

FENOMENA INTRUSI AIR LAUT DI ESTUARI AKIBAT PENGARUH TINGGI PASANG AIR LAUT DENGAN DEBIT HULU SUNGAI MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL FISIK

THE PHENOMENA OF SALT INTRUSION IN ESTUARY THAT CAUSED SEA WATER TIDE INFLUENCE WITH RIVER UPSTREAM DISCHARGE USING PHYSICAL MODEL APPROACH

Imam Suprayogi¹, Nadjadji Anwar¹, Edijatno¹, dan Muhamad Isa Irawan²

¹ Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya

² Jurusan Matematika FMIPA-ITS, Surabaya

email: supra@ce.its.ac.id

Abstrak

Tujuan utama penelitian adalah mendeskripsikan pola hubungan antara desain model fisik di laboratorium, parameter pencampuran (M) dan tipe estuari dari fenomena intrusi air laut di estuari pada periode musim kemarau. Hasil utama dari penelitian dengan menggunakan uji model fisik di laboratorium, diklasifikasikan bertipe *stratified estuary* serta menghasilkan parameter pencampuran (M) mendekati nilai 1. Hasil penelitian di laboratorium ini diverifikasi terhadap hasil penelitian di estuari Kali Porong, yang dilakukan tahun 2000. Karakteristik aliran sungai di estuari dilakukan dengan simulasi debit konstan rentang 10-100 m³/detik pada kondisi *spring tide* terbesar dalam satu tahun selama periode musim kemarau, dengan menggunakan pendekatan model matematika satu dimensi dari program DufLOW versi 2.04. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh pasang cukup dominan ke hulu sungai. Dengan aplikasi persamaan *estuarine number* (E) Canter Cramers, estuari Kali Porong diklasifikasikan bertipe *stratified estuary*.

Kata kunci : intrusi air laut, model fisik, program DufLOW versi 2.04

Abstract

The main purpose of this research is to describe a correlation pattern between laboratory physical model design, mixing parameter and estuary type of the intrusion phenomena in estuary during the dry season. The main result of this research, according to laboratory physical model test was classified as stratified estuary type, with mixing parameter approaching one. This laboratory result was verified to former field research conducted in Kali Porong estuary in 2000. Determination of river flow characteristic at the estuary was done by simulating constant discharge of 10 - 100 m³/detik at the highest annual spring tide during the dry season. One dimension mathematical model approach of the DufLOW software version 2.04, was applied. The result showed that there was dominant influence of tide to the upper river. Application of estuarine number (E) equation of Canter Cramer, Kali Porong estuary was classified as stratified estuary.

Keywords: salt intrusion, physical model, the DufLOW software version 2.04

1. PENDAHULUAN

Menurut Triatmodjo (1999), estuari dapat diartikan sebagai bagian dari sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut. Rambatan gelombang pasang surut yang berlawanan dengan debit sungai dari hulu memberi efek yang spesifik pada hidrodinamika di estuari. Aliran air laut ke estuari disertai dengan proses transpor massa garam. Proses masuknya air asin ke estuari dikenal dengan istilah intrusi air laut. Triatmodjo (dalam Junaidi,

1999) menyatakan pula semakin tinggi pasang surut air laut dan semakin kecil debit sungai, akan mengakibatkan semakin jauh intrusi air laut dan sebaliknya.

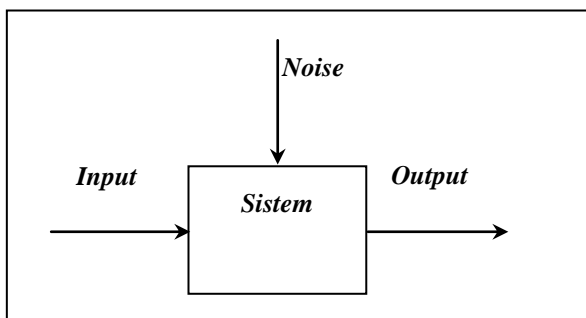
Dalam keadaan tertentu air tawar dari hulu tidak langsung bercampur dengan air laut akibat berat jenis yang berbeda. Air asin dengan berat jenis lebih besar cenderung berada di bawah air tawar. Kondisi ini menimbulkan sudut asin (*salt wedge*) yang bergerak ke arah hulu. Posisi yang berubah-

ubah bergantung pada pengaruh pasang surut air laut dan debit sungai dari hulu (Legowo, 1998).

Ada dua jenis model yang lazim dipakai dalam rekayasa estuari yaitu model fisik dan matematika. Model matematika memberikan informasi berdasar-kan hitungan, sedangkan model fisik menghasilkan informasi berdasarkan pengamatan dan pengukuran pada titik pengamatan model (Legowo, 1998).

Dalam kerangka pengembangan model, Anwar dkk (2006) menerapkan penggabungan komponen *softcomputing* yang dikelompokkan dengan model kotak hitam antara logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan (*neuro fuzzy*). Model ini dipakai sebagai alat bantu model peramalan panjang intrusi air laut di estuari untuk musim kemarau. Proses peramalan menggunakan data *time series* tidak melibatkan variabel independen lain selain indeks waktu (t), sehingga faktor-faktor independen lainnya diabaikan. Yang dicari dalam proses peramalan adalah model perilaku data, bukan faktor penyebab panjang intrusi air laut di estuari terjadi (Saikhu, 2000).

Skema model kotak hitam terdiri dari input, sistem, dan output. Penyelesaian proses peramalan *time series* panjang intrusi air laut di estuari periode bulan kemarau dapat dijelaskan dengan Gambar 1.



Gambar 1. Model Konseptual Masukan dan Keluaran Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di Estuari

Input model terdiri atas hasil pengamatan tinggi pasang air laut maksimum (H obs), debit aliran hulu sungai (Q obs), pengamatan panjang intrusi air laut (L obs), data primer di estuari Kali Lamong, Gresik. Sistem model adalah algoritma yang dikembangkan oleh Jang (1993), yaitu sistem *neuro fuzzy*, struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* (Jang, Sun dan Mizutani, 1997). Output model adalah nilai hasil peramalan panjang

intrusi air laut untuk 24 jam ke depan (L *forecasting*).

Data primer dari lokasi muara sungai Bengawan Solo pada bulan Agustus-September 1988, yang digunakan proses pembelajaran serta pengujian model peramalan dan ditarik kesimpulan bahwa model memiliki unjuk kerja yang tinggi. Hal ini ditandai dengan nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Di sisi lain karakter model kotak hitam memiliki keterbatasan dan kelemahan mendasar yaitu, dengan tidak adanya petunjuk atau indikasi bagaimana fenomena proses panjang intrusi air laut di estuari terjadi di alam (Harto, 1999, Suripin, 2004). Guna melengkapi keterbatasan dari model *softcomputing* maka pemanfaatan kelebihan model fisik yang dapat memberikan informasi lebih rinci pada titik pusat perhatian dalam pandangan tiga dimensi sebagai dasar penelitian.

Penetapan tujuan utama penelitian dari identifikasi masalah adalah untuk mendeskripsikan pola hubungan antara desain model fisik di laboratorium, nilai parameter pencampuran (M) dan klasifikasi tipe estuari dari fenomena intrusi air laut akibat perilaku fluktuasi pasang air laut yang berlawanan dengan debit sungai dari hulu di estuari pada periode musim kemarau.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam meninjau aspek hidrolika pada penelitian ini adalah penyajian dalam suatu pemodelan secara fisik di laboratorium.

Pembuatan dan Desain Uji Model Fisik

Model dibuat di Laboratorium Hidrolika di Universitas Toyo, Jepang dengan menggunakan *hydraulic experiment flume* (Ogihara dkk, 1998, Anwar, 1998) yang dilengkapi dengan alat *mariotte vessel* sebagai suplai konsentrasi garam/salinitas yang memiliki kapasitas tampung ± 40 liter. Adapun penelitian ini dilakukan di Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai, Jurusan Teknik Sipil, ITS, termasuk pembuatan alat *mariotte vessel*.

Penelitian menggunakan alat-alat sebagai berikut:

1. Saluran kaca fiber panjang 200 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 30 cm dan di lengkapi keran pengatur air.

2. *Mariotte Vessel* dengan diameter (Φ) 35 cm serta tinggi 70 cm yang mampu menampung ± 40 L konsentrasi garam sebesar 30 ppm.
3. Tampungan air kapasitas 5000 ml
4. Pencatat waktu (*stop watch*)
5. Zat pewarna ultraviolet oksidator KMNO_4
6. Alat *current meter* pengukur kecepatan aliran

Analisis Kalibrasi Debit Aliran di Flume

Bersumber penelitian Nurrohmad (2005), langkah kerja pengujian analisis kalibrasi pengukuran debit dilakukan sebagai berikut:

1. Saluran kaca fiber berpenampang segi empat panjang 200 cm, lebar 10 cm dan tinggi 30 cm di aliri air melalui kran pengatur sampai mencapai kedalaman 30 cm di kolam penenang A dan B. Kemudian mengatur tinggi air pada elevasi tertentu di hilir *flume* sampai tercapai kondisi aliran *steady state*.
2. Meletakkan *current meter* pada *cross section* terpilih yang selanjutnya melakukan pembacaan kecepatan aliran di *current meter* (cm/detik).
3. Mengukur ketinggian air pada kondisi poin 2 dari dasar *flume* (cm).
4. Menghitung luas penampang basah flume (A_{flume}) dengan mengalikan lebar flume 10 cm dengan ketinggian (cm) hasil poin 3.
5. Menghitung debit Inflow (Q_{inflow}) dengan mengalikan antara A_{flume} dengan kecepatan aliran (v).

Pengukuran debit keluaran ($Q_{outflow}$) dengan langkah sebagai berikut:

1. Air yang mengalir keluar dari hilir *flume* ditampung dengan menggunakan bak penampung dan mencatat volume air yang tertampung dalam ml dan tentukan lama waktunya dalam detik
2. Menghitung $Q_{outflow}$ dengan membagi volume air yang tertampung dalam ml dengan waktu penampungan dalam detik

Proses kalibrasi debit aliran dihentikan bila nilai Q_{inflow} mendekati $Q_{outflow}$. Langkah penelitian dilanjutkan dengan cara:

1. Mencampur air dan garam sehingga didapat salinitas sebesar 30 ppm yang ditambah zat warna violet dari oksidator KMNO_4 , mempresentasikan salinitas air laut selanjutnya dimasukkan ke *Mariotte Vessel* kapasitas ± 40 liter dengan menggunakan corong bantu.

2. Air dari hulu *flume* yang mempresentasikan debit hulu dari sungai (air tawar) dialirkan melalui kran pengatur sampai tercapai kondisi *steady state*. Kran pengatur *mariotte vessel* dialirkan melalui pipa di hilir. Sehingga dapat terjadi suatu proses pencampuran antara air tawar dari hulu *flume* dengan air asin di hilir *flume*.
3. Transpor garam di *flume* juga terjadi secara konveksi dan difusi. Secara konveksi artinya garam terbawa bersama aliran air. Transpor secara difusi terjadi karena adanya turbulensi dan perbedaan kadar garam di suatu titik dengan titik-titik di sekitarnya, sehingga kadar garam akan menyebar ke titik konsentrasi yang lebih rendah. Kedua macam transpor yang terjadi secara bersamaan yaitu, konveksi dan difusi disebut dispersi.
4. Terjadinya proses dispersi maka kadar salinitas akan masuk ke hulu *flume* sehingga membentuk lidah air asin (ditandai proses pemisahan warna KMNO_4 dan air tawar) dan menunggu aliran sampai kondisi stabil (perlu dicatat panjang lidah air asin (*salt wedge*) dari ujung sebelah hilir dari *flume* sebagai titik awal atau nol), juga catat tinggi lidah asin pada setiap *cross section* terpilih pada jarak pengaturan di *flume* (tiap jarak 20 cm dari hilir *flume*)
5. Melakukan pengamatan proses pencampuran untuk menentukan klasifikasi aliran berdasarkan parameter pencampuran (M) antara air tawar dan air asin yang dilakukan Bijker dalam Van OS dan Abraham (1990).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal adalah pendiskripsian penampang memanjang di *flume* dilakukan dengan membagi 11 pias dengan jarak 20 cm sepanjang 200 cm (Gambar 3). Hal ini bertujuan membantu ketelitian pembacaan panjang intrusi air asin yang masuk ke hulu *flume* serta batas respon dari model fisik di laboratorium akibat variasi debit dari hilir *flume* dan fluktuasi ketinggian air pasang di hilir *flume*.

Perhitungan Kalibrasi Aliran di Flume

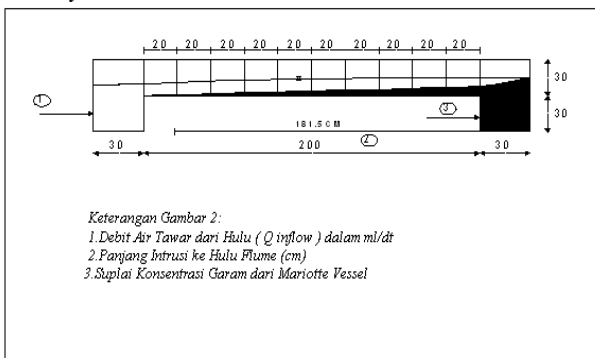
Dalam penelitian ini komponen kalibrasi dari kecepatan aliran disuatu penampang flume terpilih di desain sehingga *inflow discharge* pada hulu flume akan sama dengan *outflow discharge* pada hilir *flume*.

Sampel data hasil pengamatan hulu *flume*:
 Lebar dari flume (b) : 10 cm
 Tinggi air di flume (h) : 7,5 cm
 Kecepatan aliran (v) : 8 cm/detik
 Debit masuk yang terjadi (Q_{inflow}):
 $Q = A.v = b \times h \times v = 10 \times 7,5 \times 8 = 600$ ml/detik
 Sampel data hasil pengamatan hilir *flume*:
 Volume air yang tertampung (V): 6000 ml
 Waktu yang di butuhkan (t) : 10 detik
 $Q_{outflow} (V/t)$: 600 ml/detik

Dari hasil kalibrasi didapat Q_{inflow} sebesar 600 ml/detik mendekati atau sama dengan $Q_{outflow}$ 600 ml/detik. Setelah dilakukan kalibrasi, model siap dioperasikan karena debit sudah dalam kondisi *steady state*. Dengan memvariasikan ketinggian air di hilir *flume* akan didapatkan variasi nilai panjang intrusi air asin ke hulu *flume*. Sehingga dapat dibuat gambar hubungan antara *salt wedge* ke hulu *flume* dengan *salt wedge* akibat variasi kedalaman air pasang di hilir. Selain itu juga gambar hubungan antara perubahan ketinggian air di hilir flume dan nilai panjang lidah air di hulu.

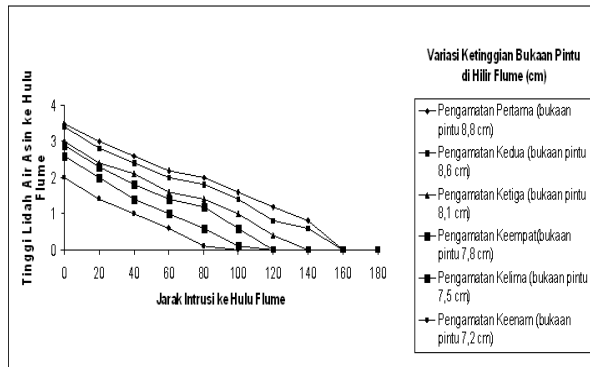
Diskripsi Hasil Pengamatan di Laboratorium
 Penentuan panjang intrusi air laut yang masuk ke hulu flume di laboratorium dapat di jelaskan menggunakan sampel data hasil pengukuran sebagai berikut: Ketinggian air di hilir *flume* (H) +8,80 cm dari dasar *flume*, kemiringan dari dasar *flume* (I_0) 0,02 serta Q_{inflow} 600 ml/detik.

Hasil pengamatan proses panjang intrusi air laut di flume adalah 181,5 cm dari hilir flume. Pola sirkulasi pencampuran air tawar dan air asin selalu di hubungkan dengan tipe muara. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Bijker dalam Van Os dan Abraham (1990) maka nilai parameter pencampuran (M) termasuk klasifikasi *stratified estuary*.

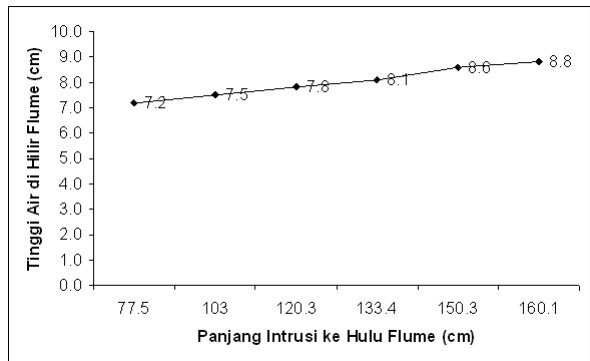


Gambar 2. Deskripsi Panjang Intrusi ke Hulu Flume

Hasil Percobaan I di Laboratorium
 Debit aliran hulu *flume* = 220 ml/detik
 Kemiringan *flume* = 0.01

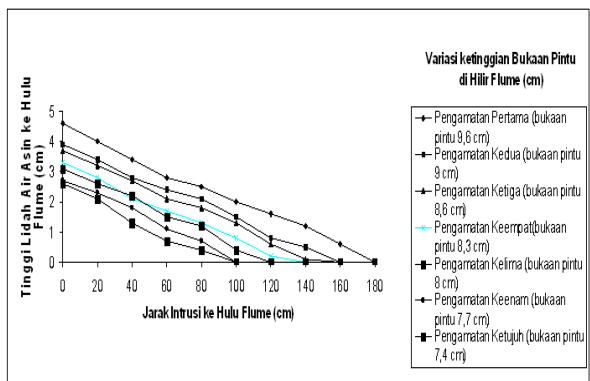


Gambar 3. Hubungan Panjang Salt Wedge ke Hulu Flume dengan Tinggi Lidah Air Asin Akibat Variasi Kedalaman Air Pasang di Hilir Flume

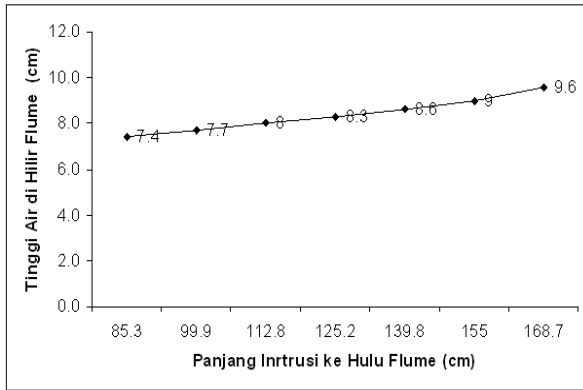


Gambar 4. Hubungan Perubahan Ketinggian Air di Hilir Flume dengan Nilai Panjang Lidah Air di Hulu Flume

Hasil Percobaan II di Laboratorium
 Debit aliran hulu *flume* = 210 ml/detik
 Kemiringan *flume* = 0.015



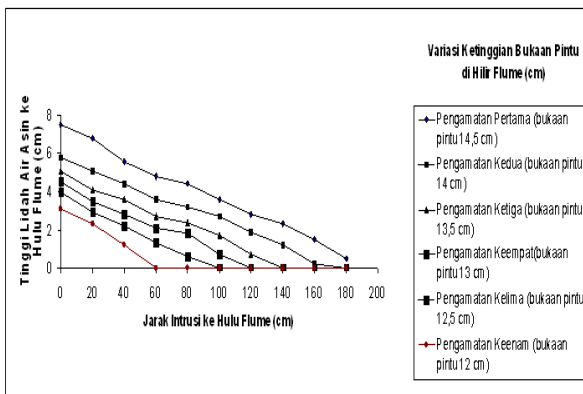
Gambar 5. Hubungan Salt Wedge ke Hulu Flume dengan Tinggi Lidah Air Asin Akibat Variasi Kedalaman Air Pasang di Hilir Flume



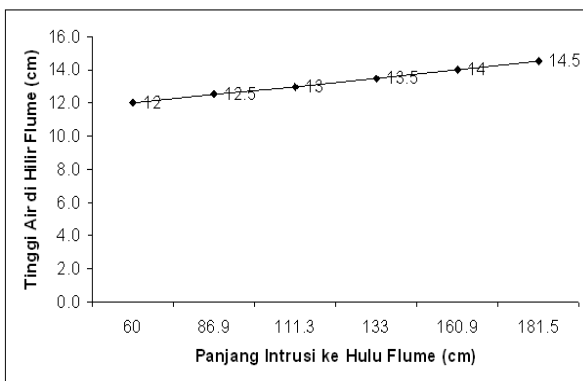
Gambar 6. Hubungan Perubahan Ketinggian Air di Hilir Flume dengan Nilai Panjang Lidah Air di Hulu Flume

Hasil Percobaan III di Laboratorium

Debit aliran dari hulu flume = 600 ml/detik
Kemiringan flume = 0,02



Gambar 7. Hubungan Antara Panjang Salt Wedge ke Hulu Flume dengan Tinggi Lidah Air Asin Akibat Variasi Kedalaman Air Pasang di Hilir Flume

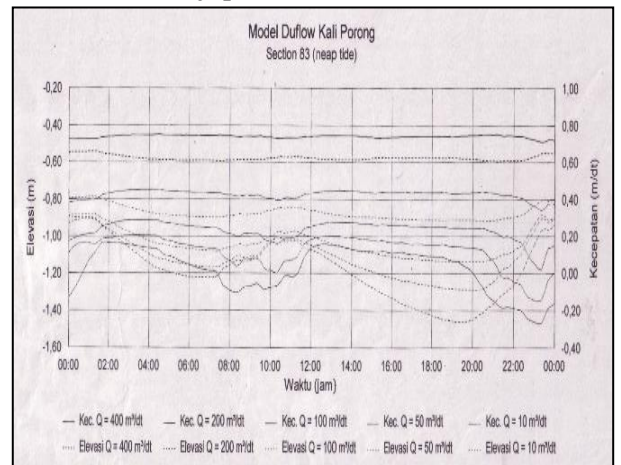


Gambar 8. Hubungan Perubahan Ketinggian Air di Hilir Flume dengan Nilai Panjang Lidah Air di Hulu Flume

Pola Sirkulasi Di Muara Sungai Kali Porong Musim Kemarau

Sirkulasi di muara sungai atau estuari sangat bergantung pada debit air tawar dari sungai. Debit Kali Porong selama musim kemarau umumnya relatif rendah dibandingkan pada musim hujan dimana air dari Kali Brantas akan dialirkan terus ke Kali Porong. Berfluktuasinya debit sungai menyebabkan salinitas, sirkulasi dan sedimentasi di muara Kali Brantas harus dipertimbangkan dua musim.

Karakter aliran sungai di daerah muara sungai Kali Porong dilakukan simulasi menggunakan DufLOW versi 2.04 untuk kondisi *spring tide* terbesar dalam satu tahun dengan menggunakan debit konstan untuk rentang 10-100 m³/detik menunjukkan pengaruh pasang cukup dominan ke arah hulu. Hasil simulasi tersebut telah dilakukan Pribowo (2000) dan tersaji pada Gambar 2.



Gambar 9. Model DufLOW Kali Porong di Section 83 pada Kondisi *Spring Tide* (Pribowo, 2000)

Selanjutnya Pribowo (2000) menggunakan persamaan pendekatan *estuarine number* (E) oleh Canter Cramers tipe pencampuran muara sungai. Adapun Kali Porong termasuk bertipe *stratified estuary*.

4. KESIMPULAN

Desain model di laboratorium menurut Bijker (1990) bertipe *stratified estuary*. Hasil penelitian di laboratorium diverifikasikan dengan hasil penelitian oleh Pribowo di estuari Kali Porong. Karakter aliran di estuari dengan cara mensimulasikan debit konstan 10-100 m³/detik pada kondisi *spring tide* terbesar dalam satu tahun

periode musim kemarau menggunakan program DufLOW versi 2.04 yang dikembangkan IHE Delft Belanda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh tinggi pasang air laut yang cukup dominan ke arah hulu sungai. Penggunaan persamaan pendekatan dari *estuarian number* (E) yang direkomendasikan Canter Cramers maka estuari Kali Porong diklasifikasikan bertipe *stratified estuary*.

Penelitian ini masih perlu dilanjutkan dalam rangka untuk mengembangkan model pola hubungan antara desain model fisik di laboratorium, nilai parameter pencampuran (M) dan klasifikasi tipe estuari dari fenomena intrusi air laut akibat tinggi pasang air laut yang berlawanan dengan debit sungai dari hulu di estuari periode musim kemarau untuk tipe estuari *well mixed* atau *partially well mixed*. Hal ini perlu diteliti karena kondisi di lapangan tidak semua bertipe *stratified estuary*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terima kasih kepada **Ir. H. Nizam, MSc. PhD**, pengajar Teknik Sipil UGM, yang telah memberikan sumbangan pemikiran tentang perilaku intrusi air laut di estuari, serta kepada **Ketua dan Segenap Teknisi** Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Jurusan Teknik Sipil, ITS atas fasilitas dan pengoperasian alat bantu percobaan di Laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, (1998). **Environmental Hydraulic Aspects in Lamong River and Fish Ponds**, Ph.D Dissertation Toyo University, Japan.

Harto, S. (1999). **Hidrologi Teori, Aplikasi dan Penyelesaiannya** Nafiri Offset, Jogyakarta.

Jang, J.SR, C. T. Sun dan E. Mizutani. (1997). **Neuro Fuzzy and Soft Computing**. Prentice Hall, London.

Junaidi, (1999). **Model Numeris Intrusi Air Asin**

di Estuari Akibat Gelombang Pasang Surut, Tesis Master, UGM, Yogyakarta.

Legowo, (1998). **Pengkajian Pendangkalan Muara Sungai Di Pantai Utara Pulau Jawa Barat dan Rekayasa Pemecahannya**, Laporan Akhir RUT III/3 Lembaga Penelitian ITB, Bandung.

Nurrohmad, F. (2005). **Analisis Kalibrasi Bangunan Ukur Debit Cipoletti**. Jurnal Media Teknik. No. 3 Tahun XXVII Edisi Agustus 2005. No ISSN 0216-3012. UGM, Yogyakarta.

Ogihara, Tanaka, Fukui, Anwar, Hara, Anggrahini. (1998). **Similitude of The Phenomenon in Salt Pond Beetwen in The Model Test and in The Field**, 11 th Conggres of The IAHR-APD September 8-10, Yogyakarta.

Priowowo, W. (2000). **Studi Mengenai Sedimentasi Muara Kali Porong**, Tesis Master, ITS, Surabaya.

Saikhu, A. (2000). **Perbandingan Metode Neural Networks dan Metode ARIMA untuk Peramalan Data Time Series**. Tesis Master. FTI, ITS, Surabaya.

Suprayogi, Anwar, Edijatno, Irawan. (2006). **Model Peramalan Intrusi Air laut Periode Musim Kemarau di Estuari Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System**. Jurnal Purifikasi. Volume 7 Nomor 1 Halaman 55-60 Edisi Juni 2006. ITS, Surabaya.

Suripin, (2005). **Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air**. Andi Offset, Jogyakarta.

Triatmodjo, (1999). **Teknik Pantai**, Beta Offset, Yogyakarta.

Van Os dan Abraham. (1990). **Density Current and Salt Intrusion**, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, The Netherlands.