

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam memperkirakan perubahan pola arus yang mempengaruhi perubahan bentuk dasar sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, di antaranya **Sujatmoko (2006)**. Dalam memperkirakan perubahan pola arus, **Sujatmoko (2006)** melakukan penelitian menggunakan data sungai Indragiri. Dalam penelitiannya, perubahan pola arus yang diperkirakan adalah perubahan pola arus di belokan yang diakibatkan oleh adanya pengaruh arus pasang surut. Diskretisasi model sungai yang digunakan merupakan data sungai Indragiri Hulu. Model matematik yang digunakan adalah *RMA-2 software* untuk pola arus dan *SED2D software* untuk memperkirakan perubahan bentuk dasar sungai. Hasil penelitian menunjukkan kedua *software* memiliki kemampuan yang cukup baik dalam memprediksi perubahan bentuk dasar dan pola arus di belokan (baik kualitatif maupun kuantitatif).

Sujatmoko (2002), melakukan penelitian model fisik dan matematik menggunakan perangkat lunak *BOSS SMS* dalam memprediksi perilaku aliran di belokan yang dipasang bangunan krib di tepiannya. Model simulasi aliran yang digunakan adalah *FESWMS*.

Peneliti lain, **Laksni (1993)** melakukan penelitian model fisik untuk menentukan posisi dan jumlah krib tunggal yang dapat mengubah pola arus dan mereduksi angkutan sediman dasar di belokan sungai. Untuk simulasi arus digunakan model matematik metode beda hingga (menggunakan program *Prov.exe*).

Dumadi (1997), melakukan penelitian model fisik di laboratorium yaitu studi kinerja hidraulik krib terhadap pola arus dan dinamika dasar yang dipengaruhi

pasang surut pada saluran lurus. Model matematik yang digunakan adalah *software* Boss SMS dan modul RMA2.

2.2. Landasan Teori.

Aplikasi model numeris 2DH pada prediksi perubahan bentuk dasar sungai menggunakan dua perangkat lunak yang bekerja berkesinambungan. Langkah pertama penelitian adalah mensimulasi perubahan pola arus di sungai menggunakan perangkat lunak dari produk *BOSS SMS* yaitu *RMA2 software*. Setelah hasil simulasi RMA2 dianggap memadai (telah terkalibrasi), kemudian disimulasi perubahan bentuk dasar sungai dengan perangkat lunak *RMA4 software*.

2.2.1. Model Matematis Aliran Dua Dimensi

Salah satu modul perangkat lunak BOSS SMS (*Surface water Modeling System*) yaitu RMA2 versi 4.35, merupakan model numeris untuk menghitung proses hidrodinamika aliran dua dimensi pada rerata kedalaman (*depth average*). Perangkat lunak SMS merupakan *post* dan *pre-processing unit*, sedangkan RMA2 merupakan *running execution program* (Boss SMS, 1995).

2.2.1.1. Model numeris RMA2

Persamaan yang menggambarkan aliran di sungai, estuari dan badan air yang lain didasarkan pada konsep klasik konservasi massa dan momentum. Persamaan aliran 2-D horizontal (*depth averaged*) diturunkan dengan mengintegrasikan persamaan tiga dimensi transport massa dan momentum terhadap koordinat vertikal dari dasar sampai ke permukaan air, dengan asumsi bahwa kecepatan dan percepatan vertikal diabaikan. Persamaan kontinuitas dan momentum arah sumbu x dan y untuk

aliran dua dimensi rata-rata kedalaman dapat dituliskan sebagai berikut (Boss SMS, 1995):

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486 h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2.1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{\left(1.486 h^{1/6} \right)^2} \left(u^2 + v^2 \right)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi + 2h\omega v \sin \phi = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

dengan : (Sistem koordinat dan variabel yang dipakai lihat **Gambar 2.1.**)

h = kedalaman,

u,v = kecepatan pada arah sumbu x dan y

x,y,t = koordinat *cartesian* dan waktu,

ρ = rapat massa zat cair, dan g = percepatan gravitasi,

E = koefisien *Eddy Viscositas*, untuk xx adalah arah normal pada sumbu x, untuk yy adalah arah normal pada sumbu y, untuk xy dan yx adalah arah *shear* pada tiap-tiap permukaan,

a = elevasi dasar,

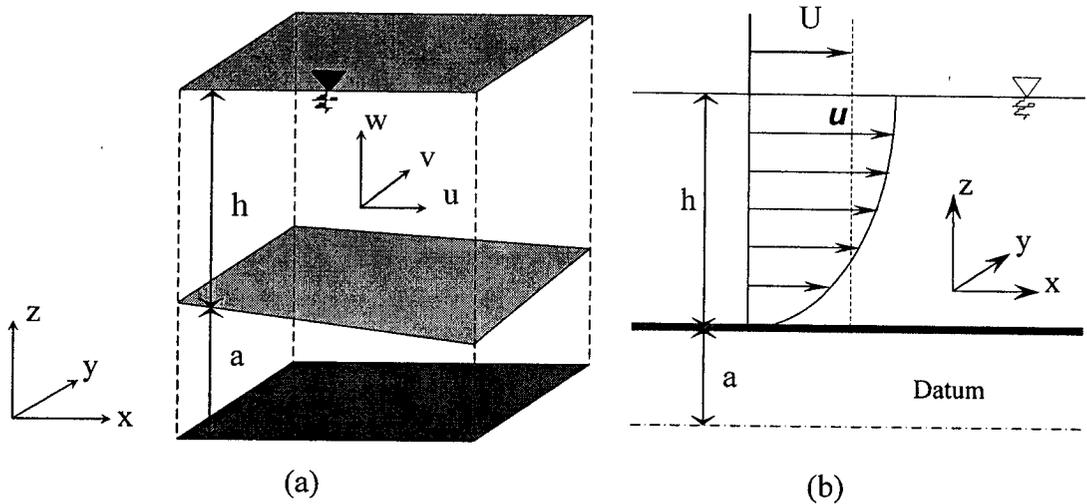
n = nilai kekasaran *Manning*,

1.486 = konversi dari *unit metric* ke *English unit*,

ζ = koefisien gesekan angin,

$V_a, \psi =$ kecepatan angin dan arah angin

$\omega, \varnothing =$ tingkat rotasi anguler bumi, dan *latitude* lokal.



Gambar 2.1. Sistem koordinat dan variabel yang dipakai (a) dan kecepatan rata-rata kedalaman pada arah sumbu x (b).

Walaupun persamaan-persamaan di atas adalah aliran tak permanen, namun problem aliran permanen dapat dihitung dengan memberi nilai nol pada suku pertama dari ketiga rumus di atas. Diskritisasi persamaan dengan menggunakan metode elemen hingga melibatkan proses iterasi, dan pada setiap iterasi dapat dilihat selisih (*error*) dari hasil iterasi sebelumnya. Nilai selisih ini dapat dipakai sebagai indikator konvergensi dari iterasi tersebut. Jumlah iterasi diatur pada saat mengisi kondisi batas (*file. bc*)

2.2.1.2. Diskritisasi Model

RMA2 *software* menggunakan metode elemen hingga Galerkin dalam menyelesaikan sistem pembentuk persamaan differensial, yang diawali dengan prosedur diskretisasi, yaitu membagi daerah penyelesaian (domain komputasi) menjadi sejumlah sub-sub domain yang lebih kecil, yang dinamakan elemen. Pada

penelitian ini, diskretisasi model menggunakan elemen gabungan segitiga 6 simpul (*six-node triangles*) dan segiempat 8 simpul (*eight-node quadrilateral*). Penyiapan data input kondisi batas (*boundary condition*), input parameter aliran dan sedimen, serta diskretisasi domain model dilakukan secara interaktif menggunakan fasilitas yang telah disediakan di *Software BOSS SMS*.

2.2.2. Model Matematis Penyebaran Polutan

Model matematik yang akan digunakan untuk kajian model penyebaran angkutan polutan di Pantura Jakarta adalah RMA4 (**R**esource **M**anagement **A**ssociates) dari Waterways Experiment Station. RMA4 merupakan model angkutan polutan yang merupakan salah satu modul SMS. Untuk menjalankannya menggunakan solusi hidrodinamik dari RMA2 untuk mendefinisikan medan kecepatan aliran. RMA4 merupakan suatu model migrasi dan dissipasi dari angkutan polutan

2.2.2.1. Model Numeris RMA4

Distribusi angkutan polutan dua dimensi dikontrol oleh mekanisme *konveksi-difusi* yang diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + u \frac{\partial hC}{\partial x} + v \frac{\partial hC}{\partial y} = -S + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + khC = 0 \quad (2.4)$$

dengan :

h = kedalaman air

u, v = kecepatan horizontal arah x dan y

C = konsentrasi polutan

D_x, D_y = koefisien difusi turbulen arah x dan y

S = *local source* atau *sink* polutan

k = laju pertambahan polutan.

Koefisien turbulensi $D_x = D_y$ secara fisis dapat didekati berdasarkan rumus berikut :

$$D = 5,93hu, \quad (2.5)$$

Angka tersebut tidak selalu dapat dipakai untuk pedoman hitungan dengan model numeris karena begitu rumitnya mekanisme turbulensi dan pengaruh adanya difusi numeris. Dalam praktek, koefisien difusi turbulen diperoleh dalam proses kalibrasi model. Jika tidak dapat dilakukan kalibrasi untuk persamaan angkutan polutan dapat digunakan persamaan tersebut atau menggunakan angka koefisien difusi turbulen polutan yang terkalibrasi di daerah terdekat atau dengan karakter aliran yang hampir sama.

2.2.2.2. Struktur perangkat lunak

Dalam kajian pola penyebaran polutan, perangkat lunak RMA4 akan digunakan. Secara operasional perangkat lunak RMA4 mempunyai *link* atau hubungan dengan RMA2, dengan demikian eksekusi dari RMA4 akan mengandalkan keluaran eksekusi perangkat lunak RMA2.

2.2.3 Bangunan Krib

Rekayasa alur sungai dengan membangun satu seri bangunan krib di daerah muara sungai akan mempengaruhi penyebaran polutan, baik polutan padat maupun polutan cair (termasuk air asin) tidak dapat diselesaikan secara teoritis karena sangat

kompleks. Salah satu metode rekayasa kecepatan di alur alur tersebut adalah dengan menggunakan bangunan (konstruksi) krib, yang fungsinya antara lain adalah :

- a. mengarahkan atau membelokkan arus sungai agar menjauhi tebing sungai,
- b. memperbesar jari-jari belokan yang terlalu tajam, sehingga *alignment* sungai menjadi lebih baik,
- c. mengarahkan aliran pada kondisi debit kecil agar dapat masuk ke bangunan pengambilan,
- d. melindungi bangunan-bangunan sungai lainnya yang terancam kestabilannya akibat erosi, misalnya tembok tepi jembatan, bendung dan sebagainya.

Umumnya bangunan krib terdiri dari urugan tanah, batu atau struktur beton.

Ditinjau dari segi bahan yang dipakai, krib dapat berupa :

- a. bronjong kawat berisi batu,
- b. tiang-tiang pancang dari kayu, beton atau baja,
- c. kombinasi barisan ganda tiang pancang, diisi batu diantaranya,
- d. bronjong dari bambu atau rotan diisi batu,

Ditinjau dari kerapatan bahannya, krib dapat dibedakan menjadi (Beckstead, 1975 dalam **Przedwojski, 1995**) : krib kedap air (*impermeable groyne*) dan krib lolos air (*permeable groyne*). Krib lolos air lebih efektif terhadap sungai dengan angkutan dasar dan sedimen dengan konsentrasi yang relatif tinggi, sehingga kalau tidak demikian endapan di sekitar krib akan berlangsung cepat. Krib kedap air biasanya digunakan untuk melindungi tebing sungai terhadap erosi dan mengarahkan arus agar *alignment* sungai yang terjadi menjadi lebih bagus. Gerusan di sekitar krib kedap air diakibatkan oleh pola aliran yang cepat berubah.

Kriteria pemilihan jenis bahan dan kerapatan krib ditentukan berdasarkan, antara lain : tujuan pemasangan, ketersediaan bahan/material di daerah setempat, biaya dan umur ekonomis yang direncanakan.

Perencanaan bangunan krib merupakan fungsi dari parameter berikut (Przedwojski, 1995) :

- a. variabel aliran, antara lain kedalaman dan aliran banjir, jumlah angkutan sediman suspensi dan angkutan sedimen dasar,
- b. parameter saluran, antara lain kemiringan dasar, kecepatan aliran sungai, sifat-sifat material dasar, dimensi umum saluran (lebar, tinggi dan kedalaman air terendah),
- c. beberapa faktor lain, seperti : adanya aliran debris selama banjir, kemungkinan kerusakan bangunan oleh gempa, ketersediaan material dan fondasi.

Dalam menentukan dimensi krib, yaitu menyangkut penentuan panjang krib, jarak antara krib, arah krib terhadap alur sungai, jumlah banjar dalam satu sistem rangkaian krib, serta elevasi puncak dan sebagainya, terdapat berbagai metode yang hampir semuanya bersifat empiris. Sehubungan dengan itu maka selain menggunakan metode empiris tadi dianjurkan pula agar diadakan studi perbandingan dengan pekerjaan-pekerjaan serupa pada lokasi atau sungai lain, dan apabila biaya tersedia dapat dibantu dengan model test. Pengalaman yang diperoleh dari problem yang sama pada sungai dengan sifat yang sama atau hampir sama mungkin dapat berguna.

Arah krib terhadap arus sungai dapat dibuat condong ke arah hulu, condong ke arah hilir, maupun tegak lurus arah aliran. Efek yang ditimbulkan akibat perubahan orientasi arah krib terhadap arah aliran kemungkinan akan lain. Arah pemasangan krib ini perlu dikaji agar pemasangan krib dapat memperoleh manfaat

optimum sesuai tujuannya. Yang jelas efek yang diharapkan dari pemasangan krib ini adalah agar aliran berubah arah.

Panjang krib tergantung pada bentuk geometri sungai yang diharapkan akan terjadi, dan tidak ada rumusan yang pasti untuk menetapkannya. Dalam upaya rekayasa suatu tepian baru misalnya, maka panjang krib ditentukan berdasarkan posisi garis tepian yang diharapkan akan terjadi kemudian. Ada indikasi bahwa perencanaan panjang krib tergantung pada besar kecilnya tingkat pengaruh yang diinginkan terhadap pola arus dan kecepatan aliran di alur utama sungai. Pada sungai-sungai dengan karakter pengikisan dasar yang besar, perlu dipertimbangkan pembuatan krib secara bertahap, mula-mula pendek dan pada tahap berikutnya diperpanjang setelah daerah tempat pijakannya terisi sedimen.

Krib kedap air dapat menyebabkan pusaran di sekitar krib dan aliran akan terkonsentrasi di alur utama sungai, hanya jika jarak krib tidak terlalu besar. Untuk menciptakan zona pusaran di antara krib, **Jansen, dkk. (1979)** mengusulkan hubungan $iL < u^2/2g$ (dengan iL adalah kehilangan energi aliran antara dua buah krib – i =kemiringan dasar saluran; L =jarak krib – yang nilainya lebih kecil dari tinggi kecepatan $u^2/2g$ – u =kecepatan aliran). Sehingga dapat ditetapkan jarak maksimum krib yang mungkin, L , dengan adanya pusaran di antara krib, diambil lebih kecil dari $C^2h/2g$ (dengan C =koefisien Chezy; h =kedalaman aliran). Nakel (1970) dan Press (1956) (dalam **Laksni, 1993**) menyatakan bahwa jarak krib dinyatakan dalam hubungannya dengan lebar sungai. Jarak maksimal antara 1 - 2 kali lebar sungai, sedang pada sungai sempit menjadi 0,5 - 1 kali lebar sungai.

Krib dapat diposisikan condong ke hulu, condong ke hilir atau tegak lurus arah aliran. Menurut Bognar, dkk. (1988) (dalam Przedwojski, 1995), krib dengan orientasi arah condong ke hilir akan lebih banyak disukai, sebab gerusan (*scouring*)

di sekitar kepala krib adalah yang terkecil dibandingkan dengan krib dengan orientasi condong ke arah hulu dan krib tegak lurus arah aliran. Masing-masing orientasi arah krib akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pola aliran. Maka dari itu, pengendapan di sekitar krib secara langsung dipengaruhi oleh orientasi arah krib terhadap aliran yang membawa sedimen. Dalam banyak pekerjaan bangunan sungai, krib dirancang sebagai pelindung tebing. Oleh karena itu, tujuan utama perancangan krib ini adalah memaksimalkan jumlah endapan antar krib. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa krib dengan arah condong ke hulu menyebabkan lebih banyak endapan di daerah yang berbatasan dengan tebing sebelah hilir krib dibandingkan dengan krib tegak lurus arah aliran.