ANALISIS ALIRAN DI BELOKAN SALURAN (STUDI MODEL FISIK DAN MATEMATIK UNTUK MENJELASKAN FENOMENA GERUSAN DI SUNGAI PALU)

M. Galib Ishak* dan I Gede Tunas*

Abstract

Local scouring phenomena in river bend, generally affected from secondary and centrifugal flow. The characteristic of flow surrounding the curve created eddies which is showed inconsistency of flow model. The effect of those flow are the differentiation of water level at closed out of divert channel. The numerical model and laboratory modeling was conducted in all research aspect. Some model used to calibrate the laboratory work and it compared with numerical model. The result of the research showed the cross section deformation. The transverse duct deformed market as the water level rise in turning canal and it is indicated from Froude number variation. The increased of surface level around the river bend was correlated to velocity. And The consequences of surface rise and flow accumulation at stream curve is river bank erosion.

Keyword: River bend, water level rise, erosions

1. Pendahuluan

Fenomena gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi di sungai terutama di sekitar belokan, umumnya sering terjadi akibat arus sekunder dan gaya sentrifugal yang bekerja pada aliran. Secara umum karakteristik aliran di sekitar belokan, ditandai dengan tidak liniernya pola arus tetapi membentuk pusaran-pusaran (*eddies*). Akibat yang ditimbulkan oleh arus dan gaya tersebut adalah terjadi perbedaan elevasi muka air pada sisi luar belokan dan sisi dalam belokan, dalam hal ini terjadi peningkatan elevasi muka air pada sisi luar belokan. Arti dari fenomena tersebut adalah karakteristik aliran di sekitar belokan adalah suatu permasalahan kompleks yang harus dianalisis dalam dua matra (2D) atau tiga matra (3D), dan sangat tidak rasional apabila dianalisis dalam 1D (Jansen, 1979).

Dalam kebanyakan kasus perencanaan dan perancangan, analisis aliran di sungai menggunakan konsep 1D sehingga mengabaikan fenomena arus sekunder dan gaya sentrifugal yang bekerja. Pengabaian ini menyebabkan tidak diperhitungkannya kenaikan elevasi muka air di sebelah sisi luar belokan, sehingga seringkali elevasi tanggul/talud di sekitar belokan terlampaui

dan menyebabkan terjadinya gerusan di sekitar belokan seperti yang terjadi di Sungai Palu bagian hilir. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik aliran di sekitar belokan untuk menjelaskan fenomena gerusan di Sungai Palu hilir.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Teori aliran di belokan saluran

Sebagaimana telah diketahui, gerakan air pada saluran terbuka yang membelok akan mengalami gaya lemparan ke sisi luar belokan yang di sebut dengan gaya sentripetal (Legono, 2003). Pada kondisi ini aliran akan berusaha bergerak keluar, tetapi angkutan massa total pada arah transversal harus sama dengan nol. Fenomena seperti inilah yang disebut fenomena aliran helikoidal yaitu suatu fenomena aliran utama searah aliran dipengaruhi oleh hadirnya aliran sekunder.

Dengan adanya fenomena ini maka terjadi interaksi antara tegangan geser (akibat aliran helikoidal) dengan tegangan geser yang menahan (akibat sifat erodibilitas penampang basah saluran) (Jansen, 1979), dampak utama akibat dari fenomena aliran helikoidal adalah terjadinya

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

serangan pada tebing saluran pada sisi luar belokan, serta pengendapan atau sedimentasi pada dasar saluran di dekat sisi dalam belokan.

Gambar 1. Aliran helikoidal di belokan sungai

Gambar 2. Erosi dan deposisi di belokan sungai

2.2 Persamaan pengatur

Untuk mendeskripsikan fenomena aliran di belokan saluran/sungai, beberapa persamaan gerakan fluida yang dapat diacu adalah persamaan kontinuitas (keseimbangan massa) dan persamaan Navier-Stokes, serta beberapa persamaan turunan yang lain seperti persamaan Newton, Reynolds dan Froude. Merujuk pada koordinat silinder yang dapat mewakili pendeskripsian belokan saluran/sungai, persamaan kontinuitas (Yen, 1971) dari beberapa persamaan di bawah hingga menghasilkan kemiringan permukaan air (S_r dan H_{rc}) sebagai berikut:

$$\frac{\partial \dots}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \dots u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (\dots v) + \frac{\partial}{\partial z} (\dots w) = 0$$

Untuk lebih mudah pemahaman lebih lanjut, persamaan kontinuitas sebagaimana dituliskan pada persamaan (1) diterapkan pada kasus aliran tunak (permanen) dan disederhanakan menjadi :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r u + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} v + \frac{\partial}{\partial z} w = 0$$

Persamaan lengkap yang menjelaskan gerakan elemen fluida viskos dalam pengaruh gaya gravitasi dinyatakan dalam persamaan Navier-Stokes, dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\dots \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial P}{\partial z} \left(2 \sim \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \sim \text{div } v \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\sim r \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\sim \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \theta} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \dots g z$$

dimana derivativ
 $\frac{D}{Dt} = v \frac{\partial}{\partial r} + \frac{u}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} + w \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial t}$ disederhanakan
 dengan menggunakan persamaan kontinuitas :

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\dots} \frac{\partial P}{\partial z} + \epsilon \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \dots g z$$

2.3 Permukaan air pada penampang melintang saluran

Profil permukaan air pada suatu belokan saluran dinyatakan selengkapnya dengan persamaan gerak, yang diturunkan dari persamaan Reynold. Selanjutnya berdasarkan persamaan Reynold, dapat ditentukan kemiringan permukaan air sepanjang arah melintang saluran dengan teknik integrasi.

$$s_r = \frac{1}{gh} \left[\int_{z_0}^{z_1} \frac{\bar{u}^2}{r} dz - \bar{u}_t^2 \sin \theta \right]$$

Merujuk pada persamaan (4), kemiringan arah melintang saluran di suatu titik di belokan dapat dituliskan:

$$s_r = \frac{u_m^2}{2gr} - 2 \left\{ \frac{r}{h} \left(\frac{\bar{u}_t}{u_m} \right)^2 \sin W + \int_{z_0/h}^{z_1/h} 2 \left[\left(\frac{\bar{u}}{u_m} \right)^2 - \frac{\bar{u}}{u_m} \frac{\partial(\frac{\bar{v}}{u_m})}{\partial n} \right] d\left(\frac{z}{h}\right) \right\}$$

Perbedaan permukaan air arah melintang terhadap jari-jari pusat saluran, dapat dinyatakan dengan integral sebagai berikut :

$$H_{rc} = \int_{rc}^r s_r dr = \frac{u_m^2}{2g} \int_{rc}^r \frac{C_r}{r} dr$$

dimana rc = jari-jari pusat saluran, r = koordinat radial pada titik tertentu sepanjang lebar saluran, H_{rc} =perbedaan elevasi permukaan air di antara potongan r dan rc pada penampang melintang.

3. Metode Penelitian

3.1 Pemodelan numerik

Pemodelan numerik dilakukan terhadap persamaan differensial kontinuitas (keseimbangan massa) dan Navier-Stokes untuk kasus aliran tunak (*steady flow*). Penyelesaian persamaan tersebut dilakukan dengan integrasi numerik dan membagi pias menjadi beberap segmen dan grid-grid.

3.2 Pemodelan laboratorium

Pemodelan di laboratorium dimaksudkan untuk mengkalibrasi/ membandingkan hasil hitungan numerik dengan dasar tetap (*fixed bed*). Adapun peralatan dan prosedur percobaan adalah sebagai berikut ini :

- Saluran berpenampang segi empat berukuran lebar 50 cm dan tinggi 30 cm dengan sudut belokan 90° terbuat dari kaca pada bagian lurus dan fiber gelas pada bagian belokan.
- Meteran taraf (*point gauge*), untuk mengukur ketinggian muka air. Muka air diukur selama

masa *running* (sumulasi) pada arah melintang saluran dibelokan.

- Stop watch*, untuk mengukur waktu yang diperlukan untuk menampung debit aliran pada akhir saluran. Untuk maksud ini, debit air ditampung dan diukur waktu penampungannya dan juga diukur volumenya. Berdasarkan informasi waktu dan volume, maka dapat diketahui kecepatan rerata aliran di saluran.
- Laser dopler* (alat pengukur kecepatan dengan laser) dan *current meter*, untuk mengukur distribusi kecepatan aliran (vertikal dan horisontal) baik pada saluran yang lurus maupun pada belokan saluran. Alat ini dapat digerakkan dan dilakukan pengukuran distribusi kecepatan vertikal terutama di belokan saluran.
- Sumber air (pompa). Debit air dialirkan dari pompa yang telah dikalibrasi sebelumnya. Running (simulasi) dilakukan untuk beberapa kali besaran debit.

Gambar 3. Tampak atas saluran laboratorium

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kemiringan muka air di belokan

Berdasarkan hasil uji laboratorium dan hitungan numerik, menunjukkan karakter yang sama, dimana terjadi perbedaan elevasi muka air pada profil melintang saluran di belokan. Pada pengukuran di laboratorium untuk debit yang sama, pada bilangan Froud yang kecil perbedaan ketinggian muka air kecil dan pada bilangan Froude yang besar menunjukkan ketinggian muka air yang besar. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa

kenaikan permukaan air berbanding lurus terhadap kecepatan.

Pengukuran dan hitungan numerik (Galib, 1992) yang dilakukan pada interval sudut 10° , yakni 0° pada awal belokan saluran sampai 90° di akhir belokan saluran sebagaimana gambar di bawah ini.

Gambar 4. Profil muka air melintang pada sudut 0°

Gambar 5. Profil muka air melintang pada sudut 10°

Gambar 6. Profil muka air melintang pada sudut 20°

Gambar 7. Profil muka air melintang pada sudut 30°

Gambar 8. Profil muka air melintang pada sudut 40°

Gambar 9. Profil muka air melintang pada sudut 50°

Gambar 10. Profil muka air melintang pada sudut 60°

Gambar 13. Profil muka air melintang pada sudut 90°

Gambar 11. Profil muka air melintang pada sudut 70°

Gambar 12. Profil muka air melintang pada sudut 80°

Gambar 14. Kontur permukaan air di belokan saluran

4.2 Fenomena gerusan di Sungai Palu

Sungai Palu bagian hilir sepanjang kurang lebih 5 km terukur dari muara, memiliki kemiringan dasar relatif landai, rata-rata sebesar 0.001167 (Gambar 7) dengan lebar sungai berkisar antara 185 m pada bagian hilir dan berangsur-angsur menyempit dengan lebar 89 di sekitar Jembatan 1.

Gambar 15. Profil memanjang Sungai Palu hilir

Gerusan di Sungai Palu terjadi secara umum terjadi pada ruas bagian hilir. Secara khusus gerusan intensif terjadi pada sisi talud sebelah luar belokan di dua lokasi yakni berjarak sekitar 200 m di sebelah hilir Jembatan 1 dan sekitar 400 m di sebelah hulu Jembatan 1, dengan sudut belokan (sudut dalam) masing-masing 135° dan 145° yang dapat dinyatakan dengan indeks meander, yakni perbandingan antara panjang total alinemen sungai dan panjang total kurvatur sungai. Sungai lurus memiliki indeks meander sama dengan satu. Semakin tinggi angka indeks meander sungai maka sudut belokan dalam akan semakin kecil dan sebaliknya. Pada prinsipnya sungai *meander* digolongkan sebagai suatu sungai yang membentuk fungsi sinus (Jansen, 1979 dalam Mudjiatko, 2000), yang dibedakan menjadi dua jenis yakni *irregular meander* dan *regular meander*. *Irregular meander* diistilahkan untuk sungai yang mempunyai kurva belokan yang tidak teratur antara satu belokan dan belokan yang mengikutinya dan *regular meander* diperuntukkan untuk sungai yang mempunyai kurvatur seragam.

Pengaruh yang ditimbulkan belokan terhadap aliran adalah terjadinya pembendungan aliran akibat terhambatnya aliran pada salah satu sisi saluran yakni sisi bagian luar belokan

(Mudjiatko, 2000). Peristiwa pembendungan akan menimbulkan terjadinya peningkatan elevasi muka air. Selain itu juga terjadi peningkatan elevasi muka air pada sisi luar belokan akibat gaya sentrifugal yang bekerja pada aliran. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Mudjiatko (2000) menunjukkan semakin besar angka indeks *meander* maka tingkat pembendungan aliran semakin tinggi. Berpijak pada hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi *belokan* Sungai Palu merupakan salah satu faktor penyebab banjir di Sungai Palu. Pengaruh lainnya adalah terjadinya pengikisan pada bagian luar belokan dan pengendapan pada bagian dalam belokan, sehingga pada bagian ini bentuk penampang selalu berubah-ubah.

Gerusan talud di Sungai Palu dimulai dengan meningkatnya elevasi muka air pada sisi luar belokan sampai akhirnya elevasi talud terlampaui. Fenomena ini mengakibatkan pengikisan talud yang dimulai dari bagian atas dan berlanjut secara kontinyu pada kaki talud. Akumulasi gaya aliran yang bekerja pada sisi talud menyebabkan talud Sungai Palu di sekitar belokan mengalami keruntuhan dan keagalann.

Gambar 16. Situasi dan posisi gerusan talud Sungai Palu hilir

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Kenaikan muka air di belokan saluran/sungai dapat diidentifikasi dari bilangan Froude. Pada bilangan Froude yang kecil perbedaan ketinggian muka air kecil dan pada bilangan

- Froude yang besar menunjukkan ketinggian muka air yang besar.
- b. Kenaikan permukaan air di belokan sungai berbanding lurus terhadap kecepatan.
 - c. Kasus gerusan di Sungai Palu, terjadi akibat kenaikan muka air yang besar di belokan sehingga elevasi talud/tanggul terlampaui.

6. Daftar Pustaka

- Ishak, Galib., (1992), *Superelevasi Pada Tikungan Saluran*, Tesis S-2 Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung
- Jansen, P.P., Berg, V.B., Vries M.D., and Zanen, A., (1979), *Principle of River Engineering : The Non-Tidal Alluvial River*. Pitman Press, London.
- Legono D., (2003), *Bahan Kuliah Teknik Sungai*, Program S-2 UGM, Yogyakarta
- Mudjiatko (2000), *Pengaruh Meander Sungai Terhadap Perubahan Konfigurasi Dasar dan Seleksi Butiran Sedimen*, Tesis S2 UGM, Yogyakarta.
- Yen C. L. (1971), Water Surface Configuration in Channel Bends, Journal of the Hydraulics Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers.