

Bidang Ilmu : Rekayasa

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN FUNDAMENTAL**



**PENGEMBANGAN MODEL PERAMALAN INTRUSI AIR  
LAUT DI ESTUARI MENGGUNAKAN PENDEKATAN  
SOFTCOMPUTING**

**Oleh**

Dr. Imam Suprayogi, ST, MT (Ketua Peneliti)

Dr. Ir. Ferry Fatnanta, MT (Anggota Peneliti)

Bochari, ST, MT (Anggota Peneliti)

**UNIVERSITAS RIAU**

**DESEMBER 2011**  
**HALAMAN PENGESAHAN**

**1. Judul Penelitian** : Pengembangan Model Pengembangan Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing

**2. Ketua Peneliti**

- a. Nama Lengkap : Dr. Imam Suprayogi, ST, MT
- b. Jenis Kelamin : Laki - laki
- c. NIP : 19680503 199702 1 002
- d. Jabatan Struktural : -
- e. Jabatan fungsional : Lektor
- f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Sipil
- g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Riau
- h. Alamat : Kampus Bina Widya Simpang Baru,  
Panam, Pekanbaru
- i. Telpon/Faks : (0761) 66595 / (0761) 66595
- j. Alamat Rumah : Jl Suka Karya RT 02 RW 01  
Kelurahan Tuah Karya, Panam
- k. Telpon/Faks/E-mail : 081332 606360 / [drisuprayogi@yahoo.com](mailto:drisuprayogi@yahoo.com)

**3. Jangka Waktu Penelitian** : 8 Bulan

**4. Pembiayaan** : Rp 15.000.000

Pekanbaru, 31 Desember 2011

Mengetahui,  
Dekan  
Fakultas Teknik

Ketua Peneliti,

**Dr. Syaiful Bahri, M Si**  
**NIP 19600103 198603 1 003**

**Dr. Imam Suprayogi, ST, MT**  
**NIP 19680503 199702 1002**

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian

**Prof. Dr. Ir. H. Usman M.Tang, M Sc**  
**NIP 19640501 198903 1 001**

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT kami telah menyelesaikan Laporan Penelitian Fundamental yang berjudul “**Pengembangan Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari**”. Dengan terselesaikannya laporan ini, peneliti menghaturkan terima kasih kepada:

1. DP2M Dikti melalui Lembaga Penelitian (LP) Universitas Riau yang telah mendanai penelitian lewat Program Penelitian Fundamental.
2. Ketua dan Segenap Teknisi Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya yang telah berpartisipasi memfasilitasi alat penelitian serta membantu proses pengukuran pasang surut di Muara Kali Lamong, Gresik Jawa Timur.

Tidak ada gading yang tak retak, dalam penyusunan laporan akhir Penelitian Fundamental masih banyak salah dan khilaf. Untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, mengucapkan terima kasih kepada segenap tim evaluator dan semoga laporan ini bermanfaat bagi kita semua.

Pekanbaru, 31 Desember 2011

Hormat Kami

Penyusun

## DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                                   |     |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                              |     |
| <b>ABSTRAK</b>   |     |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                            | i   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                | ii  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                             | iii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                              |     |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                           |     |
| <br>   |     |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....                         | 1   |
| 1.1. Latar Belakang Penelitian.....                    | 1   |
| 1.2. Tujuan Khusus Penelitian.....                     | 3   |
| 1.3. Urgensi Penelitian .....                          | 3   |
| <br>   |     |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> ..... | 6   |
| 2.1. Tinjauan Pustaka.....                             | 6   |
| 2.2. Landasan Teori.....                               | 10  |
| 2.2.1. Pasang Surut.....                               | 10  |
| 2.2.2. Gaya Pembangkitan Pasang Surut.....             | 10  |
| 2.2.3. Jenis Pasang Surut.....                         | 11  |
| 2.2.4. Karakteristik Pasang Surut.....                 | 13  |
| 3.3. Estuari.....                                      | 14  |
| 3.3.1. Prisma Pasang Surut.....                        | 15  |
| 3.3.2. Angka Estuari.....                              | 18  |
| 3.3.3. Tipe Estuari.....                               | 19  |
| 3.3.4. Percampuran ( <i>Mixing</i> ) di Estuari.....   | 22  |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>  | <b>24</b> |
| 3.1 Dasar Pemilihan Model <i>Softcomputing</i> .....   | 24        |
| 3.2 Konfigurasi Model <i>Softcomputing</i> Menggunakan Struktur ANFIS<br>Untuk Peramalan Lidah Air Asin Di Estuari .....                             | 25        |
| 3.3. Lokasi Penelitian.....  | 26        |
| 3.4. Pengumpulan Data.....   | 26        |
| 3.4.1. Kebutuhan Data Pada Tahap Pengembangan Model.....   | 26        |
| 3.5. Alat-Alat Penelitian.....   | 27        |
| 3.6. Data Pasang Surut.....  | 27        |
| 3.6.1. Lokasi Dan Waktu Pengukuran Data Pasang Surut.....  | 27        |
| 3.6.2. Tata Cara Pengukuran Pasang Surut Di Kali Lomog.....  | 28        |
| 3.7. Data Salinitas.....   | 28        |
| 3.7.1. Lokasi Dan Waktu Pengukuran Data Salinias.....  | 28        |
| 3.7.2. Tata Cara Penetapan Perjalanan Panjang Lidah Air Asin. .  | 29        |
| 3.8. Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Manggunakan<br>Pendekatan Sistem Neuro Fuzzy Algoritma ANFIS.....                                   | 32        |
| 4.8.1. Tahap Pembelajaran Data.....  | 32        |
| 3.8.2. Tahap Pengujian Data.....   | 34        |
| 3.8.3. Tahap Pengujian Ketetapan Hasil Model Peramalan<br>Panjang Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Sistem<br>Neuro Fuzzy Algoritma ANFIS..... | 34        |
| <br><b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>   |           |
| 4.1. Tipe Pasang Surut Di Muara Kali Lamog .....   | 37        |
| 4.1.1. Tipe Pasang Surut Di Muara Kali Lamog Berdasarkan<br>Data Sekunder Hasil Pengukuran Dinas Hidrooseanografi<br>TNI-AL.....                     | 37        |
| 4.1.2. Tipe Pasang Surut Berdasarkan Data Hasil Pengukuran di<br>Muara Kali Lamong.....  | 38        |

|  |    |
|--|----|
| 4.2. Penetapan Panjang Intrusi Air Laut Di Kali Lamong.....  | 42 |
| 4.2.1. Tata Cara Penetapan Panjang Intrusi Air Laut Di Kali<br>Lamong.....   | 42 |
| 4.2.2. Lokasi Pengukuran Debit Hulu Kali Lamong.....   | 46 |
| 4.3. Desain Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan<br>Sistem Neuro Fuzzy Algoritma ANFIS.....   | 51 |
| 4.3.1. Tata Cara Penggunaan Bantu Toolbox Matlab 7.0.....  | 53 |
| 4.3.2. Pengembangan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut<br>Di Muara Kali Lamong Berdasarkan Hasil Pengukuran<br>Tangaal 1 Sampai 16 Juni 2008 Menggunakan Program<br>Bantu Toolbox Matlab 7.0 ..... | 54 |
| 4.3.3. Proses Pramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali<br>Lamong Menggunakan Pendekatan Sistem Neuro Fuzzy<br>Algoritma ANFIS.....  | 59 |
| 5.4. Penggunaan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara<br>Kali Lamong Menggunakan Program Bantu Toolbox Matlab 7.0  | 68 |

## **BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |    |
|----------------------|----|
| 6.1. Kesimpulan..... | 69 |
| 6.2. Saran .....     | 69 |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Penelitian**

Air merupakan sumberdaya alam karunia Allah SWT, yang sangat diperlukan oleh manusia sepanjang masa dan menjadi bagian hidup dari kebutuhan dasar manusia yang sangat penting. Semua kegiatan kehidupan manusia dari kebutuhan pangan hingga pertumbuhan industri memerlukan air dengan jumlah yang cukup dan dengan kualitas sesuai dengan kebutuhannya. Dengan demikian air tidak hanya diperlukan sebagai bahan kebutuhan pokok untuk kehidupan tetapi juga diperlukan sebagai komoditi ekonomi (Isnugroho, 2002).

Masih menurut Isnugroho (2002), berdasarkan daur hidrologi, volume air di dunia berjumlah relatif konstan. Namun demikian, dalam satuan ruang dan waktu, ketersediaan air dapat tidak sesuai dengan kebutuhan kita. Sering kali manusia mengalami kelebihan air di musim penghujan, namun mengalami kekurangan air di musim kemarau. Untuk menghindari hal tersebut, diperlukan sistem pengelolaan sumberdaya air terutama dalam hal perlindungan dan pelestarian sumber air. Upaya pengelolaan dan pelestarian sumberdaya air harus dilakukan sebaik-baiknya guna menjamin tersedianya sumberdaya air bagi kebutuhan berbagai sektor termasuk kebutuhan masyarakat sesuai dengan amanat pasal 33 Undang-Undang Dasar 1945.

Salah satu komponen penting pengelolaan sumberdaya air adalah wilayah estuari. Menurut Triatmodjo (1999) muara sungai dapat diartikan sebagai estuari, yaitu bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut. Pasang surut adalah gerakan yang bersifat periodik dan menimbulkan debit aliran yang besar, sehingga gerakan air di estuari juga berubah-ubah secara periodik mengikuti irama pasang surut. Arus pasang surut mempengaruhi pergeseran salinitas dan kekeruhan (sedimen suspensi) di sepanjang estuari, yang bergerak ke hulu pada waktu air pasang dan ke hilir pada waktu surut.

Aliran air laut ke estuari disertai dengan transpor massa garam. Proses masuknya air laut ke estuari dikenal dengan intrusi air laut. Jarak intrusi air laut sangat tergantung pada karakteristik estuari, pasang surut, dan debit sungai. Semakin besar tinggi pasang surut dan semakin kecil debit sungai semakin jauh intrusi air laut atau sebaliknya. Transpor garam di estuari terjadi secara *konveksi* dan *difusi*. Secara *konveksi* artinya garam terbawa (terangkut) bersama dengan aliran air (karena terpengaruh kecepatan aliran). 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 (*konveksi* dan *difusi*) disebut dengan *dispersi* (Triatmodjo, 1999).

Penjalaran gelombang pasang surut dari laut menuju estuari berlawanan arah dengan debit sungai yang mengalir menuju laut. Karena adanya perbedaan rapat massa antara air laut dan air tawar, maka akan terjadi pencampuran di antara keduanya. Tingkat pencampuran tergantung pada geometri estuari, pasang surut, debit sungai, perbedaan rapat massa antara air tawar dan air laut, angin dan efek Coriolis. Menurut Thatcher (1972); Rijn (1990) berdasarkan struktur salinitasnya estuari diklasifikasikan menjadi tiga tipe estuari, yaitu tak tercampur (*highly stratified*), tercampur sebagian (*partially mixed*) dan tercampur sempurna (*well mixed*).

Masih menurut Isnugroho (1988) problematika tentang kesulitan sumber air tawar seperti tersebut di atas terjadi hampir di semua daerah estuari, terlebih lagi terjadi di hampir semua kota-kota besar di Indonesia secara geografis terletak di pantai seperti kota-kota Jakarta, Surabaya dan Semarang, yang dalam hal ini pemenuhan kebutuhan air tawar masih mengandalkan air baku yang berasal dari sungai. Tantangan dan kendala yang harus dihadapi oleh ahli persungai dalam pengelolaan sungai di daerah pantai karena adanya intrusi air laut adalah penentuan titik pengambilan air bersih yang harus bebas dari pengaruh kadar garam.

## 1.2. Tujuan Khusus Penelitian

Dari latar belakang penelitian permasalahan tersebut di atas, maka tujuan khusus dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan parameter penting ketepatan hasil peramalan panjang intrusi air laut di estuari periode musim kemarau akibat pengaruh rambatan air laut pasang maksimum harian yang berlawanan dengan debit hulu yang bersifat stokastik dari sungai menggunakan pendekatan *softcomputing*.
2. Menguji ketepatan jangkauan hasil peramalan dan konfigurasi model panjang intrusi air laut di estuari periode musim kemarau akibat pengaruh rambatan air laut pasang maksimum harian yang berlawanan dengan debit hulu yang berfluktuatif dari sungai menggunakan pendekatan *softcomputing*.

## 1.3. Urgensi Penelitian

Pengelolaan sumberdaya air atau pengelolaan sumber - sumber air tidak akan lepas dari permasalahannya. Dikatakan oleh Suryadi (1986), pada pengelolaan sumber-sumber air ini dijumpai sejumlah besar kriteria - kriteria berhubungan dengan kualitas dimana masing-masing kriteria berhubungan satu sama lain dan bersifat kompleks. Dengan adanya kriteria - kriteria yang kompleks inilah menjadi salah satu penyebab utama yang mendorong berkembangnya penggunaan model.

Kejadian - kejadian di alam sangat berbeda dengan kejadian - kejadian di laboratorium, keduanya ibarat sungai dan lautan dengan sebuah akuarium. Banyak kejadian alam yang belum bisa dipahami, sehingga sifat datanya pun akan tampak tidak mempunyai bentuk dan aturan yang selalu sama dari waktu ke waktu maupun dari satu tempat ke tempat yang lain. Di balik itu semua, sistem tersebut ternyata memberikan peluang dan tantangan pada ilmuwan untuk dapat mengejawentahkan ke dalam sebuah model (Iriawan, 2005).

Banyak fenomena keteknikan (*engineering*) dan alam yang sulit dan rumit, yang perlu didekati (diprediksi) dengan model fisik dan/atau model matematik. Sehingga dalam kesehariannya para ilmuwan akan selalu bergelut dengan pemodelan (*modeling*). Dalam pemodelan, tentu mengandung ketidaksamaan atau kesalahan. Kesalahan tersebut mungkin dikarenakan skemanya, asumsi-asumsi, ataupun karena faktor manusianya (Pratikto, 1999). Kesalahan merupakan bentuk ketidakberdayaan ilmuwan atas ketidakmampuannya dalam menerangkan seluruh fakta yang diperoleh merangkai dalam sebuah model. Tugas utama ilmuwan adalah bagaimana menerangkan suatu fakta/fenomena suatu model sedemikian hingga akan mempunyai kesalahan sekecil-kecilnya (Iriawan, 2005).

Estuari merupakan suatu tatanan yang unik dan kompleks dimana berbagai macam faktor ikut terlibat dalam proses fisik di dalamnya. Proses fisik ini dimaksudkan sebagai aliran air dengan melibatkan kondisi - kondisi batas dari faktor - faktor yang berpengaruh, serta fenomena-fenomena yang merupakan akibat yang ditimbulkannya (Legowo, 1996). Masih menurut Legowo (1998) faktor - faktor yang berpengaruh tersebut antara lain tunggang pasang surut, pencampuran air tawar dari hulu sungai dan air garam dari laut, debit sungai, gelombang, angin dan lainnya. Faktor - faktor pengaruh di atas menimbulkan adanya interaksi yang rumit antara proses fisik, kimia dan biologi. Kondisi ini semakin bertambah kompleks dengan adanya kenyataan bahwa di sekitar estuari terdapat hunian penduduk yang padat sehingga kadar pencemaran air cukup tinggi.

Dalam hal studi mengenai peramalan aliran air di estuari, para ilmuwan telah banyak melakukan penelitian dan membuat model tentang intrusi air laut akibat pengaruh pasang surut di estuari. Model yang dikembangkan untuk kebutuhan peramalan aliran air di estuari menggunakan pendekatan model fisik dan model matematik.

Menurut Legowo (1998), pada model fisik, peniruan geometri dan fenomena fisik obyek yang akan dimodelkan dilakukan dengan cara membuat miniatur atau pengecilan ukuran menggunakan skala tertentu bagi fenomena yang akan diamati atau berpengaruh dominan pada proses yang diamati. Hasil

pengamatan dan pengukuran pada model ini kemudian diterjemahkan untuk memperoleh gambaran mengenai besaran-besaran yang sesungguhnya terjadi atau akan terjadi pada prototip. Masih menurut Legowo (1998), dalam model uji hidrolis, keunggulan model fisik dapat memberikan informasi lebih rinci pada titik-titik pusat perhatian pada pandangan tiga dimensi, disamping itu model fisik dapat mempresentasikan fenomena-fenomena yang belum pasti diketahui perumusannya.

Pada penelitian model fisik khusus untuk kasus intrusi air laut, model fisik sangat mahal karena dimensi estuari yang dimodelkan besar, sehingga dibutuhkan model dan ruang laboratorium yang sangat besar pula. Selain itu model fisik tidak luwes pemakaiannya karena setiap model yang dibuat hanya berlaku untuk estuari yang bersangkutan. Disamping hal tersebut untuk membuat model pasang surut, model intrusi air asin, angin, terutama gaya Coriolis adalah sangat sulit (Triatmodjo, 1999).

Pada model matematik, 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 matematik dengan semakin pesatnya kemajuan teknologi di bidang komputasi maka model numerik dirasakan lebih tepat untuk digunakan pada model intrusi air laut, 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).

Model matematik mempunyai tingkat kesesuaian yang tinggi apabila perilaku data runtun waktu tidak terlalu kompleks dan kondisi awal (asumsi-asumsi) terpenuhi dengan baik, dengan mempertimbangkan estuari merupakan tata air yang unik dan kompleks (faktor-faktor yang berpengaruh menimbulkan interaksi yang rumit). Untuk sistem kompleks, menyertakan ketidakpastian yang cukup besar, persamaan matematis memberikan diskripsi yang kurang tepat dari perilaku sistem, karena kekuranglengkapan perilaku data dan keterbatasan kemampuan manusia untuk bisa memasukkan semua variabel menjadi model

yang bisa mewakili fenomena alam yang lengkap menjadi model matematika (Legowo, 1998).

Berangkat dari argumentasi di atas maka urgensi hasil penelitian yang berjudul Pengembangan Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan ANFIS adalah mengembangkan model guna mengatasi problematika tentang kesulitan sumber air tawar yang terjadi hampir di semua daerah estuari serta membantu menjawab tantangan dan kendala yang harus dihadapi oleh ahli persungai dalam pengelolaan sungai di daerah pantai karena adanya intrusi air laut adalah penentuan titik pengambilan air bersih yang harus bebas dari pengaruh kadar garam.

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1. KAJIAN PUSTAKA

Beberapa ahli telah banyak melakukan penelitian dan membuat model tentang intrusi air laut akibat pengaruh rambatan pasang surut yang berlawanan dengan debit hulu sungai di estuari terhadap perubahan panjang intrusi air laut di estuari.

**Dubrulle (1982) dalam Triatmodjo (1999)** melakukan penelitian di estuari Sungai Loire, Perancis. Tujuan utama menetapkan jenis stratifikasi aliran antara air laut yang berlawanan dengan air tawar terhadap perubahan panjang intrusi air laut ke estuari dengan mempertimbangkan pengaruh dari pasang purnama dan pasang perbani. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis stratifikasi aliran tercampur sebagian (*partially mixed*) serta *debit banjir – pasang purnama* perubahan salinitas terdorong menuju ke hilir *debit kecil – pasang purnama* salinitas terdorong menuju ke hulu *debit banjir – pasang perbani* salinitas terdorong menuju ke hulu panjang intrusi air laut lebih pendek

**Isnugroho (1988)** melakukan penelitian di Muara Sungai Bengawan Solo. Tujuan utama penelitian dilakukan adalah sebagai berikut:

- (a) Memantau intrusi air laut di Sungai Bengawan Solo selama periode musim kemarau (Agustus – Oktober)
- (b) Untuk mengetahui hubungan antara jarak intrusi, debit aliran yang disesuaikan kondisi pasang surut.

Metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- (a) Pengamatan debit sungai dilakukan di pos duga air Babat (Jembatan Kereta Api )selama periode penelitian. Pengamatan dilakukan 3 kali sehari yaitu jam 6 pagi, 12 siang dan jam 6 petang. Pemilihan pos duga air Babat disebabkan karena Babat merupakan pos duga air paling hilir yang tidak terpengaruh pasang surut.

- (b) Pengamatan pada 2 pos duga air yang terletak disebelah hilir dan hulu lokasi penelitian. Pengamatan dilakukan 6 kali sehari yaitu jam 6, 9, 12, 15 18 dan 21.

Hasil pengamatan pos duga air di Babat dapat diubah menjadi debit dengan mengikuti rumus , sebagai berikut:

$$Q \text{ hulu} = 23.0 \cdot (H + 0.20)^{1.45} \text{ untuk } H < 0.8 \text{ m}$$

$$Q_{\text{hulu}} = 23.0 \cdot (H + 1.20)^{2.86} \text{ untuk } H \geq 0.8 \text{ m}$$

Dengan

$Q \text{ hulu}$  = debit hulu sungai dalam  $\text{m}^3/\text{dt}$ .

$H$  = tinggi pembacaan dalam m.

- (c) Melakukan penelitian pengukuran salinitas dengan menggunakan dua perahu yang dilengkapi dengan alat *conductivity meter*. Perahu - perahu tersebut diletakkan tepat di as aliran dan dikaitkan dengan nomor kilometer di tanggul kanan. Pada saat air laut bergerak ke hulu, perahu A diletakkan pada daerah asin, perahu B diletakkan 1 km sebelah hulunya (pada daerah air tawar). Pembacaan salinitas dengan alat *conductivity meter* dilakukan setiap 15 menit pada setiap perahu, dengan alat duga yang diletakkan 1 meter di atas dasar sungai. Pada saat air asin mencapai perahu B, awak perahu B memberitahu perahu A supaya memindahkan lokasi perahu A menuju 1 km sebelah hulu perahu B. Proses ini terus diulang setiap perahu yang satu mendeteksi adanya air asin.
- (d) Demikian juga pada saat air laut bergerak ke hilir diletakkan sebaliknya. Perahu A diletakkan pada daerah asin, perahu B diletakkan 1 km sebelah hulunya (pada daerah air tawar). Pembacaan salinitas dengan alat *conductivity meter* dilakukan setiap 15 menit seperti sebelumnya. Jika perahu A mencatat keadaan air sudah tawar, perahu A memberitahu perahu B untuk menempatkan diri pada 1 km sebelah hilirnya. Gerakan ini terus diulang setiap perahu yang disebelah hilir mencatat keadaan air sudah tawar. Pengamatan ini dilakukan terus menerus dari jam 6 pagi hingga jam 6 petang . Hasil penelitian oleh Isnugroho menunjukkan bahwa stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar di Muara Bengawan

Solo diklasifikasikan tercampur sebagian (*partially mixed*) serta grafik hubungan antara tinggi air laut puncak pasang maksimum yang berlawanan dengan debit hulu sungai terhadap perubahan panjang intrusi air laut yang masuk ke Sungai Bengawan Solo.

**Triatmodjo (1988)** melakukan penelitian di Muara Sungai Bengawan Solo. Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan model matematika satu dimensi (1-D) dengan menambah suku ke -5 pada persamaan momentum guna penetapan panjang intrusi air laut di estuari akibat perubahan debit hulu sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar diklasifikasikan tercampur sebagian (*partially mixed*). Untuk hasil simulasi debit hulu Muara Sungai Bengawan Solo untuk debit 100 m<sup>3</sup>/dt dan debit 1000 m<sup>3</sup>/dt maka panjang intrusi air laut yang terjadi 60 km dan 30 km.

**Wardoyo (1991)** melakukan penelitian di Muara Kali Lamong. Tujuan utama penelitian adalah menetapkan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan model matematika satu dimensi (1-D) *steady state* model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar diklasifikasikan tercampur sempurna atau *well mixed* dan intrusi air laut di Kali Lamong cukup sensitif terhadap pengaruh pengambilan air bersih terutama untuk debit air tawar sekitar 10 m<sup>3</sup>/dt.

**Anwar (1998)** melakukan penelitian di Muara Kali Lamong. Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui jenis stratifikasi aliran dengan pendekatan model matematika yang disusun menggunakan persamaan kontinuitas, persamaan kecepatan dengan atau tanpa gesekan, dan perumusan gelombang dasar di saluran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode musim kemarau (Mei sampai Oktober) intrusi air laut yang masuk ke badan Kali Lamong, Gresik mencapai kurang lebih 10 km (dihitung dari mulut muara Kali Lamong) dan jenis stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar diklasifikasikan tercampur sempurna atau *well mixed*.

**Liu (2007)** melakukan penelitian di Muara Kali Denshuei, Taiwan. Tujuan utama penelitian adalah mengembang-kan model matematika tiga dimensi (3-D) paket Program UnTRIM untuk penetapan panjang intrusi air laut di estuari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Uji kecococokan menggunakan kriteria koefisien korelasi (Cc) hasil cukup baik sebesar 0.90 di Muara Denshui dan jenis stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar diklasifikasikan tercampur sempurna atau *partially mixed*.

Pada dekade terakhir ini, model *softcomputing* sebagai cabang dari ilmu kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) diperkenalkan sebagai alat peramalan seperti sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*), sistem pakar (*expert system*), logika *fuzzy* (*fuzzy logic*), jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) dan algoritma genetika (*genetic algorithm*) (Purnomo, 2004). Masih menurut Purnomo (2004) dasar pemilihan model *softcomputing* sebagai *tool* dalam pemodelan sistem, pemodelan *softcomputing* sangat menguntungkan bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya, serta fleksibilitas parameter yang dipakai yang biasa merupakan kendala pada *tool* yang lain.

**Suprayogi (2008)** telah melakukan penelitian di Muara Kali Lamong. Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan *softcomputing* akibat pengaruh pasang surut di Muara Kali Lamong yang berlawanan dengan debit hulu yang bersifat konstan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis stratifikasi aliran antara air laut dan air tawar diklasifikasikan tercampur sempurna atau *well mixed* dan model peramalan intrusi air laut di Kali Lamong menggunakan *softcomputing* menghasilkan model yang cukup handal menggunakan parameter statistik *mean square error* (MSE). Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, maka pada penelitian ini akan di titik beratkan pada pengembangan model peramalan intrusi air laut di estuari periode musim kemarau Tujuan utama penelitian adalah mengembangkan model peramalan panjang intrusi air laut di estuari yang telah dilakukan oleh Suprayogi (2008), perbedaan mendasar bahwa debit hulu yang bersifat fluktuatif

menggunakan pendekatan *softcomputing*. Tujuan utama dikembangkan model adalah untuk menguji ketepatan/akurasi hasil peramalan dari model intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan *softcomputing* sebagai dasar penetapan tempat yang sudah tidak terpengaruh air laut.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Pasang Surut**

Pasang surut dimaksudkan sebagai pergerakan permukaan air laut dalam arah vertikal yang disebabkan adanya interaksi gaya-gaya benda angkasa, terutama dalam hal ini adalah bumi, bulan dan matahari. Bumi bergerak mengelilingi matahari sambil berputar pada porosnya menurut pola orbit atau jalur edar yang selalu berubah-ubah secara periodik. Dalam perubahan tempat kedudukan yang periodik tersebut, bumi, bulan, dan matahari selalu melakukan gaya tarik-menarik yang berubah-ubah secara periodik pula. Air laut sebagai fluida di permukaan bumi mempunyai ciri tidak dapat menahan geseran sehingga akan bergerak oleh gaya tarik bulan atau matahari atau gabungan keduanya. Gerakan pasang surut di laut akan merambat ke muara dan menimbulkan fluktuasi muka air ditempat itu.

Pasang surut adalah parameter yang paling dominan dalam perilaku hidrodinamika di muara. Pengaruhnya terutama dapat menimbulkan efek pembendungan sehingga kecepatan aliran dimuara sungai menjadi sangat rendah dikala air laut mengalami pasang. Saat-saat disekitar air pasang tertinggi, kecepatan aliran menjadi sangat rendah dan sedimen berpeluang besar untuk mengendap. Sebaliknya pada saat muka air bergerak surut menuju titik terendah, kecepatan aliran akan bertambah besar dan sedimen yang tadinya mengendap akan terkikis kembali

### **2.2.2. Gaya Pembangkit Pasang Surut**

Gaya pembangkit pasang surut diturunkan berdasarkan rumus Newton, yang menyatakan bahwa benda-benda atau partikel di alam semesta akan tarik-menarik dengan gaya yang besarnya sebanding dengan massa-massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

(2.1)

Dimana

$G$  = konstanta gravitasi universal,  $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$

Gaya tarik terhadap bumi tidak menjadikan bumi bergerak mendekat ke arah bulan. Hal ini berarti bahwa ada suatu gaya penahan yang mengimbangi besarnya gaya tarik bulan tersebut sehingga bumi, bulan, dalam keadaan setimbang. Gaya penahan ini dapat dijelaskan sebagai gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal untuk semua titik massa di bumi dianggap sama dengan gaya sentrifugal di pusat bumi karena jari-jari bumi relatif sangat kecil bila dibandingkan dengan jarak antara bumi dan bulan.

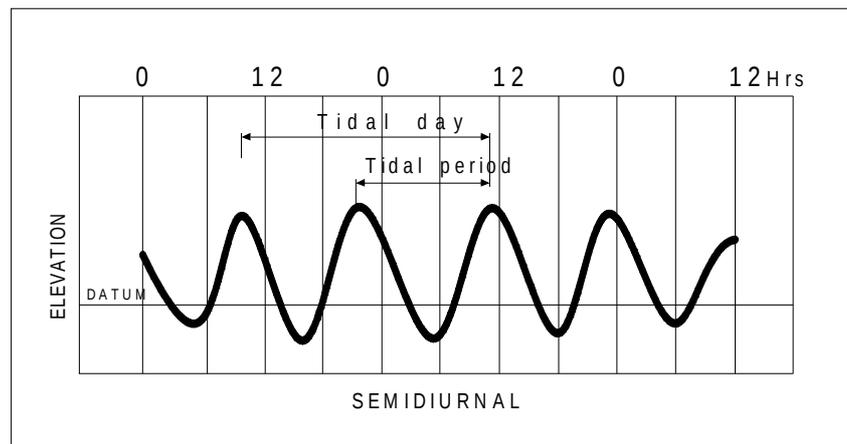
Sejalan dengan hukum Newton yang telah dikemukakan pada rumus 2.1 di atas, pengaruh matahari akan lebih kecil dari pengaruh bulan karena jarak matahari–bumi lebih jauh daripada jarak bulan-bumi. Gaya pembangkit pasang surut akibat matahari dan bulan berbanding 1: 2.18 (Legowo, 1998). Seiring dengan pergerakan bumi secara periodik, maka gaya-gaya pembangkit pasang surut juga berubah secara periodik, sehingga gerakan air juga bersifat periodik sesuai dengan siklus gaya pasang yang menyebabkannya. Dengan adanya gerakan horisontal yang periodik tadi, muka air juga berfluktuasi vertikal secara periodik.

### **2.2.3. Jenis Pasang Surut**

Matahari, bumi dan bulan mempunyai pola lintasan gerak yang berulang secara periodik di ruang angkasa, sehingga pasang surut sebagai fenomena yang ditimbulkannya juga mempunyai pola tertentu tergantung konfigurasi posisi bumi, bulan dan matahari. Konfigurasi posisi tersebut membedakan jenis pasang surut. Setiap tempat di permukaan bumi mempunyai tipe pasang surut tertentu karena besarnya pengaruh bulan dan matahari di titik itu dapat berlainan. Pasang surut dapat dikategorikan menjadi tiga jenis:

a. **Pasang surut setengah harian (*semi diurnal*)**

Pasang surut setengah harian artinya dalam waktu satu hari (24 jam) terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Pasang surut akibat pengaruh gaya tarik bulan disebut *semi diurnal lunar tide* dan pasang surut akibat pengaruh gaya tarik matahari disebut *semi diurnal tide*. Lihat Gambar 2.1 di bawah ini

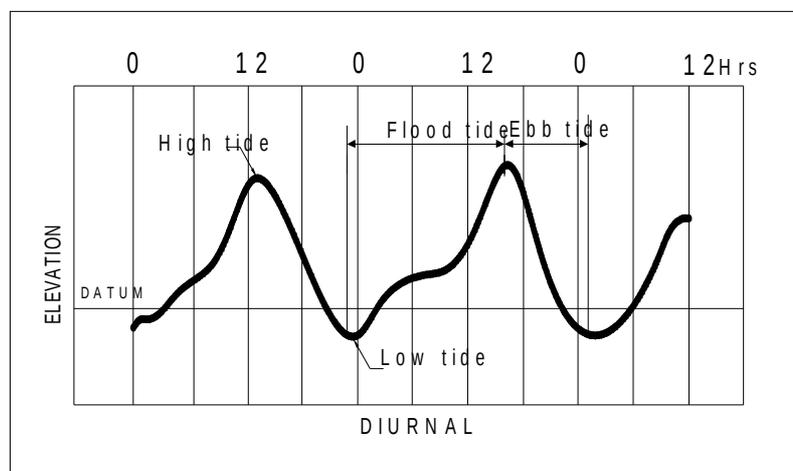


Sumber : Ghost (1999)

**Gambar 2.1. Tipe Pasang Surut *Semi Diurnal*** (Ghost, 1999)

b. **Pasang surut harian (*diurnal*)**

Pasang surut harian atau *diurnal* terjadi bila pada waktu satu hari (24 jam) hanya ada satu kali pasang dan satu kali surut. Lihat Gambar 2.2 seperti di bawah ini :

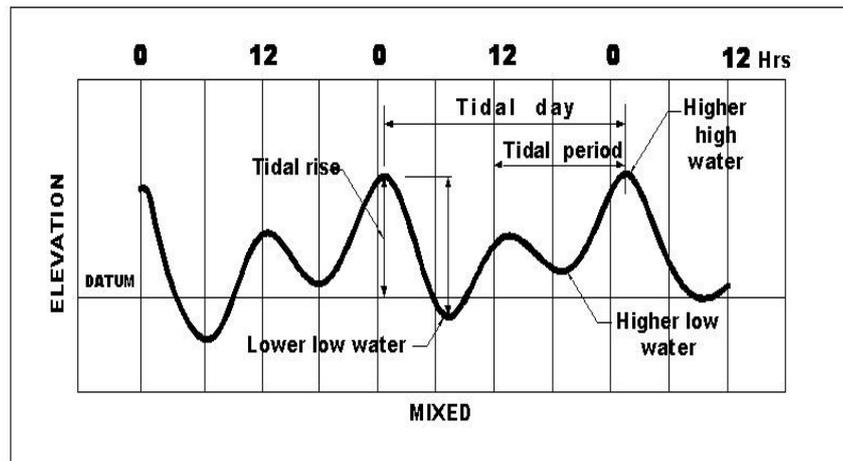


Sumber : Ghost (1999)

## Gambar 2.2. Tipe Pasang Surut *Diurnal*

### c. Pasang surut campuran

Pasang surut campuran artinya dalam waktu satu hari terjadi pasang surut secara tidak beraturan. Pasang surut jenis ini terbagi lagi dalam dua jenis, yaitu pasang surut campuran condong ke bentuk semi diurnal dan pasang surut campuran condong ke bentuk diurnal. Untuk selanjutnya tipe pasang surut *mixed* disajikan pada Gambar 2.3 seperti di bawah ini:



Sumber : Ghost (1999)

## Gambar 2.3. Tipe Pasang Surut *Mixed*

### 2.2.4. Karakteristik Pasang Surut

Pasang surut merupakan akumulasi komponen-komponen gerakan akibat pengaruh benda-benda angkasa termasuk benda lain selain bulan dan matahari. Namun karena benda-benda lain tersebut jaraknya terlalu jauh dari bumi maka pengaruhnya sangat kecil dan dapat diabaikan. Tipe pasang surut di suatu tempat dapat digolongkan ke dalam tipe yang telah dikenali berdasarkan perbandingan antara jumlah amplitudo komponen diurnal  $K_1$  dan  $O_1$  dengan jumlah amplitudo komponen semi diurnal  $M_2$  dan  $S_2$ . Tetapan  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$  dan  $S_2$  didapat dari data sekunder terbitan Dinas Hidrooseanografi TNI-AL. Selanjutnya konstanta pasang surut (*tidal constant*) dihitung dengan metode Admiralty dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.2)$$

Dengan :

F = konstanta pasang surut

$K_1$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari.

$O_1$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari.

$M_2$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh bulan.

$S_2$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh matahari.

Dari harga F yang diperoleh, pasang surut dibagi dalam empat tipe, yaitu:

- a.  $0 < F < 0,25$  disebut pasang surut diurnal murni. Sehari terjadi pasang dua kali dengan tinggi yang hampir sama. Interval waktu antara transit bulan dan pasang naik adalah  $2 (M_2 + S_2)$
- b.  $0,25 < F < 1,5$  disebut pasang campuran ganda. Terdapat dua kali pasang sehari tetapi tinggi dan interval waktu antara transit bulan dan pasang naik tidak sama. Perbedaan ini mencapai maksimumnya bila deklinasi bulan telah melewati maksimumnya. range rata-rata pada pasang purnama adalah  $2 (M_2 + S_2)$
- c.  $1,5 < F < 3,0$  disebut pasang campuran tunggal. Kadang terjadi satu kali pasang sehari yang mengikuti deklinasi maksimum dari bulan. Seringkali terjadi dua pasang sehari tetapi tinggi dan interval antara transit bulan dan pasang purnama naik berbeda sekali, terutama bila bulan telah melewati equator. Range rata-rata pada pasang purnama adalah  $2 (K_1 + O_1)$ .
- d.  $F > 3,0$  disebut pasang tunggal murni. Satu kali pasang dalam waktu sehari. Pada saat pasang perbani ketika bulan telah melewati equator. Range rerata pada bulan purnama adalah  $2 (K_1 + O_1)$

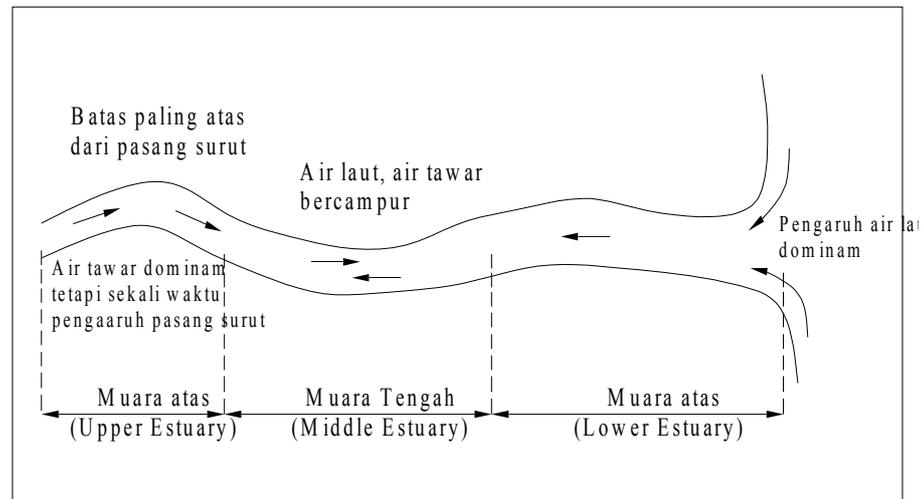
### 2.3. Estuari

Estuari merupakan bagian hilir dari aliran sungai yang berdekatan dengan bagian pantai dan atau laut. Semula definisi dan klasifikasi estuari diberikan oleh para ahli geologi dan peneliti kelautan (*physical oceanographer*). Namun mengingat fungsi begitu penting kompleks dan khas dalam konteks ekologi perairan pantai/laut maka pengertian umum dari estuari mengalami pembaharuan seiring dengan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan. Definisi yang banyak disitir dari literatur ilmiah diberikan oleh Pritchard (1967) yang mengatakan bahwa estuari adalah suatu badan perairan pantai yang semi tertutup, tetapi masih mempunyai hubungan dengan laut terbuka di mana air laut mengalami pelarutan yang bisa diukur dengan massa air tawar yang berasal dari drainase darat.

Definisi dari Pritchard tersebut tampaknya tidak menyebut tentang pasang surut yang merupakan salah satu sifat fisis hidro-oseanografi yang terasa di setiap daerah pantai. Pada kesempatan lain Odum (1969) pernah mendefinisikan estuari sebagai ekosistem permukaan air yang berfluktuasi sesuai dengan kondisi pasang dan surut. Definisi tersebut malah terkesan terlalu sederhana dan kurang tajam. Baru pada tahun 1980, Fairbridge memberikan batasan yang lebih komprehensif sebagai berikut: estuari merupakan tempat masuk (*inlet*) air laut hingga mencapai lembah sungai sejauh pengaruh pasang masih tampak ke arah hulu dan bisa dibagi menjadi tiga segmen muara muara yakni:

- a. segmen pantai atau bagian terendah dari estuari yang berhubungan langsung dengan laut terbuka.
- b. Segmen tengah yang dipengaruhi oleh salinitas yang tinggi dan terjadi pencampuran dengan air tawar (sungai).
- c. Segmen hulu yang ditandai oleh dominasi air tawar tetapi masih terpengaruh oleh gerakan pasang harian.

Batas dari masing-masing segmen tersebut sangat bervariasi dan tergantung pada perubahan - perubahan yang teratur (*constant change*) dalam aliran sungai. Skema pembagian wilayah estuari disajikan dalam Gambar 2.4 seperti di bawah ini:



Sumber : Pribowo (2000)

**Gambar 2.4. Pembagian Wilayah Estuari Atas, Estuari Tengah Dan Estuari Bawah**

Walaupun definisi Fairbridge di atas mengesampingkan beberapa bentuk geomorfis pantai seperti misalnya laguna, delta, dan estuari non-pasang surut, namun pembagian atas tiga segmen tersebut di atas sudah dianggap cukup dapat menggambarkan sebagian besar dari ciri-ciri fisik, geologis, dan ekologis.

### 2.3.1. Prisma Pasang Surut

Dalam kaitannya dengan permasalahan di estuari dikenalkan suatu parameter yang disebut dengan prisma pasang surut (*tidal prism*). Prisma pasang surut dari suatu estuari didefinisikan sebagai volume air dari laut yang masuk ke atau keluar dari sungai melalui mulut sungai antara titik balik air surut (*low water slack*) mulut sungai antara titik balik air pasang (*high water slack*) atau sebaliknya.

Apabila tidak ada debit dari hulu sungai, maka volume air yang masuk ke sungai pada saat air pasang dan yang keluar pada saat air surut dapat dihitung dengan persamaan 2.3 berikut ini.

$$P = \int_0^{24} Q(t) dt \quad (2.3)$$

Dengan :

- P = prisma pasang surut (m<sup>3</sup>)
- Q(t) = debit yang lewat mulut sungai (m<sup>3</sup>/det)
- T = periode pasang surut (jam)
- T = T<sub>p</sub> + T<sub>s</sub>
- T<sub>p</sub> = periode air pasang (jam)
- T<sub>s</sub> = periode air surut (jam)

Apabila kurva pasang surut di laut adalah sinusoidal, prisma pasang surut dapat didekati dengan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{Q_{maks}}{\pi} \frac{T}{C_k}$$

(2.4)

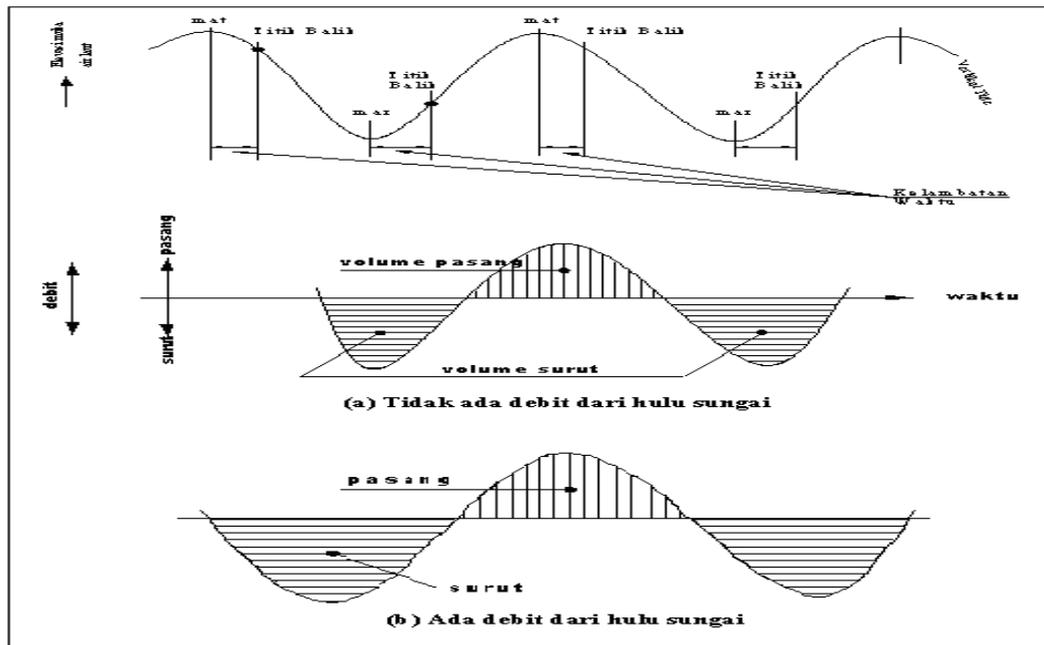
Dengan :

- Q<sub>maks</sub> = debit maksimum yang lewat mulut sungai (m<sup>3</sup>/det)
- C<sub>k</sub> = faktor koreksi yang besarnya antara 0.811 dan 0.999

Pada Gambar 2.5 seperti di bawah ini memberikan penjelasan untuk menghitung prisma pasang surut. Dalam gambar tersebut, titik balik (*slack*) terlambat (bergeser) terhadap muka air tinggi dan rendah. Hal ini disebabkan karena adanya tampungan air di sungai (pada bantaran atau daerah genangan dan gesekan dengan dinding sungai). Pada saat titik balik tersebut kecepatan aliran adalah nol. Selama periode air pasang dan mulai dari titik balik air surut, kecepatan aliran meningkat dan air laut masuk ke sungai melalui mulut sungai.

Setelah mencapai maksimum di sekitar tengah-tengah antara dua titik balik yang berurutan, kecepatan aliran berkurang sampai menjadi nol pada titik balik air pasang. Pada waktu air surut, air yang tertampung di sungai mengalir

kembali ke laut. Dengan mengukur tampang lintang dan kecepatan aliran di mulut sungai dapat dihitung debit aliran.



Sumber : Triatmodjo (1999)

**Gambar 2.5. Prisma Pasang Surut**

Untuk selanjutnya Gambar 2.5 bagian a seperti di atas, menunjukkan debit aliran melalui mulut sungai sebagai fungsi waktu pada saat tidak ada debit dari hulu sungai. Prisma pasang surut (*tidal prism*) dapat diketahui dengan menghitung luasan antara kurva debit air pasang atau air surut dan sumbu t. Apabila dari hulu sungai terdapat aliran, maka volume air surut lebih besar dari pada volume air pasang, seperti terlihat pada Gambar 2.8 bagian b.

Prisma pasang surut juga dapat dihitung secara analitis apabila distribusi pada vertikal di mulut sungai diketahui. Dengan cara tersebut dapat diperoleh hubungan berikut ini.

$$A = a_1 P^{m_1} \quad (2.5)$$

Dengan :

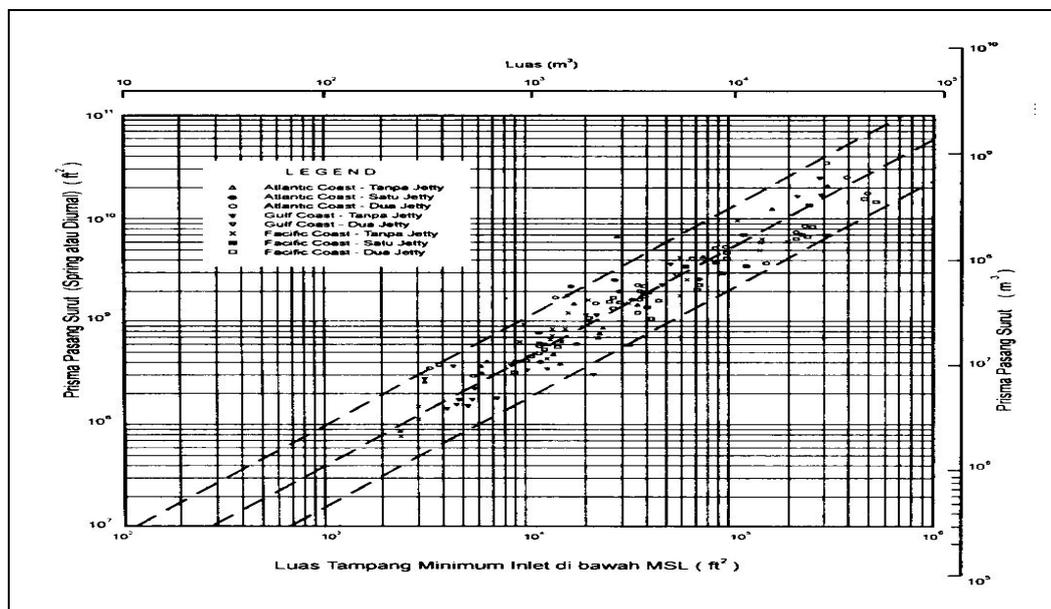
A = luas tampang aliran pada muka air rerata untuk kondisi pasang purnama dalam ( $m^2$ )

P = prisma pasang surut ( $m^3$ )

Menurut Triatmodjo (1999) bahwa Jarett (1976), dalam Per Bruun 1978) telah menganalisa persamaan di atas berdasarkan sejumlah besar data untuk mendapatkan nilai  $a_1$  dan  $m_1$  dan hasilnya adalah :

$$A = 1.58 \times 10^{-4} \cdot P^{0.95} \quad (2.6)$$

Gambar 2.6 menunjukkan pola hubungan antara luas tampang aliran minimum di muara pada muka air rerata (A) dan prisma pasang surut berdasarkan data yang dipergunakan Jarett.



Sumber : Triatmodjo (1999)

**Gambar 2.6 Hubungan Luas Tampang Aliran dan Prisma Pasang Surut**

### 2.3.2. Angka Estuari

Untuk menentukan karakter estuari berdasarkan struktur salinitas, ditentukan berdasarkan formulasi *The Canter Cremers Numbers* atau *Estuary Number* sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{QT}{P}$$

(2.7)

$$E = \frac{P}{QT} Fr^2$$

(2.8)

Dengan :

Q = debit aliran dalam m<sup>3</sup>/det

T = periode pasang surut dalam detik

P = prisma pasang surut (*tidal prism*) dalam m<sup>3</sup>

P = ½ x (volume air surut + volume air pasang)

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (2.9)$$

Fr = angka *Froude*

v = kecepatan air pasang maksimum di muara sungai (m/det)

g = percepatan gravitasi (m<sup>2</sup>/det)

h = kedalaman rata-rata di mulut estuari (m)

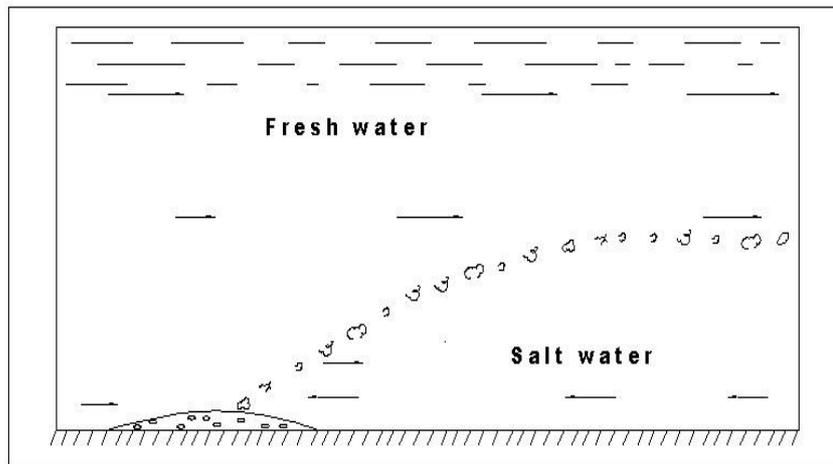
Untuk membedakan angka tersebut, biasanya  $\alpha$  disebut angka air pasang dan E adalah angka estuari. Kedua angka tersebut digunakan untuk menentukan tipe estuari.

### 2.3.2. Tipe Estuari

Jumlah air yang masuk ke estuari dari daerah hulu dan derajat pencampuran dengan air laut sangat menentukan pola sirkulasi vertikal di estuari. Menurut Ippen (1966); struktur distribusi vertikal dari salinitas, estuari dapat dibedakan menjadi empat tipe berikut ini :

#### a. Estuari Lidah Asin

Estuari lidah asin akan terbentuk apabila debit air tawar relatif besar bila dibandingkan dengan debit air yang ditimbulkan oleh pasang surut. Air tawar dan air asin akan tetap terpisah. Air tawar yang mengalir menuju ke laut berada di atas lapisan air asin. Di lapisan bawah air tawar tersebut terdapat lapisan air asin yang masuk atau mengalir membentuk lidah asin seperti terlihat pada Gambar 2.7.



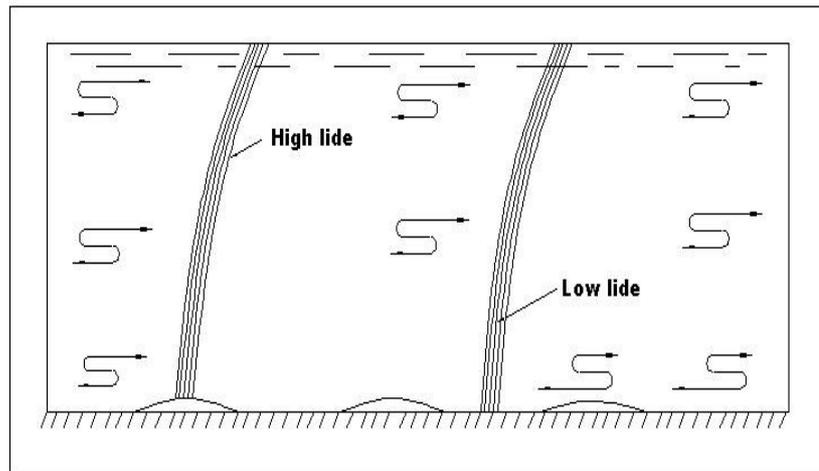
Sumber : Rijkwaterstaat Communication (1976)

**Gambar 2.7. Estuari Lidah Asin**

Di sebelah hulu dari batas intrusi air asin merupakan daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut, arah arus sama pada seluruh kedalaman, yaitu menuju ke hilir. Umumnya tidak ada aliran balik yang disebabkan oleh gerakan pasang surut. Sehingga mulai dari muka air sampai ke *interface* (lidah pertemuan antara air tawar dan air asin), arus bergerak ke hilir. Sedang bagian di bawah *interface* merupakan aliran air asin, yang bergerak ke arah hulu seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7 di atas. Pada tipe ini harga  $\alpha > 1$  dan  $E < 0.005$ .

**b. Estuari Tercampur Sebagian**

Di estuari tercampur sebagian, arus pasang surut dapat menimbulkan pencampuran vertikal (*vertikal mixing*) yang berarti dari air asin ke air tawar. Karena pada umumnya arus mengalir ke hulu pada waktu air pasang dan ke hilir pada waktu air surut, maka air asin akan maju ke hulu dan ke hilir dengan naik dan turunnya air pasang surut diperlihatkan dalam Gambar 2.8 *interface* antara air tawar di lapis atas dan air yang lebih asin di lapisan bawah tidak begitu jelas, seperti pada estuari lidah asin.



Sumber : Rijkwaterstaat Communication (1976)

**Gambar 2.8 Estuari Tercampur Sebagian**

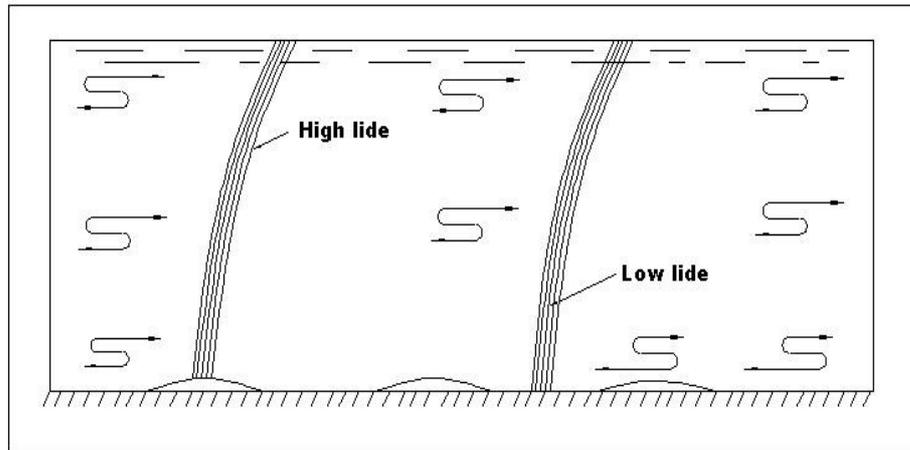
Di daerah sebelah hulu dari intrusi air asin, arus pada seluruh kedalaman berbalik (bolak-balik) dengan fase pasang surut. Distribusi vertikal dari arus pada waktu air surut sama dengan arus di sungai (bagian yang tidak dipengaruhi pasang surut). Arus ke arah hilir lebih dominan dari arus ke arah hulu karena besarnya debit sungai. Di daerah intrusi air asin, arah arus dekat permukaan dan dasar adalah berlawanan dengan fase pasang surut. Pada tipe ini harga angka estuari adalah :  $0.1 < \alpha < 1$  dan  $0.005 < E < 0.2$ .

### c. Estuari Tercampur Sempurna

Di estuari tercampur sempurna, gaya-gaya yang ditimbulkan oleh pasang surut lebih dominan dari pada debit air tawar. Sedemikian sehingga air tawar dan air asin tercampur dengan sempurna pada seluruh kedalaman (*vertikal*), diperlihatkan pada gambar 2.9. Pada tipe ini angka estuari adalah  $\alpha < 0.1$  dan nilai  $E > 0.2$ .

Salinitas berkurang secara progresif dari air laut pada mulut estuari ke air tawar di sebelah hulu. Profil vertikal dari salinitas hampir konstan atau berkurang dari dasar permukaan antara 15% -25%. Arus berubah dengan fase pasang surut di sepanjang estuari. Di daerah air tawar dan air payau, arus surut pada seluruh kedalaman adalah lebih dominan dari arus pasang

karena adanya debit air tawar. Sedangkan di daerah asin, arus pasang biasanya lebih dominan dari arus surut.



Sumber : Rijkwaterstaat Communication (1976)

**Gambar 2.9. Estuari Tercampur Sempurna**

Dari penjelasan tipe estuari di atas berdasarkan struktur distribusi vertikal dari salinitasnya, maka dapat disusun dalam bentuk Tabel 2.1 seperti di bawah ini.

**Tabel 2.1. Hubungan Antara Tipe Estuari, Volume Rasio Angka Estuari ( $\alpha$ ) Dan Angka Estuari (E)**

| No | Tipe Estuari       | Volume Rasio Angka Estuari ( $\alpha$ ) | Angka Estuari (E) |
|----|--------------------|---|-------------------|
| 1  | Tidak Tercampur    | $\alpha > 1$                            | $E < 0.005$       |
| 2  | Tercampur Sebagian | $0.1 < \alpha < 1$                      | $0.005 < E < 0.2$ |
| 3  | Tercampur Sempurna | $\alpha < 0.1$                          | $E > 0.2$         |

Sumber : Rijkwaterstaat Communication (1976)

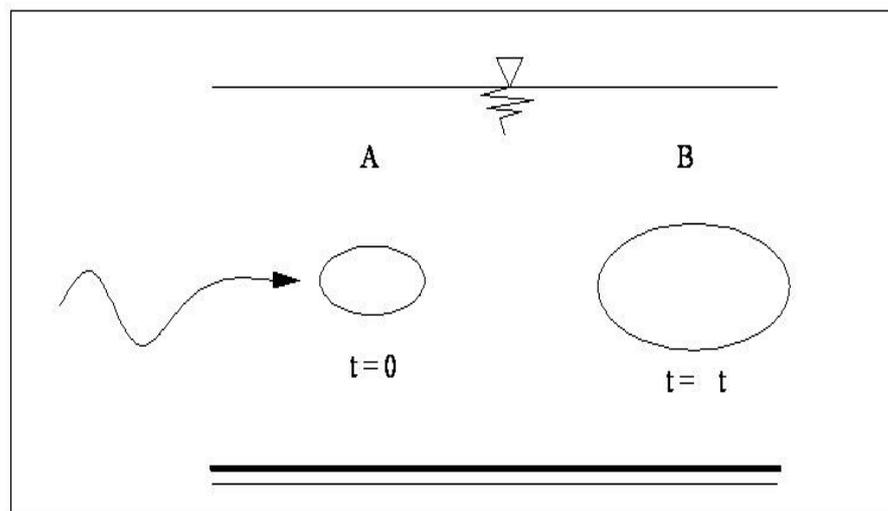
### 2.3.3. Percampuran (*Mixing*) di Estuari

Percampuran atau *mixing* di estuari disebabkan oleh difusi turbulen dan variasi medan kecepatan. Dengan percampuran atau *mixing*, suatu sistem dengan stratifikasi dapat berubah menjadi sistem tercampur. Percampuran atau *mixing* terjadi karena turbulen yang merupakan gerakan dalam skala kecil dari partikel air yang menyimpang dari kecepatan rerata yang disebabkan oleh pasang surut, debit sungai dan rapat masa.

Pasang surut menimbulkan pencampuran atau *mixing* dengan dua cara, yaitu pertama gerakan arus pasang surut pada dasar saluran menimbulkan turbulensi dan mengakibatkan pencampuran turbulen secara vertikal dan kedua gelombang pasang surut yang menjalar di estuari menyebabkan arus cukup kuat yang dapat menimbulkan pencampuran atau *mixing* secara konveksi.

Debit sungai dapat menimbulkan pencampuran atau *mixing* dengan cara yang sama seperti pasang surut tetapi karena biasanya kemiringan dasar sungai kecil, kedalaman serta lebar estuari cukup besar sehingga debit sungai yang relatif kecil (dibanding dengan debit pasang surut) tidak menimbulkan pencampuran atau *mixing* yang besar (kecepatan aliran yang ditimbulkan oleh debit sungai kecil).

Perbedaan berat jenis air laut dan air tawar akan menyebabkan proses difusi, yaitu penyebaran partikel dari air yang mempunyai konsentrasi garam lebih besar ke konsentrasi yang lebih kecil. Difusi dapat dibedakan menjadi dua yaitu : difusi molekuler dan difusi turbulen. Difusi molekuler adalah penyebaran partikel karena gerakan molekul, sedang difusi turbulen adalah penyebaran partikel karena gerak turbulen. Proses pencampuran dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.10 seperti di bawah ini:



Sumber : Cunge (1990)

**Gambar 2.10. Injeksi Polutan Ke Dalam Aliran**

Suatu polutan (zat warna) yang diinjeksikan ke dalam aliran tanpa pencampuran atau *mixing*, dalam waktu  $dt$  polutan akan ditranspor dari lokasi A

ke lokasi B, tetapi ukuran polutan tersebut tidak berubah. Karena pencampuran atau *mixing* ukuran polutan tersebut bertambah besar tetapi konsentrasi berkurang. Dalam proses transpor ini dapat dibedakan atas dua proses yaitu proses transpor adveksi yang berhubungan dengan perpindahan tempat dan proses difusi yang berhubungan dengan penyebaran partikel, kedua proses ini dikenal dengan sebutan proses dispersi.

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian disusun berdasarkan latar belakang penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah serta tujuan utama dari penelitian. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model peramalan panjang intrusi air laut di estuari periode bulan kemarau, akibat pengaruh rambatan gelombang air laut pasang maksimum yang berlawanan dengan debit sungai dari hulu menggunakan pendekatan model *softcomputing*.

### **3.1. Dasar Pemilihan Model *Softcomputing***

Menurut Sri Harto (1998) model empirik termasuk di dalamnya model kotak hitam (*black box*) adalah model yang hubungan parameternya diperoleh dengan cara coba-coba, tanpa memerlukan pemahaman tentang proses yang sebenarnya terjadi. Meskipun demikian, parameter tidak ditentukan secara sebarang, akan tetapi dilandaskan pada logika ketergantungan dalam siklus hidrologi dan neraca air. Dalam konteks penelitian ini menurut Triatmodjo (1999) pengaruh dominan terhadap perubahan panjang intrusi air laut di estuari yang terjadi (L) adalah akibat pengaruh rambatan pasang surut (H pasang) yang berlawanan dengan debit hulu sungai (Q hulu).

Model *softcomputing* yang diklasifikasikan model kotak hitam (*black box*) terdiri dari sistem berbasis pengetahuan (*knowledge based system*), sistem pakar (*expert system*), logika *fuzzy* (*fuzzy logic*), jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) dan algoritma genetika (*genetic algorithm*) (Purnomo, 2004). Masih menurut Purnomo (2004) dasar pemilihan model *softcomputing* sebagai *tool* dalam pemodelan sistem, model *softcomputing* memiliki keunggulan spesifik (generik) yang mampu bekerja pada sistem tak linier yang cukup sulit model matematikanya, serta fleksibilitas parameter yang dipakai yang biasa merupakan kendala pada *tool* yang lain dan karakteristik dari model berbasis pengetahuan dan pembelajaran tidak memiliki persamaan matematis karena sepenuhnya model dikendalikan oleh algoritma.

Adakalanya komponen-komponen utama dari *softcomputing*, saling dipadupadankan untuk mendapatkan algoritma yang lebih sempurna. Pada tahun 1993, Roger Jang dari Departemen Teknik Listrik dan Ilmu Komputer dari

Universitas California, Amerika Serikat mengembangkan system *hybrid (hybrid system)* antara logika *fuzzy* dan jaringan syaraf tiruan yang menghasilkan system *neuro fuzzy* struktur *adaptive neuro fuzzy inference system* atau yang lebih dikenal algoritma *ANFIS*.

Menurut Fausset (1996), keunggulan sistem dari jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) adalah kemampuan belajar terhadap informasi numerik melalui algoritma belajar (*learning algorithm*) untuk memperbaiki parameter pada fungsi pembobot dan fungsi aktivasinya. Kelebihan inilah oleh Jang dimanfaatkan untuk menentukan parameter fungsi keanggotaan sistem *fuzzy*. Sistem *fuzzy* yang menentukan parameter fungsi keanggotaan (*membership function*) dengan memanfaatkan arsitektur jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) dikenal dengan sistem *neuro-fuzzy*.

Masih menurut Roger Jang (1993) mengusulkan untuk melakukan pemilihan parameter fungsi keanggotaan (*membership function*) dengan bantuan jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*). Dengan menggunakan cara ini maka perancangan fungsi keanggotaan (*membership function*) tidak lagi dilakukan secara manual sesuai kepakaran yang ingin dimasukkan ke dalam sistem cerdas melainkan menggunakan aturan pembelajaran berdasarkan data latih.

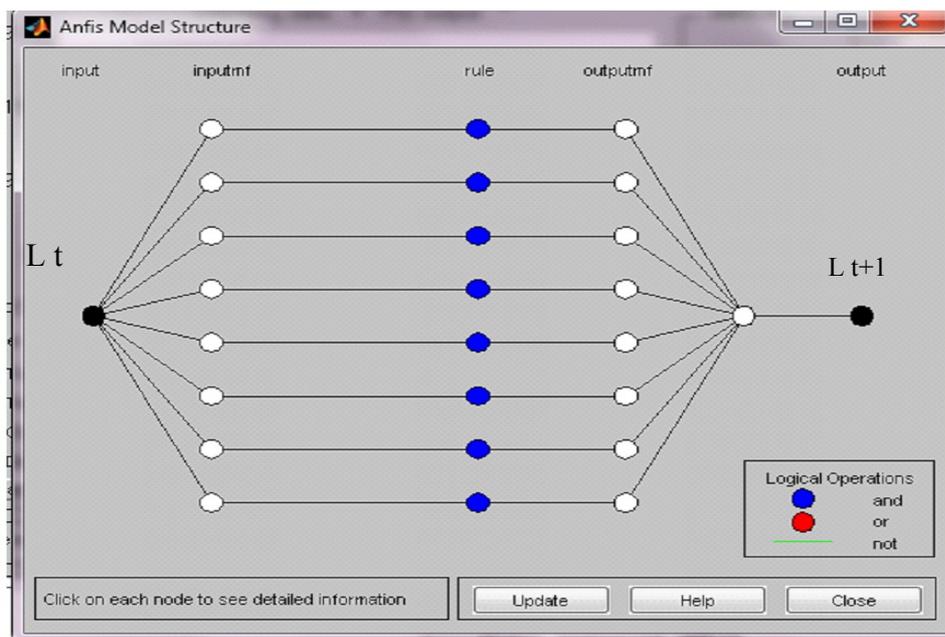
Sistem *neuro – fuzzy* merupakan pengembangan dari teori logika *fuzzy* yang sudah ada terlebih dahulu. Masih dikatakan Roger Jang (1993) permasalahan pada sistem *fuzzy* adalah pada saat penentuan fungsi keanggotaan (*membership function*), dimana aturan (*rule*) dibuat berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah dirancang. Oleh karena itu, jika salah dalam menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang tepat dalam mewakili sistem yang ditangani maka sistem *fuzzy* menjadi kurang handal. Jika diterapkan di dalam sistem peramalan maka sistem ini menimbulkan kesalahan peramalan.

### **3.2. Konfigurasi Model *Softcomputing* Menggunakan Struktur ANFIS Untuk Peramalan Lidah Air Asin Di Estuari**

Menurut Suprayogi (2009) perancangan arsitektur jaringan sistem *neuro fuzzy* dengan struktur ANFIS disesuaikan dengan format data pembelajaran, yaitu

jaringan dengan 1 masukan terdiri dari panjang intrusi air laut pengukuran pada saat air laut pasang maksimum harian akibat pengaruh tinggi air laut pasang maksimum harian yang berlawanan dengan debit hulu aliran sungai yang bersifat fluktuatif [  $L(t)$  ] dan 1 keluaran yaitu panjang intrusi air laut satu hari ke depan pada saat air laut mencapai puncak pasang harian [  $L(t+1)$  ].

Implementasi dilakukan dengan mendasarkan algoritma sistem *neuro fuzzy* dengan struktur ANFIS. Proses pembelajaran sistem ANFIS ada dua tahap, yaitu tahap maju menggunakan mekanisme inferensi *fuzzy* dan penggunaan metode *least square estimator* serta tahap mundur dengan menggunakan aturan *error backpropagation* (Gelley dkk, 2000; Rahmat, 2004; Kusumadewi, 2006) Untuk selanjutnya lihat pada Gambar 3.1 seperti di bawah ini :



**Gambar 3.1. Konfigurasi Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Sistem *Neuro Fuzzy* Struktur ANFIS**

Masih berdasarkan Gambar 3.1 di atas, konfigurasi model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan ANFIS terdiri dari 5 lapis. Adapun tata urutan lapis 1 - lapis 5, untuk selengkapnya dijelaskan seperti di bawah ini :

- Lapis 1.** Jumlah masukan (*input*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS terdiri dari 1 masukan (*input*) data hasil pengukuran panjang intrusi air laut pasang maksimum harian ( $L_t$ ).
- Lapis 2.** Pembentukan masukan fungsi keanggotaan (*input membership function*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS berdasarkan jumlah data hasil pengukuran panjang intrusi air laut pada saat air laut pasang maksimum harian ( $L_t$ ) sebanyak 12 data.
- Lapis 3.** Jumlah aturan FIS yang terbentuk dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS sebanyak 8 buah aturan yang terbentuk.
- Lapis 4.** Pembentukan keluaran fungsi keanggotaan (*output membership function*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS sebanyak data.
- Lapis 5** Keluaran hasil dari peramalan panjang intrusi air laut di estuari untuk satu hari ke depan ( $L_{t+1}$ ) menggunakan pendekatan model ANFIS.

Lapis 1 sampai lapis 5 sangat tergantung pada jumlah data (  $n$  jumlah data) yang di masukkan ke struktur ANFIS karena akan berpengaruh signifikan terhadap jumlah aturan FIS yang terbentuk terhadap ketepatan hasil peramalan panjang intrusi air laut di estuari.

### 3.3. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Muara Kali Lamong, Gresik. Lihat pada Gambar 3.2 seperti di bawah ini :



**Gambar 3.2 Peta Satelit Kali Lamong**

### **3.4. Pengumpulan Data**

#### **3.4.1. Kebutuhan Data Pada Tahap Pengembangan Model**

Pengumpulan data terdiri dari dua macam yaitu :

- Data primer  
Data primer meliputi pengukuran pasang surut, pengukuran salinitas air laut di Muara Kali Lamong, pengukuran debit hulu Kali Lamong dan pengukuran panjang intrusi air laut yang masuk ke Kali Lamong.
- Data sekunder  
Data sekunder meliputi hasil pengukuran pasang surut di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya oleh Dinas Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut Republik Indonesia tahun 2011.

### **3.5. Alat – Alat Penelitian**

Alat - alat penelitian menggunakan peralatan dari Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang terdiri dari :

1. *Conductivity Meter*
2. *Stopwatch*
3. *Current Meter*
4. Botol sampel Air
5. Papan duga air
6. Lampu Besar

### **3.6. Data Pasang Surut**

Tujuan utama dari pengukuran pasang surut adalah untuk mendapatkan data pasang surut sebagai fungsi waktu di muara Kali Lamong, Gresik untuk menetapkan jenis pasang surutnya.

#### **3.6.1. Lokasi Dan Waktu Pengukuran Data Pasang Surut**

Lokasi pengambilan data primer pasang surut di Jembatan Romokalisari (kurang lebih 2 km dari mulut Muara Kali Lamong, Gresik) seperti yang disajikan pada Tabel 3.3 di bawah ini.



Sumber : Dokumentasi Pengukuran Jembatan Romokalisari

#### **Gambar 3.2 .Pengukuran Tinggi Pasang Surut di Jembatan Romokalisari**

Waktu pengukuran dilaksanakan pada saat periode musim kemarau pada tanggal 8–19 Juli 2011.

#### **3.6.2 . Tata Cara Pengukuran Pasang Surut Di Kali Lamong**

1. Pemilihan lokasi pengamatan pasang surut. Dalam hal ini dipilih di Jembatan Romokalisari (kurang lebih 2.00 km dari mulut muara Kali Lamong) dengan mempertimbangkan kondisi lokasi yang relatif stabil terhadap gangguan sirkulasi aliran, kemudahan pembacaan fluktuasi pasang surut air laut dan titik tetap yang telah digunakan untuk penelitian sebelumnya.
2. Menempatkan papan duga pengukuran air di *abutment* Jembatan Romokalisari .
3. Melakukan pembacaan tinggi air pasang surut dalam jam-jaman.
4. Membuat tabel dan grafik hubungan antara data hasil pengukuran tinggi air pasang surut ( $H_{ps}$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ).
5. Merujuk hasil poin 4 di atas, maka dapat ditetapkan jenis pasang surutnya di Muara Kali Lamong.

### **3.7.Data Salinitas**

#### **3.7.1. Lokasi Dan Waktu Pengukuran Data Salinitas**

Lokasi pengukuran perjalanan lidah garam diambil 2 titik lokasi sepanjang Kali Lamong, Gresik, untuk pengukuran salinitas dari tanggal 8-19 Juli 2011 dilakukan di Jembatan Rel Kereta Api (kurang lebih 18.70 km mulut Muara Kali Lamong) sebagai titik awal pengukuran dan Jembatan Boboh (kurang lebih 20.500 km mulut Muara Kali Lamong) sebagai kontrol tetap pengukuran salinitas. Sebelum dilakukan pengukuran perjalanan lidah garam yang masuk ke Kali Lamong, perlu dilakukan tata cara penggunaan alat *conductivity meter* untuk mendapatkan hasil pengukuran nilai salinitas di lapangan. Untuk selanjutnya alat *conductivity meter* disajikan pada Gambar 3.4 di bawah ini :



Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian Di Muara Kali Lamong

### **Gambar 3.4. Alat *Conductivity Meter***

Adapun tata cara pengukuran salinitas menggunakan alat *conductivity meter* di lapangan adalah sebagai berikut :

1. Tombol *power* dihidupkan dan pastikan tanda menyala warna merah
2. Mengatur tombol *zero* sehingga angka dalam dalam pembacaan digital menunjukkan angka mendekati nol. Tidak diijinkan pembacaan pada digital menunjukkan angka negatif
3. Sensor dari alat *conductivity meter* dimasukkan kedalam larutan konsentrasi garam 3% untuk selanjutnya melakukan pencatatan hasil pembacaan pada digital.
4. Melakukan pengukuran di lapangan dengan jalan sensor dimasukkan ke sungai untuk berbagai variasi kedalaman air. Hasil pembacaan pada digital untuk poin 2, 3, dan 4 dimasukkan kedalam persamaan dibawah ini:

$$C = [(\text{nilai bacaan sampel} - \text{nilai set up zero}) / (\text{nilai bacaan konsentrasi garam 3\%})] \text{ dikalikan } 3\%$$
, sehingga akan didapat nilai salinitas sebenarnya.

### 3.7.2. Tata Cara Penetapan Perjalanan Panjang Lidah Air Asin

Tata cara penetapan perjalanan panjang lidah air asin yang masuk ke Hulu Kali Lamong berdasarkan data hasil pengukuran tanggal 8 Juli 2011 adalah sebagai berikut:

1. Membuat grafik hubungan antara tinggi air laut pasang surut ( $H_{ps}$ ) sebagai fungsi waktu (jam) berdasarkan data hasil pengukuran oleh Dinas Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (TNI-AL) Republik Indonesia.
2. Menetapkan interval waktu deteksi penjalaran air laut yang masuk ke Kali Lamong. Dalam penelitian ini pengamatan dilakukan 4 jam sebelum air laut mencapai puncak pasang harian tertinggi dan 4 jam setelah air laut mencapai puncak pasang harian tertinggi di mulut Muara Kali Lamong.

Bersumber data dari Dinas Hidrooseanografi yang diterbitkan TNI AL bahwa air laut puncak pasang harian ( $H_{maks}$ ) akan terjadi pada jam 09.00 siang dan surut terendah akan terjadi pada jam 17.00 sore. Sehingga interval waktu pengamatan di mulai pada saat jam 05.00 pagi sampai jam 13.00 siang selama 8 jam .

3. Pada saat air laut mencapai puncak pasang ditandai kondisi *slack* tertinggi, baik nilai salinitas terhadap waktu ( $dc/dt$ ) ataupun kecepatan air ( $v$ ) sama dengan nol maka air laut akan bergerak menuju ke hulu Kali Lamong. Untuk mendeteksi penjalaran air laut maka ditempatkanlah perahu yang dilengkapi dengan alat *conductivity meter* di Jembatan Rel Kereta Api untuk memantau perubahan nilai salinitas yang terjadi sampai kondisi air mendekati tawar.



Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian Di Muara Kali Lamong

Gambar 3.5. Lokasi Awal Pengambilan Sampel dari Nilai Salinitas Menggunakan Perahu di Jembatan Rel Kereta Api

4. Pada saat yang sama, dilakukan juga pengukuran kecepatan rata-rata di penampang sungai terpilih ( $\bar{V}_t$ ) menggunakan alat *current meter*. Hal ini dilakukan karena ketidakterdapatannya data pengukuran stasiun *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Adapun ruas penampang Kali Lamong terpilih, tepatnya 1 km di atas Jembatan Boboh (kurang lebih  $\pm 21.500$  km dari mulut Muara Kali Lamong).

Dengan mengetahui luas penampang basah saluran terukur ( $A_t$ )

$A_t = b_t \cdot h_t$ , langkah selanjutnya menghitung besar debit hulu sungai yang terjadi menggunakan perumusan sebagai berikut:

$$Q_{\text{hulu}} = b_t \cdot h_t \cdot \bar{V}_t \quad (\text{m}^3 / \text{dt})$$

Dengan :

$Q_{\text{hulu}}$  = debit hulu Kali Lamong ( $\text{m}^3 / \text{dt}$ ).

$\bar{V}_t$  = kecepatan rata-rata pengukuran ( $\text{m}/\text{dt}$ )

$b_t$  = lebar sungai pengukuran (m)

$h_t$  = kedalaman air hasil pengukuran (m)

Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.6 seperti di bawah ini:



Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian Di Kali Lamong

Gambar 3.6. Lokasi Pengambilan Data Debit Hulu Kali Lamong

Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara debit hulu sungai ( $Q$  hulu) sebagai fungsi waktu ( $t$ ) dalam jam-jaman.

5. Melakukan *kontrol tetap* pengukuran nilai salinitas menggunakan alat *conductivity meter* yang ditempatkan di Jembatan Boboh (kurang lebih 20.500 km dari mulut Muara Kali Lamong).



Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian Di Kali Lamong

Gambar 3.7. Lokasi Titik Kontrol Tetap Untuk Pengukuran Nilai Salinitas di Jembatan Boboh

6. Proses pengukuran dihentikan pada saat terjadi proses titik balik air laut kembali menuju ke hilir (atau menuju ke laut). Kemudian dilakukan pencatatan panjang lidah air asin yang masuk ke badan sungai (L) dalam km dari mulut Muara Kali Lamong.
7. Dari serangkaian hasil data pengukuran di Muara Kali Lamong, maka didapatkan pola hubungan data runtun waktu antara tinggi air laut pasang maksimum harian (H maks) dalam m, debit hulu Kali Lamong (Q hulu) dalam  $m^3 / dt$  serta panjang intrusi air laut maksimum hasil pengukuran (L) dalam km.
8. Masih berdasarkan tata cara seperti yang disajiakan pada langkah 1 sampai 7 tersebut di atas, maka akan didapatkan pola hubungan antara hasil pengukuran debit hulu Kali Lamong dan panjang intrusi air laut yang masuk ke Muara Kali Lamong untuk tanggal 9 – 19 Juli 2011.

### **3.8. Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan Sistem *Neuro Fuzzy* Algoritma ANFIS**

Ada dua tahap yang sangat penting dalam membangun model *softcomputing* yaitu proses pembelajaran data (*training data process*) atau kalibrasi dan proses testing data (*testing data process*) atau verifikasi model. Proses pembelajaran data dipergunakan untuk melatih struktur *adaptive neuro fuzzy inference system*, sedangkan pengujian data digunakan untuk menilai unjuk kerja struktur ANFIS.

Menurut Spyros, dkk (1999) kriteria yang paling banyak dipakai untuk mengevaluasi unjuk kerja model dan metode-metode peramalan alternatif adalah ketepatan. Salah satu dimensi untuk mengukur ketepatan adalah rata-rata kesalahan kuadrat atau *mean square error (MSE)*. Masih menurut Spyros, dkk (1999) nilai MSE yang kecil menunjukkan bahwa rata-rata nilai proses pengujian model yang dihasilkan sangat dekat dengan nilai sebenarnya.

\

### 3.8.1. Tahap Pembelajaran Data

Hasil dari proses pembelajaran adalah perubahan parameter fungsi keanggotaan (*membership function*) dan parameter hasil proses *Least Square Estimator (LSE)*. Parameter akhir ini yang menentukan hasil keluaran jaringan yang selanjutnya keluaran jaringan dibandingkan dengan keluaran yang diinginkan, selisih nilai keluaran yang diinginkan dibandingkan keluaran jaringan disebut *error* atau kesalahan hasil proses belajar.

Tahapan pembelajaran data dari model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah data yang akan dipergunakan untuk proses pembelajaran data.
2. Melakukan proses transformasi skala jumlah data yang akan dipergunakan untuk proses pembelajaran.
3. Memasukkan data ke *input* model yang terdiri dari:
  - (a) Tinggi air laut pasang maksimum harian (H maksimum pengukuran)
  - (b) Debit hulu sungai pengamatan (Q hulu pengukuran)
  - (c) Panjang intrusi air laut pengamatan ( L intrusi pengukuran)
4. Mengatur nilai parameter *range of influence* untuk mendapatkan jumlah aturan FIS melalui proses kecocokan hasil pembelajaran data.
6. Mengatur jumlah iterasi untuk proses pembelajaran data.
7. Menguji ketepatan proses pembelajaran data (*training data*) dengan mempergunakan nilai MSE yang mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan antara nilai keluaran terhadap nilai target.

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

(3.1)

Dengan:

$X_t$  = data runtun waktu pada periode waktu ke-t,  $t = 1, \dots, N$

$\hat{X}_t$  = nilai prediksi data runtun waktu pada periode waktu ke-t,

$t = 1, \dots, N$

$P$  = periode waktu terbesar yang berpengaruh terhadap peramalan.

Jika nilai hasil proses pembelajaran data dengan indikator nilai *mean* MSE menghasilkan nilai yang cukup besar bergerak mendekati ke angka 1, maka dilakukan penyetelan kembali parameter dari nilai *range of influence* sampai tercapai kondisi nilai mendekati angka 0.

### 3.8.2. Tahap Pengujian Data

Proses pengujian data dilakukan dengan menguji sistem *neuro fuzzy* berdasarkan parameter-parameter hasil proses pembelajaran dengan cara diberikan masukan yang tidak dipergunakan untuk data proses pembelajaran. Tahapan berikutnya dilanjutkan dengan melakukan pengujian data (*testing data*) atau verifikasi model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS dilakukan dengan tata cara sebagai berikut :

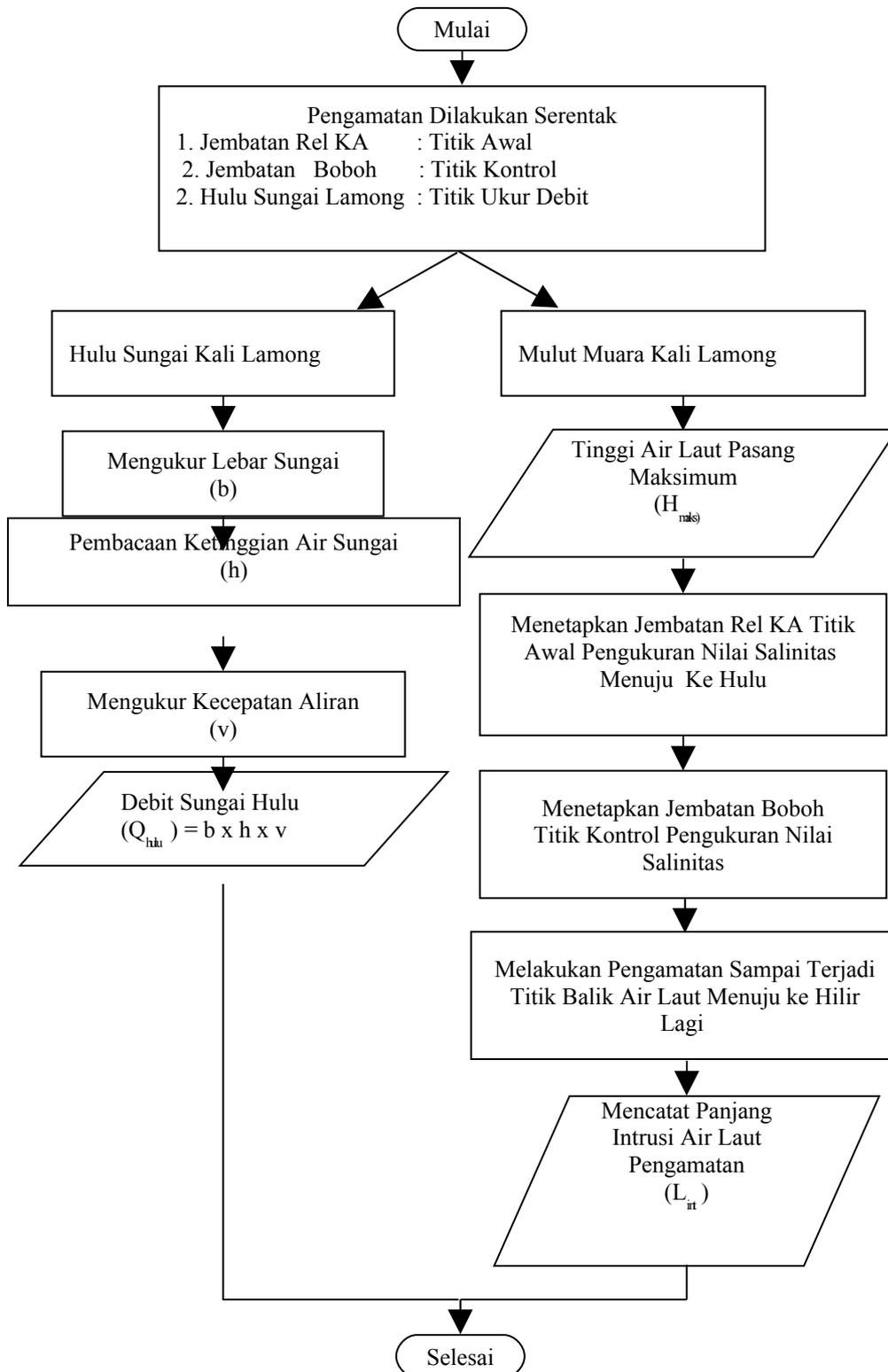
1. Menentukan jumlah data yang akan dipergunakan untuk proses pengujian data, sebaiknya data yang tidak dipergunakan untuk proses pembelajaran data.
2. Melakukan proses transformasi skala jumlah data yang akan dipergunakan untuk proses pengujian data.
3. Memasukkan data ke *input* model yang terdiri dari:
  - (a) Tinggi air laut pasang maksimum harian pengukuran (H maksimum pengukuran) dari Dinas Hidrooseanografi TNI-AL.
  - (b) Debit hulu sungai pengukuran (Q hulu pengukuran)
  - (c) Panjang intrusi air laut pengukuran (L intrusi pengukuran)
4. Menguji ketepatan proses pengujian data (*testing data*) dengan mempergunakan nilai *MSE* yang mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan antara nilai keluaran terhadap nilai target seperti pada rumus 3.1 di atas.

### 2.8.3. Tahap Pengujian Ketepatan Hasil Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Pendekatan Sistem *Neuro Fuzzy* Algoritma ANFIS.

Langkah selanjutnya dilakukan pengetesan terhadap ketepatan hasil peramalan dari model panjang intrusi air laut di Muara kali Lamong menggunakan pendekatan system *neuro fuzzy* algoritma ANFIS terhadap hasil pengukuran di lapangan. Seyogyanya data yang dipergunakan adalah data yang tidak dipergunakan untuk proses pembelajaran data ataupun proses pengujian data.

Tahapan pengetesan hasil peramalan dari model dilakukan sebagai berikut

1. Menyiapkan data yang akan dipergunakan untuk proses pengetesan ketepatan hasil model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong yang tidak dipergunakan untuk proses pembelajaran data maupun pengujian data.
2. Setelah dilakukan proses pembelajaran data dan pengujian data menggunakan program bantu Toolbox Matlab versi 7.0 dilanjutkan dengan memasukkan nilai debit hulu Kali Lamong pengukuran (Q hulu ) dan tinggi air laut pasang maksimum harian (H maksimum) ke *Menu Predict Form*. Langkah selanjutnya melakukan pengecekan hasil model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS.
3. Melakukan pencocokan hasil model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS dengan hasil pengukuran di lapangan.
4. Jika poin 3 di atas belum terpenuhi maka dilakukan kembali pengaturan dari nilai *range of influence* pada menu *training* dari sistem ANFIS program bantu Toolbox Matlab versi 7.0.



Gambar 3.8. Diagram Alir Pengukuran Data Primer Debit Hulu serta Penetapan Panjang Intrusi Air Laut di Kali Lamong, Gresik

## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Tipe Pasang Surut Di Muara Kali Lamong

Pasang surut sebenarnya merupakan akumulasi komponen-komponen gerakan akibat pengaruh benda-benda angkasa termasuk benda lain selain bulan dan matahari. Namun karena benda-benda lain tersebut jaraknya terlalu jauh dari bumi maka pengaruhnya sangat kecil dan dapat diabaikan. Tipe pasang surut di suatu tempat dapat digolongkan ke dalam tipe yang telah dikenali berdasarkan perbandingan antara jumlah amplitudo komponen diurnal  $K_1$  dan  $O_1$  dengan jumlah amplitudo komponen semi diurnal  $M_2$  dan  $S_2$ .

Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya terletak pada posisi  $07^{\circ} 2$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ} 7$  Bujur Timur. Berdasarkan Buku Daftar Pasang Surut yang dikeluarkan di Jakarta oleh Jawatan Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut (TNI-AL) tahun 2011 maka gerakan pasang surut diramalkan terhadap suatu muka surutan yang letaknya 4.9 feet dari duga tinggi (DT).

**Tabel 4.1. Konstanta Pasang Surut Dari Data Peramalan di Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya**

| Tetapan Yang Digunakan | $M_2$ | $S_2$ | $N_2$ | $K_2$ | $K_1$ | $O_1$ | $P_1$ | $M_4$ | $MS_4$ | $Z_0$ |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Amplitudo (Cm)         | 44    | 26    | 9     | 8     | 47    | 28    | 14    | -     | -      | 150   |
| $360^{\circ} g$        | 31    | 20    | 49    | 18    | 50    | 91    | 47    | -     | -      | -     |

Sumber : Dinas Hidro Oseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut Republik Indonesia (TNI - AL RI)

Berdasarkan Tabel 4.1 di atas, maka akan didapat nilai tetapan untuk nilai  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$  dan  $S_2$  sebagai berikut:

$K_1$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi bulan dan matahari sebesar 47 cm.

$O_1$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian tunggal rata-rata yang dipengaruhi oleh deklinasi matahari sebesar 28 cm.

$M_2$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh bulan sebesar 44 cm.

$S_2$  = amplitudo dari anak gelombang pasang surut harian ganda rata-rata yang dipengaruhi oleh matahari sebesar 26 cm.

Dengan menggunakan metode Admiralty maka nilai konstanta pasang surut ( F ) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} = \frac{47 + 28}{44 + 26} = \frac{75}{68} = 1.103$$

Untuk nilai konstanta pasang surut (F) sebesar 1.103 dari hasil perhitungan di atas, maka jenis pasang surut diklasifikasikan jenis pasang campuran ganda. Terdapat dua kali pasang sehari tetapi tinggi dan interval waktu antara transit bulan dan pasang naik tidak sama. Perbedaan ini mencapai maksimumnya bila deklinasi bulan telah melewati maksimumnya. Range rata-rata pada pasang purnama adalah  $2(M_2 + S_2)$ .

## **4.2. Penetapan Panjang Intrusi Air Laut Di Kali Lamong**

### **4.2.1. Tata Cara Penetapan Panjang Intrusi Air Laut Di Kali Lamong**

Bersumber dari hasil analisa data pengukuran pasang surut yang dilakukan oleh Dinas Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia – Angkatan Laut Republik Indonesia Tahun 2011, maka menurut Ghost (1999) di Muara Kali Lamong termasuk tipe pasang surut campuran cenderung ke semi diurnal. Air laut mencapai jam puncak pasang maksimum pada tanggal 8 Juli 2011 sebanyak dua kali dan akan terjadi pada jam 09.00 pagi dan jam 24.00 malam.

Lokasi pengukuran perjalanan lidah air asin diambil di 2 titik lokasi sepanjang Kali Lamong yaitu, Jembatan Rel Kereta Api (kurang lebih 18.700 km mulut Muara Kali Lamong) sebagai titik awal aktif pengukuran dan Jembatan Boboh (kurang lebih 20.500 km mulut Muara Kali Lamong) sebagai titik kontrol tetap pengukuran nilai salinitas menggunakan alat *conductivity meter*.

Dalam penelitian ini, interval waktu deteksi penjalaran air laut yang masuk ke Kali Lamong dilakukan 4 jam sebelum dan 4 jam setelah air laut mencapai puncak pasang harian tertinggi di mulut Muara Kali Lamong, sehingga jam pengukuran yang dilakukan adalah antara jam 05.00 pagi sampai jam 13.00 siang (8 jam).

Tujuan utama pengambilan interval waktu, untuk menghindari kesalahan serta kelambatan pengamatan di Kali Lamong pada saat terjadi proses titik balik air laut kembali menuju ke hilir (atau menuju ke laut kembali) sebagai dasar titik tetap pengukuran panjang intrusi air laut yang terjadi ( $L$  intrusi) dalam km.

Pengamatan dilakukan saat kondisi air laut mencapai puncak pasang harian di mulut Muara Kali Lamong ( $H_{maks}$ ) pada jam 09.00 WIB pagi (lihat Gambar 4.3). Untuk selanjutnya air laut yang masuk ke Kali Lamong diukur nilai salinitasnya di Jembatan Rel Kereta Api (kurang lebih 18.700 km dari mulut Muara Kali Lamong). Lihat Gambar 4.1 seperti di bawah ini:



Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian Di Muara Kali Lamong

**Gambar 4.1 Titik Awal Lokasi Pengukuran Salinitas Di Jembatan Rel KA**

Menurut Anwar (1998) mengklasifikasikan tingkat keasinan berdasarkan nilai hasil pengukuran salinitas menggunakan alat *conductivity meter*. Untuk selanjutnya klasifikasi tingkat keasinan disajikan seperti pada Tabel 4.2 dibawah ini:

**Tabel 4.2. Klasifikasi Tingkat Keasinan Air**

| No | Klasifikasi Dari Air | Tahanan dari Alat <i>Conductivity Meter</i> ( 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  | <i>Brine</i>         | > 17.50  | > 10.50                     |

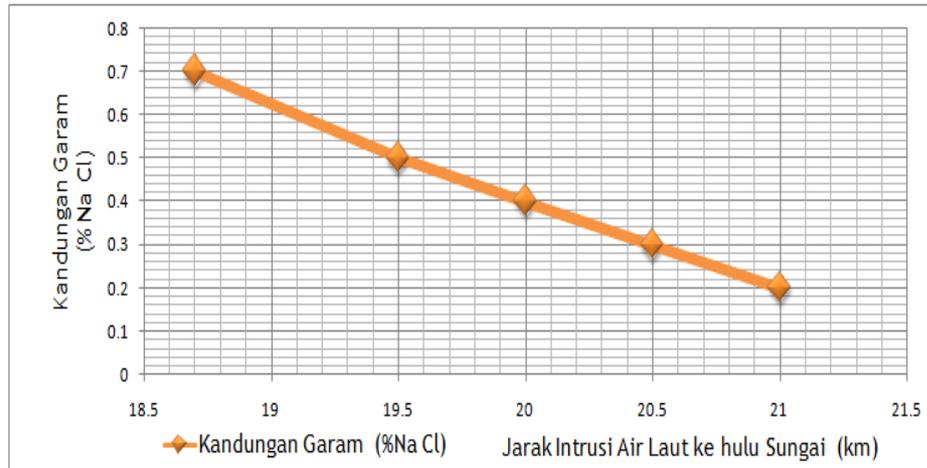
Sumber : Anwar (1998)

Perahu yang dilengkapi dengan alat *conductivity meter* bergerak menuju ke arah hulu Kali Lamong. Pembacaan nilai salinitas dilakukan secara kontinyu dan dilakukan secara menerus sampai titik lokasi pengukuran mendekati nilai 0,2 (air sudah kondisi tawar) dan titik balik air laut menuju ke laut (hilir). Diskripsi hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.2 seperti di bawah ini:

**Tabel 4.3. Hubungan Antara Nilai Salinitas Terhadap Perubahan Jarak Pengukuran**

| No | Jam Pasang Surut Di Mulut Muara | Tinggi Pasang Surut Di Mulut Muara (m) | Posisi Pengukuran Salinitas Dari Mulut Muara (km) | Kandungan Garam ( % Na Cl ) |
|----|---------------------------------|--|---|-----------------------------|
| 1  | 09.00                           | 2.7                                    | ±18.700   | 0.7                         |
| 2  | 10.00                           | 2.6                                    | ±19.500   | 0.5                         |
| 3  | 11.00                           | 2.4                                    | ±20.00  | 0.4                         |
| 4  | 12.00                           | 2.0                                    | ±20.500   | 0.3                         |
| 5  | 13.00                           | 1.5                                    | ±21.00  | 0.2                         |

Sumber: Hasil Pengukuran di Lokasi Jembatan Rel Kereta Api (18.700 km Dari Mulut Muara Kali Lamong).



Sumber : Hasil Pengukuran 8 Juli 2011 di Muara Kali Lamong

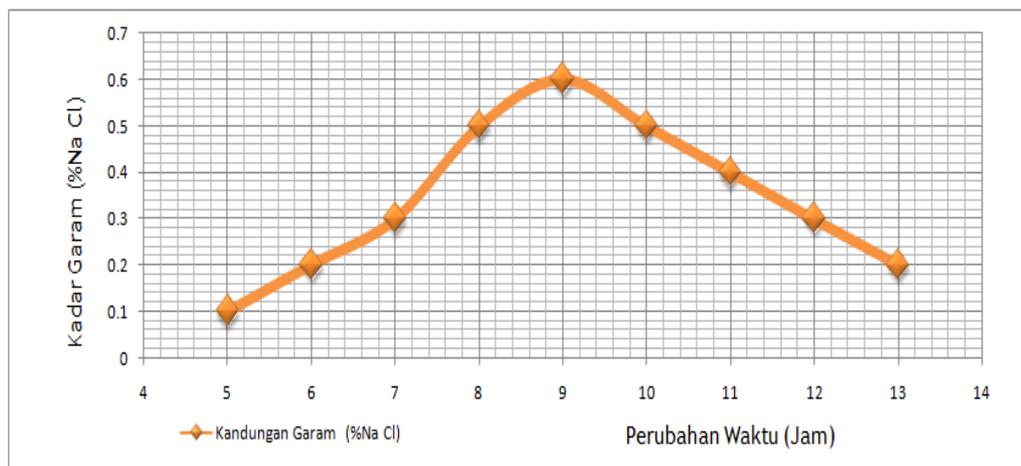
**Gambar 4.2. Grafik Hubungan Nilai Salinitas Terhadap Perubahan Jarak Pengukuran**

Selain dilakukan pengukuran nilai salinitas di Jembatan Rel Kereta Api seperti yang dijelaskan di atas, pada penelitian ini juga dilakukan kontrol tetap pengukuran salinitas di Jembatan Boboh (kurang lebih 20.500 km dari mulut Muara Kali Lamong). Tujuan utama dilakukannya titik kontrol tetap pengukuran salinitas di Jembatan Boboh untuk menghindari terjadinya kesalahan pengamatan dan keterlambatan penetapan panjang intrusi air laut sehingga hasil pengukuran lebih cermat dan teliti. Untuk hasil pengukuran nilai salinitas pada titik kontrol tetap di Jembatan Boboh disajikan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 seperti dibawah ini:

**Tabel 4.3. Hubungan Antara Nilai Salinitas Terhadap Perubahan Waktu**

| No | Jam Pasang Surut Di Mulut Muara | Tinggi Pasang Surut Di Mulut Muara (m) | Posisi Pengukuran Salinitas Dari Mulut Muara (km) | Kandungan Garam (% Na Cl) |
|----|---------------------------------|--|---|---------------------------|
| 1  | 05.00                           | 1.80                                   | ±20.500   | 0.10                      |
| 2  | 06.00                           | 2.10                                   | ±20.500   | 0.20                      |
| 3  | 07.00                           | 2.40                                   | ±20.500   | 0.30                      |
| 4  | 08.00                           | 2.60                                   | ±20.500   | 0.50                      |
| 5  | 09.00*                          | 2.70                                   | ±20.500   | 0.60                      |
| 6  | 10.00                           | 2.60                                   | ±20.500   | 0.50                      |
| 7  | 11.00                           | 2.40                                   | ±20.500   | 0.40                      |
| 8  | 12.00                           | 2.00                                   | ±20.500   | 0.30                      |
| 9  | 13.00                           | 1.50                                   | ±20.500   | 0.20                      |

Sumber: Hasil Pengukuran Kontrol Tetap Nilai Salinitas di Lokasi Jembatan Boboh Pada Tanggal 8 Juli 2011 .



Sumber : Hasil Pengukuran di Lokasi Jembatan Boboh Tanggal 8 Juli 2011 .

**Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara Nilai Salinitas Dengan Perubahan Waktu**

Dari hasil pemantauan nilai salinitas pada jam 12.00 WIB pada tanggal 8 Juli 2011 di Jembatan Boboh adalah sebesar 0.30 %. Menurut Tabel 4.2 di atas, diklasifikasikan peralihan antara kondisi tawar dan agak payau dalam kondisi tawar.

#### 4.2.2 Lokasi Pengukuran Debit Hulu Kali Lamong

Lokasi pengukuran debit hulu di Kali Lamong dipilih pada ruas penampang sungai di hulu Kali Lamong (kurang lebih 21.500 km dari mulut

Muara Kali Lamong). Sebelum dilakukan analisa debit hulu Kali Lamong terlebih dahulu dilakukan pengukuran lebar sungai pada penampang terpilih sebagai dasar pendiskripsian hubungan antara nilai kedalaman air rata-rata terhadap perubahan waktu pengukuran. Untuk hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 4.5 seperti di bawah ini.

**Tabel 4.5. Hubungan Antara Jam Pengukuran Terhadap Perubahan Nilai Kedalaman Air Rata – Rata.**

| No | Jam Pengukuran | Kedalaman Air Rata-Rata (m) | Lebar Sungai (m) | Luas Penampang Basah Sungai (m <sup>2</sup> ) |
|----|----------------|-----------------------------|------------------|---|
|    | 1              | 2                           | 3                | 4 = (2).(3)                                   |
| 1  | 05.00          | 0.40                        | 10.0             | 4.00  |
| 2  | 06.00          | 0,38                        | 10.0             | 3.80  |
| 3  | 07.00          | 0.39                        | 10.0             | 3.90  |
| 4  | 08.00          | 0.42                        | 10.0             | 4.20  |
| 5  | 09.00          | 0.43                        | 10.0             | 4.30  |
| 6  | 10.00          | 0.40                        | 10.0             | 4.00  |
| 7  | 11.00          | 0.39                        | 10.0             | 3.90  |
| 8  | 12.00          | 0.37                        | 10.0             | 3.70  |

Sumber: Hasil Pengukuran Di Hulu Kali Lamong Pada Tanggal 8 Juli 2011

Selanjutnya dilakukan pengukuran kecepatan air terhadap perubahan waktu dengan menggunakan alat *current meter* yang hasilnya selengkapnya disajikan pada Tabel 4.6 seperti di bawah ini:

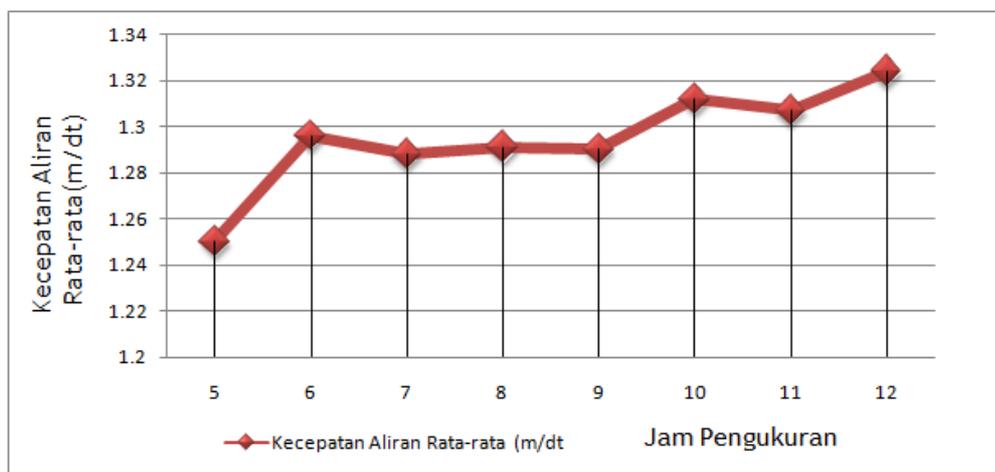
**Tabel 4.6. Data Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Rata – Rata Terhadap Perubahan Jam Pengukuran.**

| No | Jam Pengukuran | Kecepatan Air Rata-Rata (m /dt ) | Luas Penampang Basah Sungai (m <sup>2</sup> ) | Debit Aliran Hulu Sungai (m <sup>3</sup> /dt ) |
|----|----------------|----------------------------------|---|--|
|    | 1              | 2                                | 3   | 4 = (2).(3)                                    |
| 1  | 05.00          | 1.250                            | 4.00  | 5.00   |
| 2  | 06.00          | 1.296                            | 3.80  | 4.93   |
| 3  | 07.00          | 1.288                            | 3.90  | 5.02   |

|   |       |       |      |      |
|---|-------|-------|------|------|
| 4 | 08.00 | 1.291 | 4.20 | 5.42 |
| 5 | 09.00 | 1.290 | 4.30 | 5.55 |
| 6 | 10.00 | 1.312 | 4.00 | 5.25 |
| 7 | 11.00 | 1.307 | 3.90 | 5.10 |
| 8 | 12.00 | 1.324 | 3.70 | 4.90 |

Sumber: Hasil Pengukuran Di Hulu Kali Lamong Pada Tanggal 8 Juli 2011

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.6 di atas, maka dapat disusun grafik hubungan antara kecepatan air rata-rata dengan waktu pengukuran seperti pada Gambar 4.7 di bawah ini:



Sumber : Hasil Pengukuran Pada Tanggal 8 Juli 2011 di Hulu Kali Lamong

**Gambar 4.7. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Air Rata-Rata Dengan Waktu Pengukuran**

Masih berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.6 di atas, Setelah terjadi puncak pasang tertinggi pada jam 09.00 siang maka nilai debit hulu Kali Lamong berkisar antara 4.99 sampai 5.55 m<sup>3</sup>/dt.



Sumber : Hasil Pengukuran Pada Tanggal 8 Juli 2011 di Hulu Kali Lamong

**Gambar 4.8. Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Hulu Kali Lamong Dengan Waktu Pengukuran**

Selanjutnya dengan langkah perhitungan yang sama seperti prosedur di atas, hasil analisa debit untuk tanggal 9-18 Juli 2011 dijadikan *input* ke sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS untuk model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong atau sebanyak 13 pasang data pengukuran, diterjemahkan pola hubungan debit hulu Kali Lamong ( $Q_{\text{hulu}}$ ), tinggi air laut pasang maksimum harian ( $H_{\text{maks}}$ ) dan panjang intrusi air laut ( $L_{\text{intrusi}}$ ). Selanjutnya hasil pengukuran disajikan seperti pada Tabel 4.7 di bawah ini:

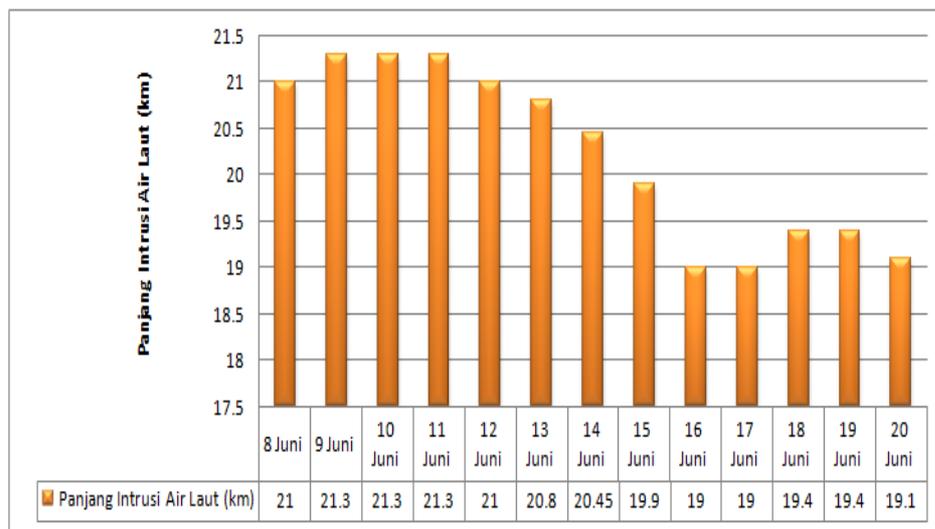
**Tabel 4.7. Pola Hubungan Antara Debit Hulu Kali Lamong Pengamatan ( $Q_{\text{hulu}}$ ), Tinggi Air Laut Pasang Maksimum Harian ( $H_{\text{maks}}$ ) dan Panjang Intrusi Air Laut ke Hulu ( $L_{\text{intrusi}}$ )**

| No | Tgl-Bln-Thn Pengukuran | $Q_{\text{hulu}}$ (m <sup>3</sup> /dt) | $H_{\text{maks}}$ (m) | $L_{\text{pengukuran}}$ (km) |
|----|------------------------|--|-----------------------|------------------------------|
|    |                        |  |                       |                              |

|    |           |      |      |       |
|----|-----------|------|------|-------|
| 1  | 8-7-2011  | 5.55 | 2.70 | 21.00 |
| 2  | 9-7-2011  | 4.95 | 2.80 | 21.30 |
| 3  | 10-7-2011 | 4.90 | 2.80 | 21.30 |
| 4  | 11-7-2011 | 4.92 | 2.80 | 21.30 |
| 5  | 12-7-2011 | 5.25 | 2.70 | 21.00 |
| 6  | 13-7-2011 | 5.80 | 2.60 | 20.80 |
| 7  | 14-7-2011 | 6.20 | 2.40 | 20.45 |
| 8  | 15-7-2011 | 6.50 | 2.20 | 19.90 |
| 9  | 16-7-2011 | 6.70 | 1.90 | 19.00 |
| 10 | 17-7-2011 | 6.75 | 1.90 | 19.00 |
| 11 | 18-7-2011 | 6.60 | 2.00 | 19.40 |
| 12 | 19-7-2011 | 6.90 | 2.00 | 19.40 |

Sumber : Hasil Pengukuran di Muara Kali Lamong Tanggal 8 - 19 Juli 2011

Sedangkan pola hubungan antara panjang intrusi air laut (L) dengan seri waktu pengukuran dari tanggal 8-19 Juli 2011 disajikan seperti pada Gambar 4.11 di bawah ini:



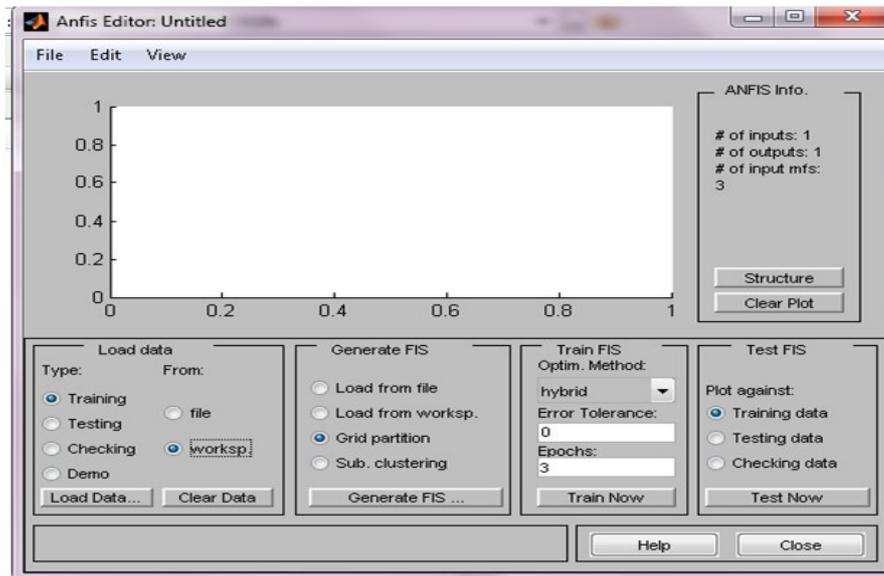
Sumber : Hasil Pengukuran di Muara Kali Lamong

**Gambar 4.11. Hubungan Antara Panjang Intrusi Air Laut Di Kali Lamong Dengan Tanggal Pengamatan**

#### 4.3. Desain Model Peramalan Intrusi Air Laut di Estuari Menggunakan Sistem *Neuro Fuzzy* Algoritma ANFIS

Program bantu Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut di Estuari menggunakan Toolbox Matlab dikembangkan oleh Riset Group Math Work Inc

menggunakan bahasa pemrograman Matlab versi 7.0. Desain model peramalan intrusi air laut di estuari menggunakan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS disajikan pada Gambar 4.12 seperti di bawah ini:



Sumber : Toolbox ANFIS Matlab versi 7.0

Gambar 4.12. Tampilan Model Peramalan Intrusi Air Laut Di Estuari Algoritma ANFIS Menggunakan Program Toolbox MATLAB Versi 7.0

Keterangan pada Gambar 4.12 di atas:

### Menu Input

1. Data *input* proses pembelajaran data
2. Data *input* proses pengujian data

### Menu Parameter Dari Sistem *Neuro Fuzzy* Algoritma ANFIS

1. *Range of influence*, parameter yang menentukan jumlah *cluster* dari *fuzzy inference system*.
2. *Squash factor*, untuk menentukan pusat *cluster* yang ada didekatnya yang mana keberadaannya tingkat *cluster* yang lainnya akan dikurangi (*default* sama dengan 1.25).
3. *Accept ratio*, untuk mengatur potensial (fraksi potensi *cluster* pertama), yang mana ada titik data lainnya yang punya potensi di atasnya akan diharapkan untuk menjadi pusat *cluster* (*default* sama dengan 0.5)

4. *Reject ratio*, untuk mengatur potensial (fraksi potensi *cluster* pertama), jika ada data titik-titik yang punya potensi dibawahnya akan di aflkir untuk menjadi pusat *cluster* (*default* sama dengan 0)

### **Menu Training Dari Sistem *Neuro Fuzzy* Algoritma ANFIS**

1. *Optimum Method*, metode optimasi yang digunakan dalam proses pelatihan bisa dipilih *hybrid* atau *backpropagation*.
  2. *Error tolerance*, besarnya error minimum yang diharapkan
  3. *Maximum epoch*, jumlah iterasi yang dipergunakan untuk proses pembelajaran dan pengujian data
- Start*, tombol yang dipergunakan untuk memulai proses pelatihan
- Reset*, tombol yang dipergunakan untuk mengatur input data pelatihan dan input data pengujian.

### Menu ANFIS Information L

1. *Count of rule*, jumlah aturan dari FIS
2. *Training MSE*, nilai mean *square error* hasil proses pembelajaran data
3. *Testing MSE*, nilai mean square error hasil proses pembelajaran data

*Structure FIS*, struktur dari FIS.

*Membership* , keanggotaan dari FIS.

*Rule FIS* , jumlah aturan FIS.

### Menu Plot

1. *Output training dan testing*, grafik hubungan antara hasil model peramalan dengan hasil pengukuran dengan jumlah data yang dipergunakan untuk proses pembelajaran data maupun pengujian data.
2. *Error training dan testing*, grafik hubungan antara error hasil model peramalan dengan hasil pengukuran dengan jumlah data yang dipergunakan untuk proses pembelajaran data maupun pengujian data

### Menu Report

1. *Report training data*, tabel hubungan antara jumlah input data pembelajaran dari model, hasil peramalan model, hasil pengukuran dan selisih nilai error yang terjadi.

2. *Report testing data*, tabel hubungan antara jumlah input data pengujian dari model, hasil panjang intrusi air laut model, hasil pengukuran dan selisih nilai error yang terjadi.

3. *Report training dan testing data*, tabel hubungan antara jumlah input pembelajaran dan pengujian dari model, hasil panjang intrusi air laut model, hasil pengukuran dan selisih nilai error yang terjadi.

Menu Predict Form

1. *Input* debit hulu pengukuran
2. *Input* tinggi air laut pasang maksimum pengukuran

*Calculate*, tombol yang dipergunakan untuk proses memulai peramalan panjang intrusi air laut di estuari

*Close*, tombol yang dipergunakan untuk mengakhiri proses meramalkan panjang intrusi air laut di estuari

#### **4.3.1. Tata Cara Penggunaan Program Bantu Toolbox Matlab Versi 7.0**

Secara garis besar langkah-langkah penggunaan program bantu Toolbox Matlab Versi 7.0 untuk kebutuhan peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* struktur ANFIS adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan data pembelajaran ke *workspace* dengan nama TRAINING
2. Memasukkan data pengujian ke *workspace* dengan nama TESTING
3. Memasukkan data pengujian ke *workspace* dengan nama CEKING
4. Memasukkan parameter *range of influence* melalui Menu *Parameter*
5. Memasukkan parameter jumlah *maksimum epoch* ke menu *Training*
6. Melakukan pengecekan terhadap hasil nilai *mean square error* untuk tahap pembelajaran data/ kalibrasi ataupun pengujian data/verifikasi.
7. Memasukkan nilai debit hulu sungai ( $Q$  hulu sungai) dalam  $m^3/dt$  dan tinggi air laut pasang maksimum harian ( $H_{maks}$ ) dalam m adalah hasil pengukuran data yang tidak dipergunakan proses pembelajaran data atau pengujian ke dalam Menu *Predict*
8. Setelah poin 6 dilakukan, maka hasil peramalan panjang intrusi air laut di estuari akan di dapat dengan menu *Hasil Peramalan*. Jika antara hasil model dan

hasil pengukuran belum cocok maka dilakukan proses *trial* dan *error* dengan merubah nilai parameter *range of influence* sampai didapatkan hasil antara model akan sama atau mendekati hasil pengukuran.

#### **4.3.2. Pengembangan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong Berdasarkan Hasil Pengukuran Tanggal 8-19 Juli 2011 Menggunakan Program Bantu Toolbox Matlab versi 7.0**

Tahap awal penyusunan model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong dibangun menggunakan data hasil pengukuran debit hulu yang relatif konstan yang berlawanan dengan tinggi air laut puncak pasang harian di mulut Muara Kali Lamong dari tanggal 8-19 Juli 2008 seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.7 di atas.

Ada dua tahap yang sangat penting pada proses peramalan menggunakan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS yaitu proses pembelajaran data (*training data process*) dan proses pengujian data (*testing data process*). Aplikasi dengan sistem *neuro fuzzy* struktur ANFIS membutuhkan data pembelajaran dan data pengujian. Keduanya berisi pola *input/output*. Jika pembelajaran data dipergunakan untuk melatih struktur ANFIS, pengujian data digunakan untuk menilai unjuk kerja struktur ANFIS.

Untuk mendapatkan uji terbaik pada unjuk kerja struktur ANFIS sebaiknya berbeda dengan data untuk pembelajaran. Proses pembelajaran dilakukan dengan menggunakan sejumlah data. Secara umum semakin banyak jumlah data pembelajaran, semakin akurat dan adaptif hasil peramalan yang diperoleh.

Tata urutan implementasi model peramalan intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan program bantu Toolbox Matlab versi 7.0 adalah sebagai berikut:

##### **1. Memasukkan *Input Data* Untuk Proses Pembelajaran Data**

Memasukkan data hasil pengukuran dari tanggal 8 - 15 Juli 2011 atau sebanyak 9 seri data pengukuran di Muara Lamong meliputi :

- (a) Data hubungan antara tinggi air laut pasang maksimum harian ( $H_{maks}$ ) di hilir Kali Lamong dengan tanggal pengukuran dari tanggal 8-19 Juli 2011 (Lihat Gambar 4.9 di atas)
- (b) Data hubungan antara debit ( $Q$ ) di hulu Kali Lamong dengan tanggal pengukuran dari tanggal 8 - 16 tahun 2011 (Lihat Gambar 4.10 di atas)
- (c) Data hubungan antara panjang intrusi air laut ( $L$ ) dengan tanggal pengamatan mulai dari tanggal 1ai 10 Juli 2011 (Lihat Gambar 4.11 di atas)

Poin (a), (b) dan (c) tersebut di atas, dijadikan sebagai data masukan model Toolbox Matlab versi 7.0 untuk proses pembelajaran data pada *Menu Input* melalui *workspace* TRAINING .

## 2. **Masukkan *Input* Data Untuk Proses Pengujian Data**

Memasukkan data hasil pengukuran dari tanggal 17 - 19 Juli 2011 atau sebanyak 3 seri data pengukuran di Muara Lamong meliputi :

- (e) Data hubungan antara tinggi air laut pasang maksimum harian ( $H_{maks}$ ) di hilir Kali Lamong dengan tanggal pengukuran dari tanggal 17 – 19 Juli 2011 (Lihat Gambar 4.9 di atas )
- (f) Data hubungan antara debit ( $Q$ ) di hulu Kali Lamong dengan tanggal pengukuran dari tanggal 17-19 Juli 2011 (Lihat Gambar 4.10 di atas)
- (g) Data hubungan antara panjang intrusi air laut ( $L$ ) dengan tanggal pengamatan mulai dari tanggal 17-19 Juli 2011 (Lihat Gambar 4.11 di atas)

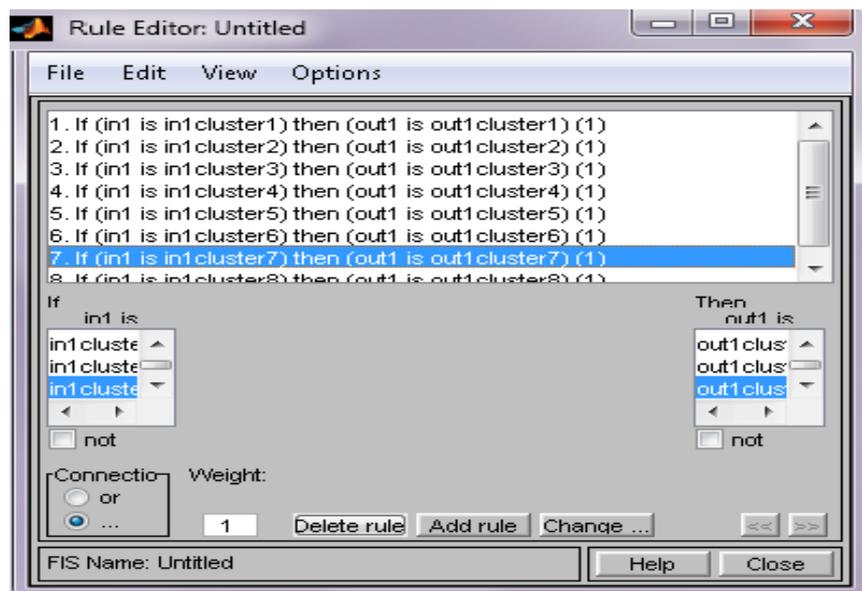
Poin (e), (f) dan (g) tersebut di atas, dijadikan sebagai data *input* model untuk proses pengujian data yang selanjutnya dimasukkan pada *Menu Input* melalui *Workspace* TESTING DATA.

Setelah menetapkan jumlah masukan data untuk proses pembelajaran dan pengujian data yang dimasukkan pada program bantu Toolbox Matlab versi 7.0 maka dilanjutkan proses pembelajaran (*training process*) dengan langkah sebagai berikut :

- 3 Melakukan pengaturan nilai parameter *range of influence* ke Menu Parameter. Dicoba dengan memasukkan nilai parameter *range of influence* sebesar  $10^{-17}$ .
- 4 Melakukan pengaturan pada Menu Training.
  - (a) Memilih *hybrid (logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan)* pada *Optimum Method*.
  - (b) Memilih nilai 0 pada *Error Tolerance*
  - (c) Menetapkan jumlah iterasi pada *Maximum Epoch* dipergunakan sebanyak 3 iterasi.

Dengan menggunakan program bantu Matlab versi 7.0 pada tahap pembelajaran (*training*) yang mendiskripsikan pola hubungan antara parameter nilai *range of influence* terhadap perubahan jumlah aturan FIS, nilai kriteria kecocokan menggunakan *mean square error* untuk proses pembelajaran maupun pengujian data. Jumlah aturan *fuzzy inference system (FIS)* yang terbentuk serta hasil proses pembelajaran dan pengujian data pada pentahapan pembangunan model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* struktur ANFIS dapat dijelaskan hasilnya sebagai berikut:

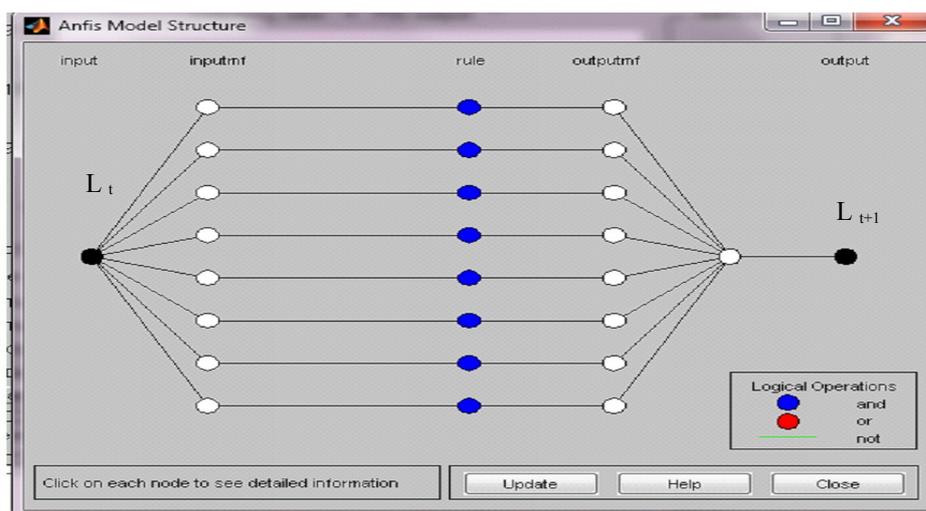
1. Dengan menetapkan nilai parameter *range of influence* sebesar  $10^{-17}$  sistem menghasilkan jumlah aturan FIS sebanyak 12 buah aturan. Untuk selanjutnya 8 buah aturan FIS yang tersusun, dijelaskan pada Gambar 4.14 seperti di bawah ini :



Sumber : Hasil Running Program

**Gambar 4.14. Jumlah Aturan FIS Untuk Nilai *Range of Influence*  $10^{-17}$  Menggunakan Pendekatan Struktur ANFIS Di Muara Kali Lamong.**

Masih berdasarkan data hasil pada Gambar 4.14 di atas, maka dapat disusun struktur model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* struktur ANFIS adalah sebagai berikut :



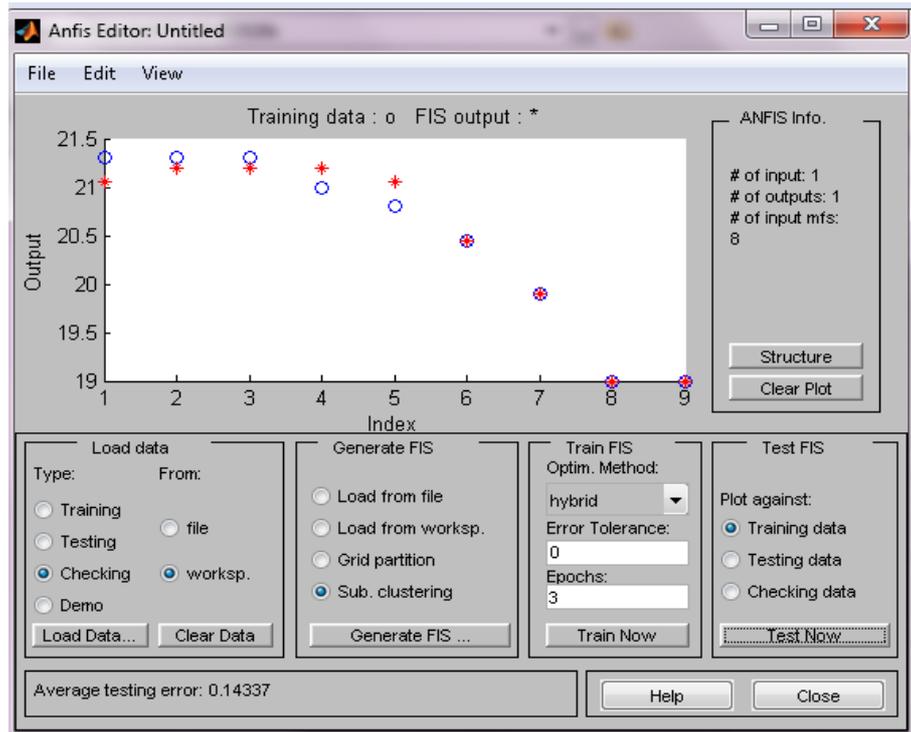
Sumber : Hasil Running Program

**Gambar 4.15. Konfigurasi Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong Menggunakan Struktur ANFIS Untuk Pengukuran dari Tanggal 8 - 19 Juli 2011.**

Konfigurasi model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan ANFIS yang diekspresikan menggunakan Gambar 4.15 tersebut di atas, dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Lapis 1.** Jumlah masukan (*input*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS terdiri dari 1 masukan (*input*) data hasil pengukuran panjang intrusi air laut pasang maksimum harian ( $L_t$ ).
- Lapis 2.** Pembentukan masukan fungsi keanggotaan (*input membership function*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan struktur ANFIS berdasarkan jumlah data hasil pengukuran panjang intrusi air laut pada saat air laut pasang maksimum harian ( $L_t$ ) sebanyak 12 data.
- Lapis 3.** Jumlah aturan FIS yang terbentuk dari model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan struktur ANFIS adalah sebanyak 8 buah aturan yang terbentuk (lihat Gambar 4.14 di atas)
- Lapis 4.** Pembentukan keluaran fungsi keanggotaan (*output membership function*) dari model peramalan panjang intrusi air laut di estuari menggunakan struktur ANFIS sebanyak 8 data (lihat pada Gambar 4.15).
- Lapis 5** Hasil dari peramalan panjang intrusi air laut di estuari untuk satu hari ke depan ( $L_{t+1}$ ) menggunakan model ANFIS.

Proses pembelajaran data menggunakan kriteria *mean square error* adalah 0.14. Hasil pembelajaran data model peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong, diekspresikan menggunakan grafik hubungan antara pembelajaran data dan FIS *output* disajikan pada Gambar 4.16 di bawah ini.



Sumber : Hasil Running Program

**Gambar 4.16. Hubungan Antara Hasil Pembelajaran Data dan FIS Output Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong**

Masih bersumber Gambar 4.16 di atas, selanjutnya dilakukan proses pengujian data menggunakan kriteria MSE yang hasilnya adalah sebesar 0.15.

Setelah dilakukan pembelajaran dan pengujian data, langkah selanjutnya dilakukan verifikasi terhadap ketepatan hasil peramalan dari model panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS terhadap hasil pengukuran di lapangan. Data yang dipergunakan untuk menguji ketepatan adalah data yang tidak dipergunakan untuk proses pembelajaran data (tanggal 8 -16 Juli 2011) ataupun proses pengujian data (tanggal 17 - 19 Juli 2011) sehingga data yang dipergunakan untuk menguji ketepatan hasil model adalah data hasil pengukuran pada tanggal 20 Juli 2011.

Memasukkan data hasil pengukuran pada tanggal 20 Juli 2011 di Muara Lamong dijadikan sebagai data *input* model untuk menguji ketepatan/akurasi hasil peramalan panjang intrusi air laut di Muara Kali Lamong menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma ANFIS. Susunan data disajikan pada Tabel 4.8 seperti di bawah ini:

**Tabel 4.8. Susunan Data Yang Dipergunakan Untuk Menguji Ketepatan Hasil Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong Menggunakan Algoritma ANFIS**

| No | Tgl-Bln-Thn<br>Pengukuran | Q-hulu<br>(m <sup>3</sup> /dt) | H-max<br>(m) | L-pengukuran<br>(km) |
|----|---------------------------|--------------------------------|--------------|----------------------|
| 13 | 20-7-2011                 | 5.80                           | 2.50         | 19.10                |

Sumber: Hasil Pengukuran di Muara Kali Lamong Pada Tanggal 20 Juli 2011

Hasil peramalan jarak intrusi air laut yang masuk ke Muara Kali Lamong yang terjadi menggunakan program bantu Toolbox Matlab versi 7.0 adalah sepanjang 19.10 km dari mulut muara Kali Lamong. Masih berdasarkan Tabel 4.9 di atas, maka selisih antara hasil pengukuran panjang intrusi air laut yang masuk di Kali Lamong pada tanggal 20 Juli 2008 sebesar 19.00 km berkisar kurang lebih 0.1 km atau 100 m bila dibandingkan dengan hasil peramalan panjang intrusi air laut dari model dengan menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* struktur ANFIS.

Hasil Pengembangan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong berdasarkan hasil data primer pengukuran yang dilakukan dari tanggal 8 – 19 Juli 2011 menggunakan Sistem *Neuro Fuzzy* Struktur ANFIS dapat disusun pada Tabel 4.9 seperti di bawah ini.

**Tabel 4.9. Konfigurasi Hasil Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Muara Kali Lamong Menggunakan Algoritma ANFIS**

| No | Input dan Output Program Bantu Toolbox Matlab Versi 7.0      | Pengukuran Tanggal 8 - 19 Juli 2011 |
|----|--|-------------------------------------|
| 1  | Input range of influence                                     | $10^{-17}$                          |
| 2  | Input max epoch  | 3                                   |
| 3  | Output Jumlah aturan FIS                                     | 8                                   |
| 4  | Output nilai MSE pada proses pembelajaran data               | 0.14                                |
| 5  | Output nilai MSE pada proses pengujian data                  | 0.15                                |
| 6  | Output nilai hasil peramalan dari model di Muara Kali Lamong | 19.10 km                            |
| 7  | Nilai hasil pengukuran di Muara Kali Lamong                  | 19.00 km                            |

Sumber : Hasil Running Program Menggunakan Program Matlab versi 7.0

## BAB 5

## KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan hasil penelitian yang berjudul Pengembangan Model Peramalan Panjang Intrusi Air Laut Di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing , maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter *range of influence* mempunyai pengaruh signifikan terhadap ketepatan hasil peramalan panjang intrusi air laut di estuari periode musim kemarau menggunakan pendekatan sistem *neuro fuzzy* algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system*.
2. Model dengan algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system* memiliki jangkauan ketepatan peramalan satu hari ke depan untuk digunakan sebagai peramalan panjang intrusi air laut di estuari periode musim kemarau.
3. Merujuk hasil kesimpulan poin 2 di atas, maka konfigurasi model peramalan panjang intrusi air laut menggunakan sistem neuro fuzzy algoritma ANFIS seperti berikut di bawah ini :

$L_{t+h} = ( \text{Masukan} : H_t, Q_t, \text{ dan } L_t ; \text{ Sistem ANFIS} : \text{perubahan nilai parameter } \textit{range of influence} \text{ terhadap jumlah aturan } \textit{fuzzy inference system}, \text{ nilai } \textit{mean square error} \text{ pembelajaran data, pengujian data dan ketepatan hasil peramalan} )$ .

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan di atas, maka penulis menyampaikan saran guna kesempurnaan penelitian di masa mendatang adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil kesimpulan pada poin 2 di atas, maka diperlukan penelitian berkelanjutan studi model peramalan panjang intrusi air laut di estuari dalam upaya pengelolaan sumberdaya air di muara sungai. Semisal model yang mampu digunakan untuk kebutuhan peramalan 2 hari ke depan dan seterusnya.
2. Kelemahan mendasar program bantu Toolbox Matlab 7.0 adalah proses parameter nilai masukan (*input*) *range of influence* yang masih dilakukan dengan cara *trial* dan *error*. Dalam rangka peningkatan efisiensi penggunaan model, perlunya dilakukan penelitian dengan cara mengintegrasikan masukan (*input*) parameter *range of influence* ke piranti lunak secara otomatis sehingga muncul *hybrid system* baru.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, N., (1998), *Environmental Hydraulic Aspects in Lamong River and Fish Ponds*, Unpublished Ph.D Dissertation, Toyo University, Japan.
- Fausset, L,(1996), *Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Iriawan, N., (2005), *Pengembangan Simulasi Stokhastik Dalam Statistika Komputasi Data Driven*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Statistik Komputasi dan Proses Stokhastik Pada Jurusan Statistik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Gelley, N., dan Jang, R, (2000), *Fuzzy Logic Toolbox for Use With Matlab*, the Math Work Inc, New York
- Isnugroho, (1988), ”*Penanggulangan Pengaruh Air Asin Di Muara Bengawan Solo*”, dalam Seminar *Hidraulika dan Hidrologi Wilayah Pantai Pusat Antar universitas (PAU) Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta, 7-8 Nopember 1988
- Isnugroho, (2002), ”*Sistem Pengelolaan Sumberdaya Air Dalam Suatu Wilayah*”, dalam *Pengelolaan Sumber Daya Air Dalam Otonomi Daerah* eds. Kodoatie, R.J., Suharyanto, Edhisono, S., Sangkawati S., Penerbit Andi, Yogyakarta, hal 90-99.
- Jang, J.S.R, (1993), “*ANFIS: Adaptive Network Based Fuzzy Inference System*”, Journal IEEE Transaction on System Man and Cybernetic, volume 23 nomor 3, halaman 665- 685.
- Jang, J.S.R., Sun C.T. dan Mizutani, E., (1997), *Neuro Fuzzy and Soft Computing*. Prentice Hall, London.
- Kusumadewi, S dan Hartati, S,(2006), *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Legowo, S, (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 (ITB), Bandung.
- Liu, W.C., Chen, W.B., Cheng, R.T., Hsu, M.H.,dan Kuo, A.Y., (2007), “*Modeling the Influence of River Discharge on Salt Intrusion and Residual*

- Circulation in Denshuei River Estuary, Taiwan*”, Journal of Continental Shelf Research, , Volume 27, Tahun 2007, Hal 900 – 921.
- Pratikto, W.A., (1999), *Aplikasi Pemodelan Di Teknik Kelautan*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Bidang Aplikasi Numerik dan Mekanika Fluida Pada Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Kelautan (FTK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Purnomo, M.H, (2004), *Teknologi Soft Computing : Prospek dan Implementasinya Pada Rekayasa Medika dan Elektrik*, Pidato Pengukuhan Untuk Jabatan Guru Besar Dalam Ilmu *Artificial Intelligent* Pada Fakultas Teknologi Industri (TI) Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rahmat, B, (2004), *Penerapan Sistem Neuro Fuzzy Dengan Struktur Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Prediksi Curah Hujan Daerah Banyuwangi*, Jurnal Gematek Teknik Komputer STIKOM Volume 6 Nomer 2 September 2004, hal 63-72.
- Rijn, L.C.V., (1990), *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas and Oceans*, Aqua Publications Amsterdams, The Netherlands.
- Spyros, M., Wheel Wright dan Gee, M., (1999), *Metode Peramalan*, Bina Rupa Aksara, Jakarta.
- Sri Harto., (1999) , *Hidrologi Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri Offset , Yogyakarta
- Suprayogi, I, (2009), ”*Model Peramalan Intrusi Air Laut Periode Musim Kemarau di Estuari Menggunakan Pendekatan Softcomputing*”, Disertasi Doktor Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Suryadi (1986) , ”*Pengenalan Analisa Dengan Model Matematik Pada Masalah Air*”, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan No.2 Tahun,1-KW.II, Hal 3-6.
- Thatcher, M. L., dan Harleman, D.R. F., (1972), *A Mathematical Modeling For The Prediction Of Unsteady Salinity Intrusion In Estuaries*, Departement of Civil Engineering, MIT United Kingdom
- Triatmodjo, B., (1999), *Teknik Pantai*, Beta Offset, Jogjakarta

Wardoyo, W., (1991), *Perhitungan Intrusi Air Laut dengan Steady State Model di Kali Lamong*, Laporan Penelitian Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dinas Hidrooseanografi (2011), *Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia*, Jawatan Hidrooseanografi Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut Indonesia.