

PERUBAHAN SALINITAS DI ESTUARI MENGGUNAKAN PROGRAM BANTU DUFLOW

Minarni Nur Trilita¹, Imam Suprayogi²

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran “ Surabaya

²Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik - Universtas Riau
bagus_valdesbarca@yahoo.com

ABSTRAK

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mendiskripsikan sejauh mana daerah yang dipengaruhi oleh air laut balik karena pengaruh air laut pasang maupun karena debit hulu sungai Kali Lamong, Gresik saat periode musim kemarau, maka terjadi fenomena perubahan nilai salinitas sebagai fungsi jarak dan waktu menggunakan pendekatan model matematika satu dimensi program bantu Duflow. Dengan terpantaunya nilai salinitas manfaat hasil penelitian berguna untuk tata kelola tambak masyarakat mengurangi resiko gagal panen. Hasil utama dari penelitian dengan menggunakan hasil pengukuran data primer di muara kali Lamong, Gresik bahwa tipe pencampuran akibat pengaruh rambatan fluktuasi pasang air laut dengan debit dari hulu di Kali Lamong, Gresik untuk periode musim kemarau di klasifikasikan tercampur sempurna atau *well mixed* hal ini ditandai dengan nilai $\alpha < 0.1$ dan nilai $E > 0.20$. Dan sirkulasi di muara Kali Lamong tingkat keasinan air mempunyai karakteristik cenderung menuju kondisi agak payau saat menuju hulu Kali Lamong.

Kata kunci : intrusi air laut, estuari, salinitas, model matematika program Duflow

PENDAHULUAN

Menurut Triatmodjo(1999), estuari dapat diartikan bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.. Aliran air laut ke estuari disertai dengan proses transpor massa garam. Proses masuknya air asin ke estuari dikenal dengan istilah intrusi air laut (*salt intrusion*). Masih menurut Triatmodjo dalam Junaidi (1999) semakin besar tinggi pasang surut air laut dan semakin kecil debit sungai, hal ini akan mengakibatkan semakin jauh pula intrusi air laut dan sebaliknya.

Dalam keadaan tertentu air tawar yang berasal dari hulu tidak langsung bercampur dengan air asin dari laut hal ini disebabkan perbedaan berat jenis kedua macam fluida. Air asin yang mempunyai berat jenis lebih besar cenderung akan berada di lapisan di bawah air tawar. Kondisi ini menimbulkan apa yang disebut sudut asin (*salt wedge*)

yang bergerak ke arah hulu. Posisi yang berubah-ubah tergantung pengaruh pasang surut air laut dan debit sungai dari hulu (Legowo,1998).

Identifikasi Masalah

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

Permasalahan utama yang dihadapi pada saat musim kemarau di Muara Kali Lamong, Gresik adalah pengaruh debit dari hulu Kali Lamong sangat kecil sehingga air tawar yang terbebas dari intrusi air laut didapatkan jauh di atas Desa Moro (kurang

lebih 18 km dari mulut muara). Dampak langsung proses fenomena intrusi air laut adalah perubahan nilai salinitas sebagai perubahan fungsi jarak r untuk pemanfaatan tata kelola sumber air di Kali Lamong.

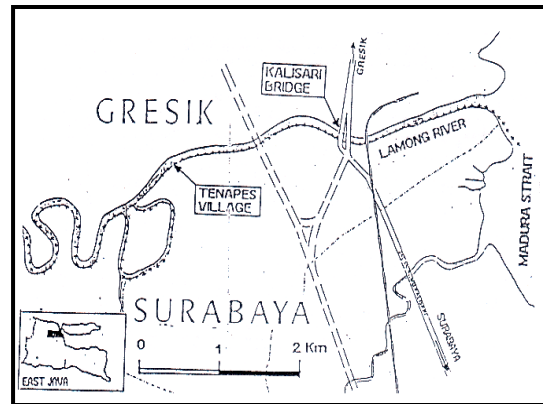
Pada model matematika, peniruan fenomena fisis pada obyek atau prototip ke dalam model dilakukan dengan penjabaran fenomena fisis tersebut ke dalam persamaan matematis. Persamaan matematis ini selanjutnya diselesaikan untuk memperoleh informasi hasil pemodelan (Legowo, 1998). Kelebihan yang menonjol model matematis dengan semakin pesatnya kemajuan teknologi di bidang komputasi maka model numeris dirasakan tepat untuk membuat model intrusi air asin, hal ini selain lebih cepat, memiliki sifat luwes karena program komputer (*software*) yang dibuat dapat dipergunakan untuk beberapa estuari yang berbeda, hanya dengan merubah data masukan dan kondisi batas (Triatmodjo, 1999).

Hipotesa penelitian berdasarkan kelebihan dari model matematika di atas, maka dalam studi ini akan disimulasikan menggunakan program bantu Duflow yang dikembangkan IIHE Delft Belanda untuk model satu dimensi aliran *unsteady flow* di muara Kali Lamong, Gresik. Hal ini dipergunakan sebagai alat bantu pemantauan perubahan nilai salinitas di estuari yang diakibatkan oleh pengaruh debit sungai yang berlawanan dengan air laut kondisi pasang tertinggi sebagai dasar pola pemantauan salinitas untuk guna dalam kerangka memberikan informasi pengelolaan tata air Kali Lamong untuk kebutuhan tambak masyarakat

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di muara Kali Lamong, Gresik.



Gambar 1. Lokasi Pengukuran Salinitas Di Muara Kali Lamong, Gresik

Pengolahan Data Dasar Untuk Data Input Menggunakan Program Duflow

Data dasar diolah yang selanjutnya dipakai sebagai data input untuk menjalankan program bantu Duflow versi 2.04, meliputi :

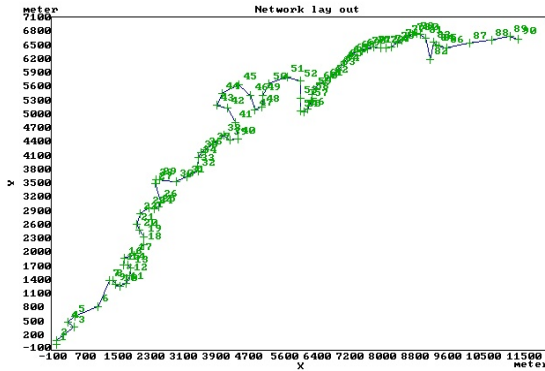
Penentuan Definisi Perhitungan

Penentuan saat dimulai dan di akhirnya perhitungan, serta interval waktu perhitungan **Penentuan Ruas-Ruas Sungai** Alur sungai sepanjang sungai dibagi menjadi ruas – ruas yang selanjutnya dalam program Duflow dinamakan *sections*. Lihat skema pada Gambar 2. Ada 89 *sections* masing – masing *section* berjarak 200 meter. Setiap ruas dibatasi oleh titik di hulu dan hilirnya dinamakan *nodes*, yang jumlahnya adalah 90 *nodes*.

Penentuan Data Nodes dan Sections

Data *nodes* dan *sections* dimasukkan dalam data input Program Duflow dalam file dengan extension *net.nod*. Data *nodes* meliputi koordinat (X,Y) tiap *node* terhadap koordinat (0,0) yang dalam penelitian di ambil di hulu Kali Lamong tepatnya di Jembatan Boboh yaitu node 1. Dalam hal ini data *catchment area*, *run off coefficient* diabaikan.

Data section terdiri dari panjang (*length*), arah (*direction clockwise from north*), elevasi dasar saluran (*bottom level*), koefisien kekasaran (*resistance coefficient*) dan angka konversi angin (*wind conversion*). Data penampang melintang (*cross section*) terdiri dari lebar aliran (*flow width*) lebar tampungan (*storage width*) untuk beberapa kedalaman air.



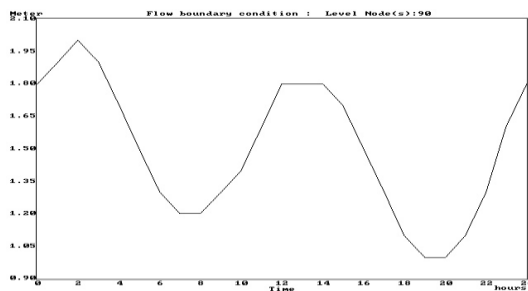
Gambar 2. Skematisasi Penampang Sungai Kali Lamong, Gresik

Penentuan Kondisi Awal

Data ini merupakan data bantu agar perhitungan dapat dilakukan. *Initial level* dan *initial discharge* dapat diisi harga sembarang untuk semua titik.

Kondisi Batas Hilir

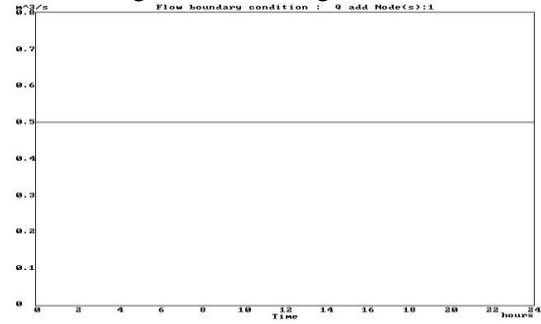
Batas hilir berupa data perubahan elevasi muka air pada mulut muara kali Lamong, Gresik yang mengacu pada hasil data peramalan pasang surut di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya oleh Dinas Hidrooseanografi Angkatan Laut Republik Indonesia (ALRI)



Gambar 3. Fluktuasi Pasang Surut sebagai Fungsi Waktu selama 24 Jam

Kondisi Batas Hulu

Batas hulu model adalah debit tetap sebesar $0.5 \text{ m}^3 / \text{dt}$ dari hulu Kali Lamong. Data debit diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan alt current meter di Jembatan Boboh (20.70 km dari mulut muara sungai Kali Lamong, Gresik).



Gambar 4. Debit Hulu Kali Lamong sebagai Fungsi Waktu selama 24 jam Pengamatan

Tipe Aliran Stratifikasi Di Kali Lamong, Gresik Antara Air Asin dan Air Tawar

Proses pencampuran antara air asin hasil intrusi air laut dan air tawar dari hulu sungai terjadi variasi distribusi kecepatan aliran pada arah vertikal atau horisontal. Dengan tipe distribusi kecepatan tersebut estuari dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel. 1. Hubungan Tipe Stratifikasi, Volume Ratio Estuary Number (α) dan Estuary Number (E)

No	Tipe Stratifikasi	α	E
1	Highly Stratified	$\alpha > 1$	$E < 0.005$
2	Partially Mixed	$0.1 < \alpha < 1$	$0.005 < E < 0.2$
3	Well Mixed	$\alpha < 0.1$	$E > 0.2$

Sumber : Delft University Press (1987)

Kalibrasi Model

Kalibrasi model adalah salah satu cara mengkaji model apakah dengan parameter-parameter yang dipakai model dapat diterapkan pada kondisi lapangan atau kondisi rencana.

Hasil pengukuran muka air pasang surut di Jembatan Romokalisari (2 km dari mulut muara Kali Lamong) dipakai sebagai data (*measurement data*) yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Meskipun terdapat data pengukuran kecepatan arus, namun data tersebut tidak dipakai dalam penelitian ini, karena kemungkinan ketidakteklichannya besar, dengan alasan perubahan aliran pasang surut tidak bisa diimbangi dengan kecepatan pengukuran arus pada waktu yang berurutan.



Sumber : Hasil Dokumentasi Penelitian di Muara Kali Lamong, Gresik

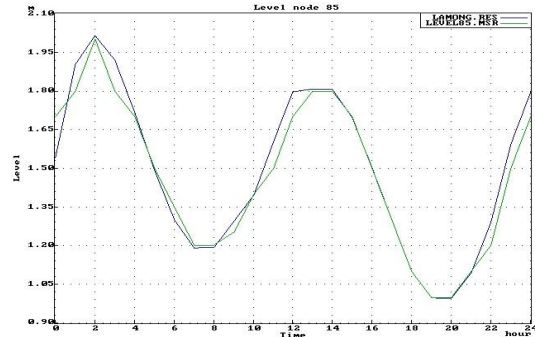
Gambar 5. Lokasi Pengambilan Data Pasang Surut di Jembatan Romokalisari

Mean Square Errors (MSE) yang mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran model terhadap nilai pengukuran / target. Nilai *Mean Square Errors (MSE)* yang kecil menunjukkan bahwa rata-rata nilai peramalan yang dihasilkan sangat dekat dengan nilai sebenarnya

$$MSE = \frac{\sum_{t=p+1}^N (X_t - \hat{X}_t)^2}{N} \dots\dots\dots(1)$$

dimana X_t adalah data *time series* pengukuran tinggi pasang surut dalam jam-jaman di Jembatan Romokalisari selama 24

jam dan \hat{X}_t adalah nilai data *time series* keluaran elevasi muka air dari model Duflow versi 2.04 selama 24 jam, untuk harga dari $t = 1,2,3,4,\dots\dots\dots,24$



Gambar 6. Hasil Kalibrasi Elevasi Muka Air Pasang Surut Hasil Model dengan Hasil Pengamatan di Jembatan Romokalisari

Perhitungan Nilai Mean Square Error (MSE) Untuk Unjuk Kerja Kalibrasi

$$MSE = \frac{\sum_{t=p+1}^N (X_t - \hat{X}_t)^2}{N} = \frac{0.085^2}{24} = 0.00030$$

Nilai *Mean Square Error (MSE)* ≈ 0 artinya model bisa menirukan perilaku mendekati pengukuran di muara Kali Lamong, Gresik. Dari hasil *running* Program Duflow versi 2.04 untuk persamaan gerak air di Muara Kali Lamong akan di dapat hasil sebagai berikut :

- Highest Water Surface : 2.014 m
- Lowest Water Surface : 0.999 m
- H (HWS dikurangi LWS) : 1.015 m
- Kecepatan terbesar (v) : -0.08555 m/dt
- Debit (Q) : -122.80 m³/dt
- Durasi siklus pasang surut (T) : 24 jam

Perhitungan Volume Ratio Estuary Number

$$\alpha = \frac{QT}{V} = \frac{122.8.24}{-10.609.920} = 0.000278 <$$

0.1

Kedalaman rata-rata di mulut Muara Kali Lamong (h) : 1.70 m

$$\text{Angka Froude (Fr)} = \frac{v}{\sqrt{gh}} = \frac{-0.08555}{(9.8 \times 1.70)^{0.5}}$$

Angka Froude (Fr) = - 0.02082

Perhitungan Estuary Number (E)

$$E = \frac{V}{QT} Fr^2 = \frac{10.609.920}{122.8 \times 24} \cdot (-0.02082)^2$$

E = 1.55 > 0.20

Berdasarkan perhitungan diatas, maka batasan klasifikasi jenis stratifikasi aliran di estuari Kali Lamong kategori arah tercampur sempurna atau *well mixed* yang ditandai dengan nilai $\alpha < 0.1$ dan nilai $E > 0.20$ (Lihat Tabel .1)

Untuk mengukur salinitas air sungai Bambang Soenarto dalam Anwar (1998) mengklasifikasikan tingkat keasinan seperti disajikan dalam Tabel.2 dibawah ini :

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Keasinan Air

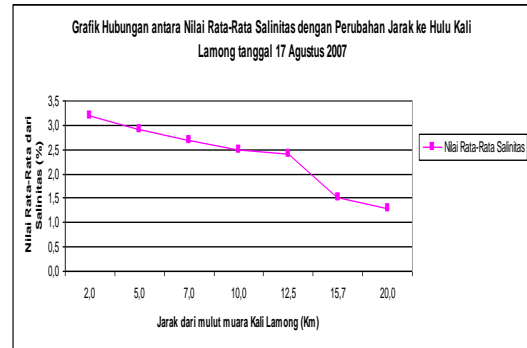
No	Klasifikasi Dari Air	Tahanan dari Alat Conductivity Meter (volt)	Kandungan garam (% Na Cl)
1	Air Tawar	< 0.50	< 0.30
2	Air Agak Payau	0.50 – 1.50	0.30 – 1.00
3	Air Payau	1.50 – 5.00	1.00 – 3.00
4	Air Asin	5.00 – 17.50	3.00 – 10.50
5	Brine	> 17.50	> 10.50

Sumber : Anwar (1998)

Tabel 3. Klasifikasi Dari Tingkat Keasinan Hasil Pengukuran Salinitas Rata – Rata Di Muara Kali Lamong, Gresik Pada Tanggal 17 Agustus 2007

No	Lokasi Pengamatan	Jam Pengukuran	Nilai Rata - rata Salinitas (%)	Klasifikasi Dari Tingkat Keasinan Air
1	Jembatan Romo	09.00	3.20	Air Asin
2	Desa Pojok	09.20	2.90	Air Payau
3	Desa Tinapes	09.40	2.70	Air Payau
4	Dam Karet	10.10	2.50	Air Payau
5	Jembatan Pandu	10.41	2.40	Air Payau
6	Jembatan Rel KA	11.00	1.50	Air Payau
7	Jembatan Boboh	12.30	1.30	Air Payau

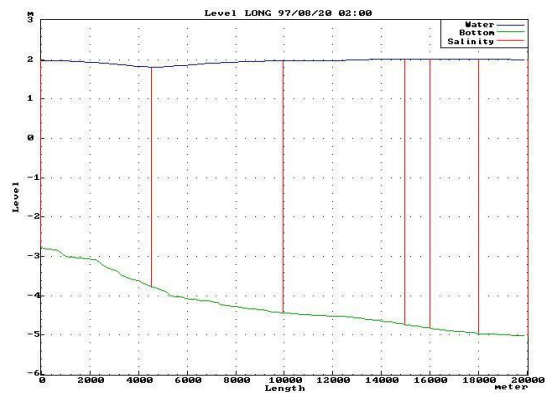
Sumber: Hasil Pengukuran di Muara Kali Lamong, Gresik



Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Nilai Rata-Rata Pengukuran Salinitas Terhadap Perubahan Jarak Ke Arah Hulu Kali Lamong Pada Tanggal 17 Agustus 2007

Hasil Running Menggunakan Program Bantu Duflow Kondisi Air Laut Pasang Tertinggi Untuk Persamaan Gerak Air dan Penggabungan Nilai Salinitas di Lapangan Periode Musim Kemarau.

Langkah selanjutnya menjalankan Program Duflow versi 2.04 untuk kondisi *dry spring*. Adapun *output* yang diperoleh adalah elevasi muka air, kecepatan dan debit untuk setiap section 90 (*mulut muara Kali Lamong*) sampai section 1 (*Jembatan Boboh*). Di dukung hasil pengamatan dengan menggunakan Program bantu Duflow versi 2.04 yang dikembangkan IHE Delft Belanda maka tipe stratifikasi pencampuran antara air asin dari laut dan air tawar dari hulu Kali Lamong, Gresik diklasifikasikan tipe campuran sempurna atau *well mixed*. Berikut disajikan diskripsi pada kondisi pola aliran air laut tertinggi menuju ke hulu Kali Lamong dengan hasil pengukuran salinitas seperti Gambar 8. dibawah ini :



Sumber: Hasil Running Program Duflow Versi 2.04

Gambar.8. Diskripsi Pola Aliran Pasang Air Laut Tertinggi Ke Arah Hulu Kali Lamong dan Nilai Salinitas Pada tanggal 17 Agustus 2007

KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan diatas maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tipe pencampuran antara air tawar dan air asin di Muara Kali Lamong adalah tercampur sempurna atau *well mixed*
2. Berdasarkan hasil pengukuran salinitas periode musim kemarau dari tanggal 17 sampai 20 Agustus 2007 di 7 lokasi titik pengamatan dari Jembatan Romokalisari (± 2 km dari mulut muara) sampai ke Jembatan Boboh (± 20 km dari mulut muara) klasifikasi tingkat keasinan air (salinitas) mempunyai kecenderungan bergerak dari kondisi air asin (*salty*) ke kondisi air payau (*brackish*).

SARAN

Syarat penggunaan model matematika satu dimensi untuk aliran tidak tetap (*unsteady flow*) dari Program Duflow diperuntukkan untuk kasus tipe pencampuran antara air asin dan air tawar adalah tercampur sempurna atau *well mixed*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menghaturkan terima kasih kepada: **Prof.Ir.H.Nizam,MSc.PhD** staf pengajar Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta atas kesediaan waktu untuk memberikan sumbang saran pemikiran khususnya kajian fenomena perilaku sistem intrusi air laut di estuari.

Ketua dan Segenap Teknisi Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas segala fasilitas, tempat dan pengoperasian alat bantu guna menunjang keberhasilan penelitian di Muara Kali Lamong.

DAFTAR ACUAN

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

Junaidi, (1999). *Model Numeris Intrusi Air Asin di Estuari Akibat Gelombang Pasang Surut* , Tesis Master, Universitas Gadjah Mada, Jogyakarta.

- Legowo, (1998). *Pengkajian Pendangkalan Muara Sungai Di Pantai Utara Pulau Jawa Barat dan Rekayasa Pemecahannya*, Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu (RUT III/3) Lembaga Penelitian Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Pribowo,W.(2000). *Studi Mengenai Sedimentasi Muara Kali Porong*,Tesis Master, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Suripin, (2005). *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air* , Andi Offset, Yogyakarta.
- Sri Harto, (1999). *Hidrologi Teori, Aplikasi dan Penyelesaiannya* Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, (1999). *Teknik Pantai* , Beta Offset, Yogyakarta.

