

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 m^3/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 $100 \text{ m}^3/\text{dt}$ dan debit $1000 \text{ m}^3/\text{dt}$ 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 sensitip terhadap pengaruh pengambilan air bersih terutama untuk debit air tawar sekitar $10 \text{ m}^3/\text{dt}$.

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 mengembangk-an 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 (C_c) 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.

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2} \quad (2.1)$$

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.

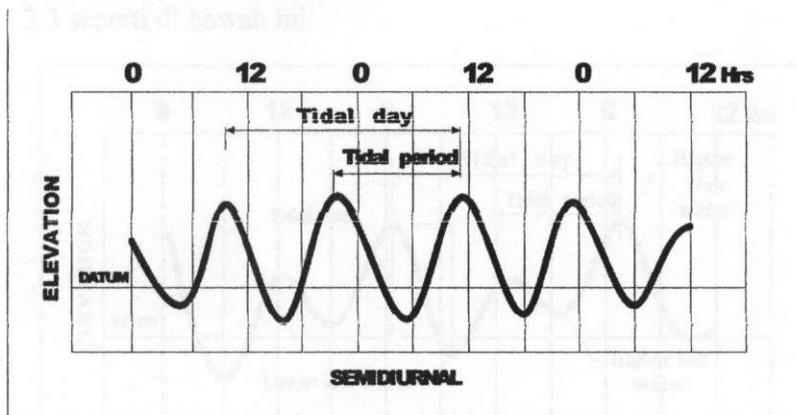
Sejalan dengan hukum Newton yang telah dikemukakan pada rumus 2.1 di atas, pengaruh matahari akan lebih kecil dari pengaruh bulan karena jarak matahari-bumi lebih jauh daripada jarak bulan-bumi. Gaya pembangkit pasang surut akibat matahari dan bulan berbanding 1: 2.18 (Legowo, 1998). Seiring dengan pergerakan 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

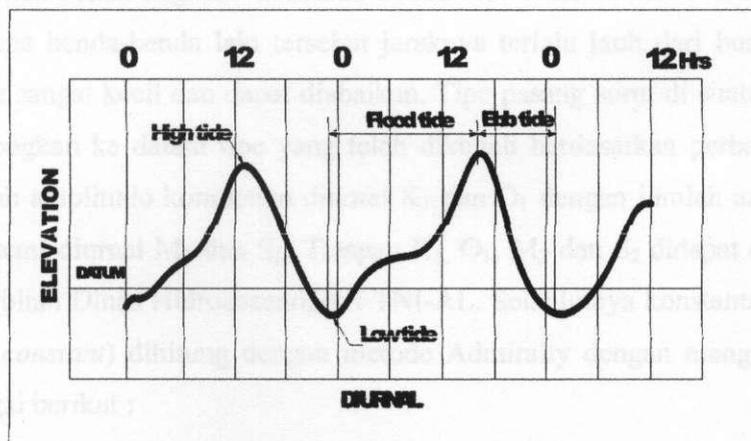


Sumber : Ghost (1999)

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 :



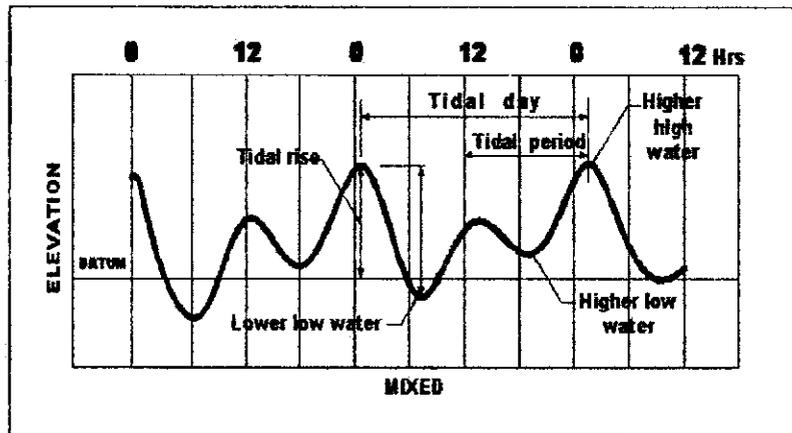
Sumber : Ghost (1999)

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 $2 (K_1 + O_1)$

