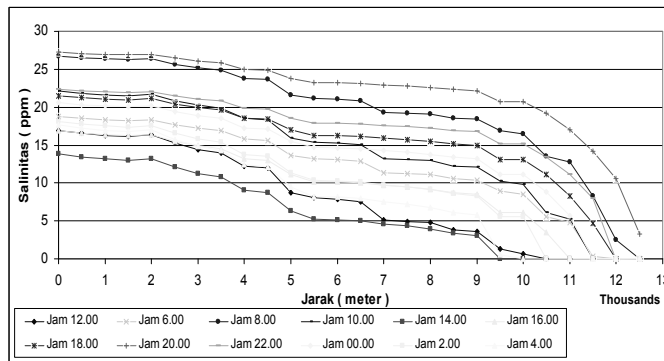
Dari data tersebut diadakan perhitungan simulasi dengan menggunakan model numerik dengan ketentuan $\Delta t = 20$ detik dan $\Delta x = 500$ meter, sehubungan Courant Number. Hasil perhitungan salinitas menunjukkan titik peralihan antara air asin dan air tawar terletak pada jarak 12,5 Km untuk kondisi pasang dengan besarnya kandungan garam yang terdapat pada titik ini adalah sebesar 5,4921 ppm dan kandungan garam pada kondisi surut terletak pada jarak 10 Km dari muara dengan kandungan garam sebesar 0,0025. Hasil perhitungan secara keseluruhan untuk setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa perambatan air asin setiap jam berbeda karena adanya fluktuasi pasang surut. Terpendek pada jam 13.00 saat surut sejauh 10.000 m dari muara sungai, terpanjang pada jam 21.00 saat terjadi pasang sejauh 13.000 m dari muara sungai. Disamping itu dari grafik tersebut dapat diketahui besarnya salinitas di setiap jarak dari muara sungai.

Salamun
Pendugaan Instruksi Air laut di sungai



Gambar 8. Grafik Salinitas sepanjang sungai interval 2 Jam dimulai jam 7.00



Gambar 9. Grafik Salinitas sepanjang sungai interval 2 jam dimulai jam 6.00

Dari Gambar 9 tersebut dapat dijelaskan bahwa perambatan air asin setiap jam berbeda karena adanya fluktuasi pasang surut. Terpendek pada jam 14.00 saat surut sejauh 9.500 m dari muara sungai, terpanjang pada jam 22.00 saat terjadi pasang sejauh 13.000 m dari muara sungai. Disamping itu dari grafik tersebut dapat diketahui besarnya salinitas di setiap jarak dari muara sungai.

Dengan diketahui berbagai kedudukan batas air asin dan air tawar disepanjang sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut dapat direncanakan pintu air tambak yang dapat menghasilkan jenis

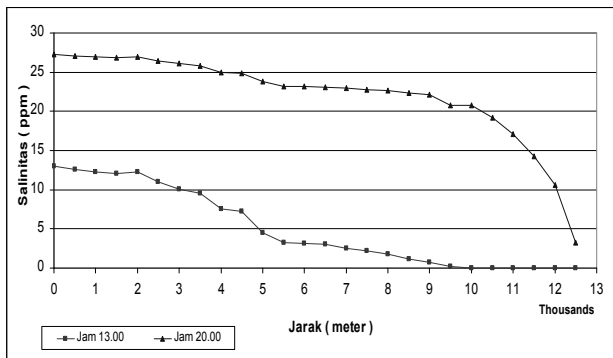
pertambakan yang sesuai dengan kondisi air dari sungai. Yang paling menguntungkan petani tambak bila tambak mereka bisa diperuntukkan untuk tambak udang. Kebutuhan air tawar dan air asin tambak udang adalah 50 : 50.

Disamping itu dengan adanya perusakan hutang dan penambahan penduduk akan berakibat pada kebutuhan air bersih, sehingga dengan diketahui perambatan air asin (instruksi) dapat digunakan untuk membuat bangunan penahan air asin, seperti Gambar 10.

Dari Gambar 10 tersebut dapat dijelaskan bahwa perambatan air asin terpendek pada jam 13.00 saat surut sejauh 9.500 m dari muara sungai, terpanjang pada jam 20.00 saat terjadi pasang sejauh 13.000 m dari muara sungai, sehingga dengan diketahui jarak pengaruh air asin dari muara

dapat ditentukan lokasi dan jenis bangunan bangunan yang diinginkan.

Guna mendapatkan hasil yang sesuai dengan kondisi di lapangan maka diadakan test salinitas sepanjang sungai dengan alat Geolistrik. Hasil test tersebut dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 10. Grafik Salinitas sepanjang sungai pada saat kondisi pasang dan surut

Tabel 1. Hasil Pengukuran Salinitas dan Daya Hantar Listrik

No	Jarak dari Muara (m)	Waktu Pengetesan		pH	Daya Hantar Listrik (μ S/cm)	Salinitas	
		Jam	Tanggal			‰	mg/l
1	0	13.15	29/09/2002	8	42000	24	24,700
2	200	13.10	29/09/2002	8	39000	23	23,143
3	700	12.50	29/09/2002	8	41500	24	24,184
4	1200	12.30	29/09/2002	8	42000	24	24,255
5	1700	12.10	29/09/2002	8	41500	24	24,632
6	2200	11.50	29/09/2002	8	40000	23	24,190
7	2700	11.30	29/09/2002	8	43000	25	25,522
8	3200	11.10	29/09/2002	8	42500	25	25,226
9	3700	10.50	29/09/2002	8	41500	24.5	24,623
10	4200	10.30	29/09/2002	8	42000	27	24,929
11	4700	10.10	29/09/2002	8	40500	25.5	24,038
12	5200	9.50	29/09/2002	8	39000	24.5	23,148
13	5700	9.30	29/09/2002	8	33000	19.5	19,956
14	6200	13.55	28/09/2002	8	41000	24	24,335
15	6700	14.15	28/09/2002	7	40000	23	24,190
16	7200	14.35	28/09/2002	7	39500	22.5	23,887
17	7700	14.55	28/09/2002	7	40500	23.5	24,492
18	8200	15.15	28/09/2002	7	39000	22	23,585
19	8700	15.35	28/09/2002	7	39000	22.5	23,148
20	9200	15.55	28/09/2002	7	39000	21	22,980
21	9700	16.15	28/09/2002	8	5000	4	2,914

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Memperoleh suatu gambaran perambatan/kedudukan air asin pada setiap kedudukan (waktu) baik saat pasang rendah maupun pasang tinggi.
2. Dengan mengetahui kedudukan air asin yang terjadi maka perencanaan irigasi, tambak dan sarana dan prasarana lainnya akan lebih baik, seperti irigasi tambak dapat menentukan kapan pembukaan pintu, tinggi pintu sehingga sirkulasi air untuk kehidupan biota (udang dll) dapat terjamin.
3. Dengan diketahui jarak pengaruh air asin dari muara dapat ditentukan lokasi dan jenis bangunan bangunan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

Bufrau P., Navaro P Garcia, *1D Mathematical Modelling of Debris Flow*, Journal of Hydraulic Research, Vol 38 No. 6, 2000.

Cahyono, DR. Ir., *Pemodelan Kualitas Air di sungai, Estuari dan Laut*, ITB Bandung, 1993.

Dronkers, J., dan Leussen, Van, Wim, *Physical Proses in Estuaries*, Springer Verlag, New York, 1988.

GJ. Schriereck, *Tides*, Depart PU Dirjen Pengairan, Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut, 1991.

Garde, Prof., RJ., Editor, *Proceeding of Third international Workshop on Alluvial River Problem (TIWARP)*, AA Balkena, Rotterdam, 1989.

Legowo, Sri, DR.Ir., Dkk. *Kajian Pendangkalan Muara Sungai di Pantai Utara Jawa Barat dan Rekayasa Pemecahannya*, RUT III 1995/1996, Bandung 1996.

Mahmood, K, dan Yevjevich, V., Editor, *Unsteady Flow in Open Channels*, Vol I & II , Water Resources Publication, Fort Collin, 1975.

Mays LW.,Ph.D, *Computer Models For Integrated Hydrosystem Management*, Arizona State University, Tempe, Arizona 2001.

Miharja, Dadang, K., *Pemodelan Bidang Kelautan dan Hidrologi*, ITB Bandung , 1991.

Rijn, Van, LC., *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Ocean*, Aqua Pubilcation, Amsterdam.

Salamun. *Kinerja Hidraulik Krib thd Pola Arus dan Dinamika Dasar Muara Sungai*, Studi model Experiment, Tesis S2 ITB 1996.

Triatmojo, Bambang, DR. DEA. CES. Ir. *Muara Sungai*, Pusat Antar Universitas ilmu Teknik UGM, 1990.

Ven Te Chow, *Open Channel Hidraulik*, Mc Gra-hill Inc. New York, 1959.