

KAJIAN PENGARUH KONFIGURASI KRIB TERHADAP POLA ARUS DI BELOKAN

Bambang Sujatmoko¹, Adam Pamudji Rahardjo² dan Djoko Legono³

ABSTRACT

Current pattern control along channel bend can be done technically by proper lay-out of groyne at the channel banks with certain configuration. To get the optimal configuration of the groyne, current patterns downstream of the groyne with different lay-outs were analyzed quantitatively and qualitatively, Observation and evaluation of the effect of groyne lay-out to the current pattern along the channel bend was conducted by two approach, i.e., physical modeling and mathematical modeling.

Numerical simulation and physical model runs were conducted in a generic channel. Observation of hydraulic characteristics of flow at laboratory was done by particle image velocimetry method. Current pattern simulation was done with the BOSS SMS - FESWMS software module. This module is a 2-D depth average mathematical model. To get accurate simulation, the RMS of deviation of the numerical result from the measurement result at several locations was used as the indicator parameter in the calibration and the verification process. Quantity analysis of current pattern as hydraulic respons of the existence of the groyne was based on velocity distribution skewness at selected cross sections.

The results showed that the variation of groyne length projection ($l/B=0,087-0,260$) gave the change of the *sk* value by 31,4 ~ 325,8%, the variation of groyne setting direction ($\alpha/180=0,33-0,67$) gave the change of the *sk* value by 0,5 ~ 47,7%, and the channel's Reynolds number ($Re_{ch}=7,97 \times 10^4 - 1,51 \times 10^5$) gave the change of the *sk* value by 0,2 ~ 12,0%. The perpendicular groyne lay-out to the bank gave the strongest effect to change of velocity was compared with the other configuration (in comparison with the channel without groyne), whether change of velocity at downstream cross section at inner bend side (10,95 ~ 53,88%) or at upstream cross section at outer bend side (-13,12 ~ -51,77%).

keywords : current pattern, configuration of the groyne, bend, skewness.

PENGANTAR

Pengendalian pola arus terhadap perubahan morfologi sungai secara hidraulik dapat dilakukan dengan memasang bangunan krib dengan konfigurasi tertentu di tepian sungai. Guna memperoleh hasil-hasil yang optimal dari rencana pembuatan krib yang sesuai dengan tujuannya yaitu pengendalian pola arus, maka haruslah dipelajari hal-hal yang menyangkut pemilihan konfigurasi krib yaitu tipe krib, dimensi dan posisi krib serta jarak krib sesuai dengan kondisi sungai. Upaya untuk mengurangi tingkat kerusakan tebing yang terjadi di belokan akibat pemilihan konfigurasi krib yang kurang tepat dapat dipelajari dengan cara simulasi dan analisis pemasangan krib dengan dua pendekatan yaitu pendekatan model fisik dan model matematik.

Pada penelitian ini dikaji perubahan pola arus pada belokan sungai akibat pemasangan konfigurasi krib secara kualitatif dan kuantitatif, dan menjajagi kemampuan *software* BOSS SMS modul FESWMS untuk kasus dua dimensi di belokan sungai. Secara keseluruhan hasil dari simulasi dan analisis ini dibahas untuk memperoleh suatu kesimpulan akhir mengenai pengaruh konfigurasi pemasangan krib terhadap pola arus di belokan. Hasil ini diarahkan sebagai masukan dalam rekayasa sungai khususnya mengenai pemanfaatan krib sebagai bangunan pengendali aliran.

TINJAUAN PUSTAKA

Gerakan air pada saluran yang membelok akan menimbulkan adanya arus sekunder atau arus melintang, yang nilainya lebih kecil dari kecepatan pada aliran utamanya, berkisar 10% ~ 15% (Legono, 1996). Kinori (1984) menyatakan besarnya kecepatan arus sekunder bergantung pada : angka *Reynold*, posisi arus di belokan, perbandingan radius kelengkungan dengan lebar saluran dan *aspect ratio*, yaitu perbandingan lebar dan kedalaman air. Bila perbandingan antara kedalaman aliran dan lebar sungai sangat kecil, maka gerakan melingkar pada arah melintang sungai secara praktis tidak terjadi atau *non-existent* (Kinori, 1984).

Dalam menentukan konfigurasi bangunan krib sebagai bangunan pelindung tebing dan pembelokan arah arus, terdapat metode yang hampir semuanya bersifat empirik. 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. 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.

¹. Bambang Sujatmoko, Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau

². Adam Pamudji Rahardjo, Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³. Djoko Legono, Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Untuk memperkirakan kondisi pola arus di saluran dengan model matematik, digunakan salah satu modul perangkat lunak SMS yaitu FESWMS yaitu model numeris dua dimensi horizontal dengan kecepatan merupakan nilai rerata vertikal (*depth average*). Model ini dapat diaplikasikan pada kondisi aliran subkritik maupun superkritik. Gerakan air didekati dengan rumusan matematis yang mempunyai bentuk persamaan kontinuitas dan momentum untuk aliran dua dimensi horizontal sebagai berikut (Froehlich, 1997) :

$$\frac{\partial}{\partial t}(HU) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta_{xx} HUU + (\cos \alpha_x \cos \alpha_z)^2 \frac{1}{2} g H^2 \right) + \frac{\partial}{\partial y} (\beta_{xy} HUV) + \cos \alpha_x g H \frac{\partial z_b}{\partial x} - \Omega HV + \frac{1}{\rho} \left(\tau_{bx} - \tau_{sx} - \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xx}) - \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{xy}) \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(HV) + \frac{\partial}{\partial x} (\beta_{xy} HUV) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta_{yy} HVV + (\cos \alpha_y \cos \alpha_z)^2 \frac{1}{2} g H^2 \right) + \cos \alpha_y g H \frac{\partial z_b}{\partial y} + \Omega HU + \frac{1}{\rho} \left(\tau_{by} - \tau_{sy} - \frac{\partial}{\partial x} (H \tau_{xy}) - \frac{\partial}{\partial y} (H \tau_{yy}) \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (HU) + \frac{\partial}{\partial y} (HV) = q \quad (3)$$

dengan : H = kedalaman air; z_b = elevasi dasar sungai; U dan V = kecepatan rerata kedalaman arah x dan y ; $\alpha_x = \arctan (\partial z_b / \partial x)$; $\alpha_y = \arctan (\partial z_b / \partial y)$; $\alpha_z = \arccos (1 - \cos^2 \alpha_x - \cos^2 \alpha_y)^{1/2}$; g = percepatan gravitasi; $\Omega = 2\omega \sin \phi$ adalah koefisien Koriolis; ρ = rapat massa air; τ_{bx} dan τ_{by} = tegangan geser dasar; τ_{xx} dan τ_{yy} adalah tegangan geser permukaan; τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yx} dan τ_{yy} adalah tegangan geser akibat turbulensi dan β_{xx} , β_{xy} , β_{yx} dan β_{yy} adalah koefisien koreksi momentum.

CARA PENELITIAN

Model Fisik

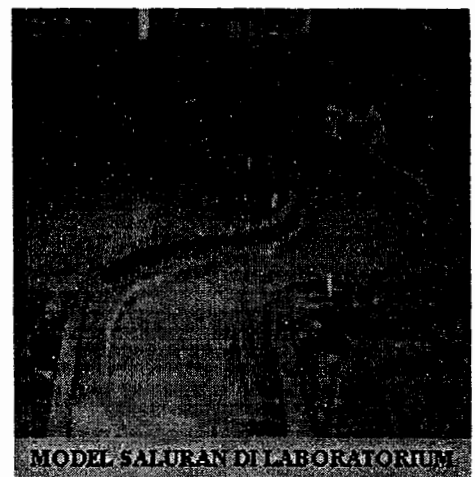
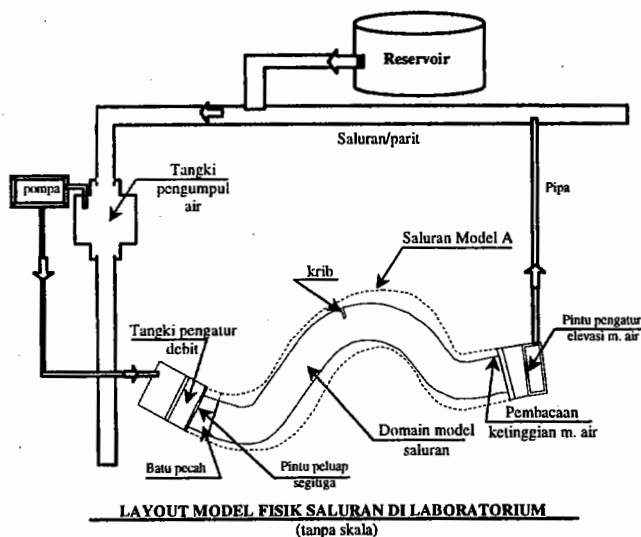
Uji model fisik dilakukan pada model sungai di Laboratorium Hidraulika FT UGM, yaitu model saluran A dengan terlebih dahulu dilakukan perbaikan-perbaikan sesuai dengan batasan penelitian. Situasi model fisik di laboratorium dapat dilihat dalam Gambar 1.

Pengamatan pola arus secara visual dilakukan dengan memperhatikan gerakan potongan gabus yang tersebar di permukaan badan air. Untuk kebutuhan kalibrasi, dilakukan pengukuran kecepatan di model fisik dengan metode *PIV* (*Particle Image Velocimetry*) yaitu pengukuran medan kecepatan aliran menggunakan bayangan partikel. Metode ini sangat baik karena dapat dilakukan tanpa mengusik badan air dan diperoleh banyak data dalam satu waktu pengukuran.

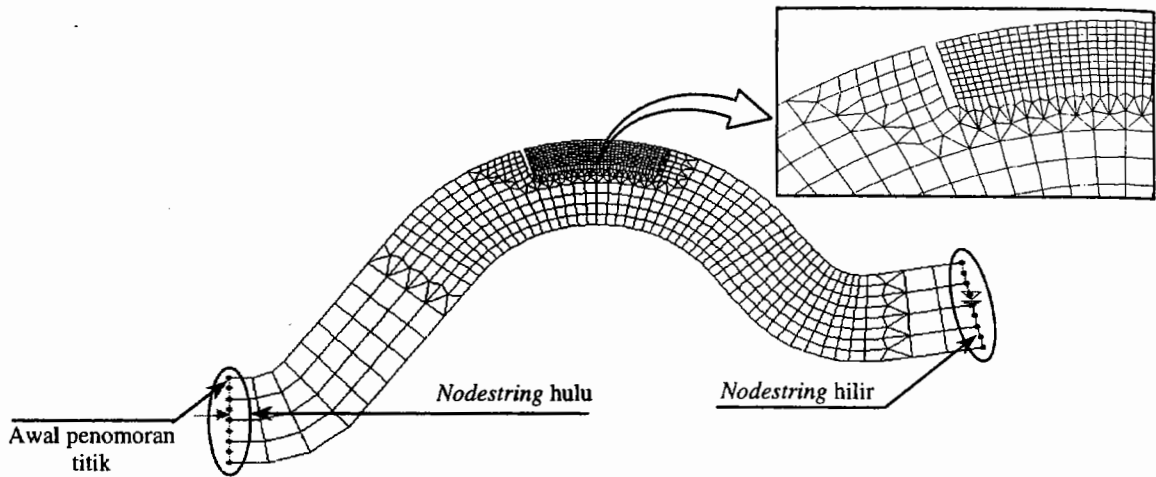
Model Matematik

Secara garis besar penggunaan *software BOSS SMS*, dibagi dalam tiga tahapan yaitu : pemasukan input data (*pre-processing*), eksekusi program hidrodinamik (*program run*) dan menampilkan hasil simulasi (*post-processing*).

Tahap *pre-processing* dibedakan menjadi 2 bagian yaitu input data geometri dan input data kondisi batas. Input data geometri bertujuan mendiskretisasi domain komputasi atau pembuatan jaring elemen hingga (*mesh*). Jaringan elemen yang sudah jadi dan siap untuk disimulasi disajikan pada Gambar 2. Setelah jaringan elemen terbentuk, dilakukan pengisian data kondisi batas yaitu kondisi batas hulu berupa debit aliran dan data kondisi batas hilir berupa elevasi muka air.



Gambar 1. Layout dan model fisik saluran di laboratorium.



Gambar 2. Jaring elemen hingga dan kondisi batas pada domain komputasi.

Eksekusi program hidrodinamika aliran menggunakan program simulasi FLO2DH yang terdapat dalam modul FESWMS. Program FLO2DH merupakan program versi DOS, sehingga dapat dijalankan melalui sistem operasi DOS.

Untuk menampilkan hasil eksekusi program aliran FLO2DH, *software BOSS SMS* menyediakan beberapa fasilitas berupa menu-menu *post-processor*. File keluaran program FLO2DH ditampilkan secara grafis berupa gambar tunggal dan gambar kombinasi (memuat besaran jaring elemen, kontur kecepatan dan panah kecepatan), serta tampilan gambar bergerak berupa *tracer* maupun berupa data skalar dan vektor.

Kalibrasi Model Matematik

Kalibrasi secara kualitatif dilakukan dengan membandingkan secara visual gambar pola arus yang terbentuk di kedua model, yang dititik-beratkan pada daerah sebelah hilir krib untuk membandingkan dimensi pusaran arus yang terbentuk pada kedua model. Kalibrasi secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung nilai RMS (*root-mean-square*) antara kedua model dengan persamaan berikut :

$$RMS = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_{fisik} - U_{numeris})^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

dengan : n = jumlah data, U = kecepatan pada model

Kajian Pola Arus

Kajian terhadap pola arus akan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Kajian secara kualitatif dilakukan dengan mengamati dan meneliti pola vektor kecepatan yang terbentuk akibat adanya pemasangan

bangunan krib di belokan. Kajian secara kuantitatif terhadap pola arus dilakukan dengan menghitung angka kecondongan (*skewness*), sk , dari distribusi kecepatan, berdasarkan Persamaan 5 (Burr, I, W., 1974).

$$sk = \frac{n^2 \sum fv^3 - 3n(\sum fv^2)(\sum fv) + 2(\sum fv)^3}{\left[n \sum fv^2 - (\sum fv)^2 \right]^{3/2}} \quad (5)$$

dengan : n = total jumlah kecepatan, f = besarnya kecepatan dan v = variabel transformasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi dan Verifikasi Model (Parameter Aliran)

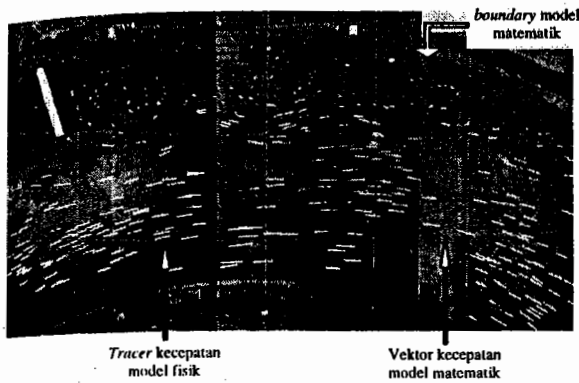
Hasil kalibrasi model matematik secara kualitatif dan kuantitatif dapat dilihat dalam Gambar 3.

Dari hasil kalibrasi model ditetapkan parameter aliran yang digunakan pada model matematik seperti pada Tabel 1.

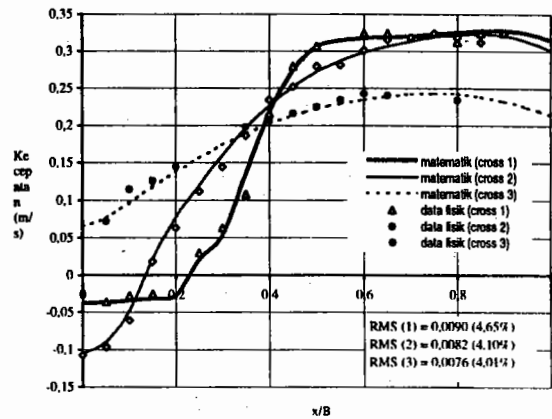
Tabel 1. Nilai Parameter Hitungan yang Sudah Dikalibrasi

No.	Parameter	Material 1	Material 2
1.	n	0,015	0,010
2.	v_o (m ² /det)	$1,14 \times 10^{-6}$	$1,14 \times 10^{-6}$
3.	c_μ	5,93	5,93

Bila nilai parameter kalibrasi n dan c_μ material 2 pada Tabel 1, diubah-ubah (dibesarkan atau dikecilkan) dan nilai v_o tidak dikalibrasi, maka akan tampak pengaruhnya terhadap hasil simulasi model numeris, seperti terlihat dalam Gambar 4.

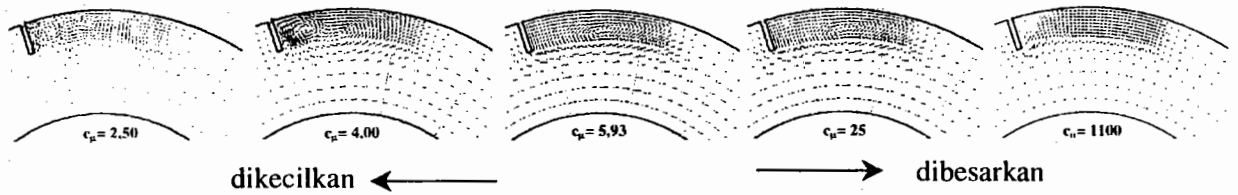


(a) Kalibrasi secara kualitatif

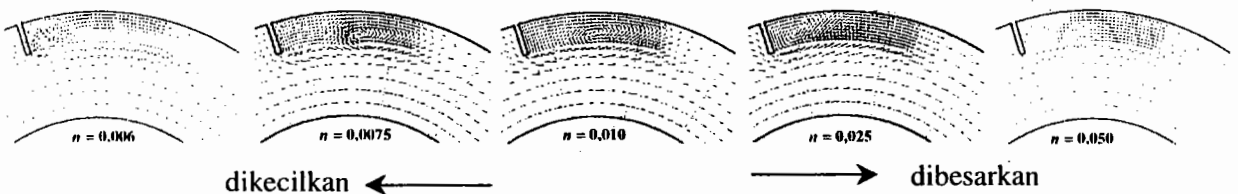


(b) Kalibrasi secara kuantitatif

Gambar 3. Hasil kalibrasi model matematik.



(a) Pola arus di hilir krib saat nilai c_μ diubah-ubah dan nilai n tetap



(b) Pola arus di hilir krib saat nilai n diubah-ubah dan nilai c_μ tetap

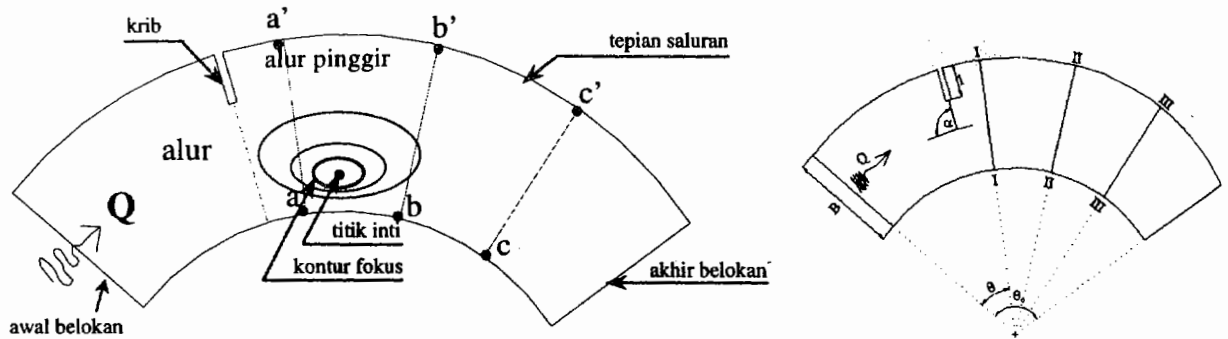
Gambar 4. Pengaruh perubahan parameter kalibrasi terhadap hasil simulasi pola arus.

Dari hasil kalibrasi secara kualitatif, hasil simulasi model fisik dan numeris mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu adanya pembelokan arah aliran di depan krib dan adanya kesesuaian dimensi pusaran air di hilir krib. Bila nilai n dan c_μ dkecilkan ($n < 0,0075$ dan $c_\mu < 4,00$), maka akan terjadi ketidak-stabilan numeris menyebabkan garis vektor kecepatan tidak beraturan. Sedangkan bila nilai n dan c_μ dibesarkan ($n > 0,050$ dan $c_\mu > 1100$), maka tidak terjadi pusaran arus di hilir krib, karena viskositas eddy yang sangat besar menyebabkan tegangan gesek turbulen yang besar. Secara kuantitatif, penyimpangan (*error*) nilai *rms* terhadap kecepatan reratanya di bawah 5 %.

Kajian Pengaruh Pemasangan Konfigurasi Krib terhadap Pola Arus

Kajian kualitatif

Bila diteliti pemasangan krib tegak lurus ($\alpha/180^\circ=0,50$) dan $l/B=0,087$ pada Re_{sal} yang berbeda, maka panjang pusaran yang terjadi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Variasi Re_{sal} tidak menyebabkan perbedaan pola kontur, perbedaannya adalah nilainya semakin besar bila Re_{sal} semakin besar. Titik inti yang terjadi akibat perubahan angka Re_{sel} , letaknya hampir sama yaitu sekitar $\theta/\theta_0=0,42$ dan berjarak $0,8*B$ dari sisi luar belokan.

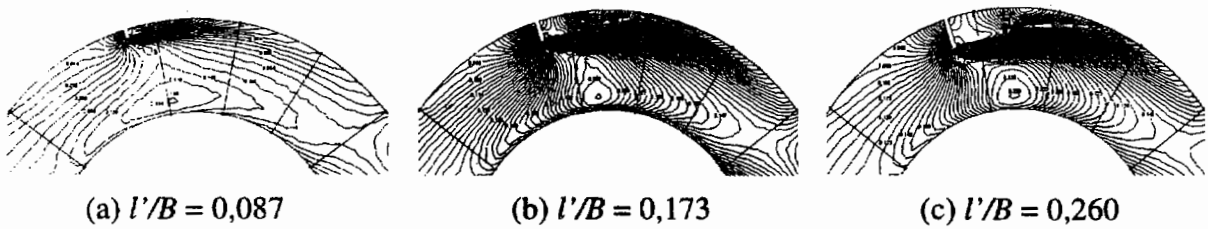


Gambar 5. Istilah dan notasi gambar yang digunakan

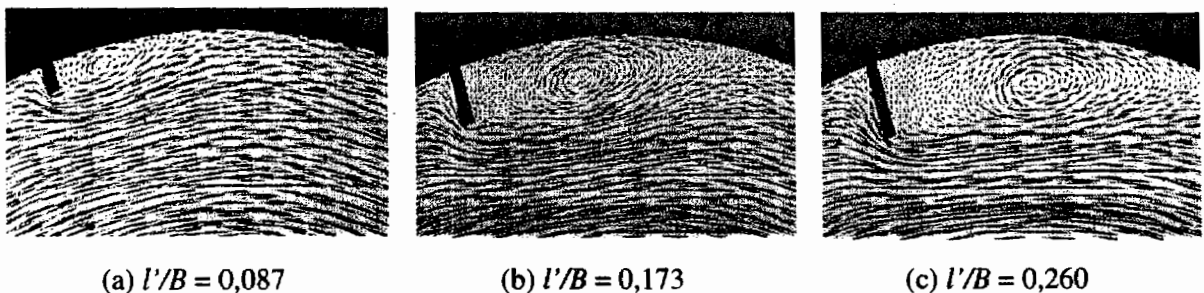
Bila diteliti pada krib yang lebih panjang, yaitu dengan $l'/B=0,173$ dan $l'/B=0,260$, maka pengumpulan vektor kecepatan mempunyai konvergensi yang lebih kuat ke alur tengah. Bila panjang krib bertambah, maka letak kontur fokus makin ke arah hilir (Gambar 6). Krib yang lebih panjang dengan orientasi arah krib yang sama akan menghasilkan panjang pusaran yang lebih besar dan titik pusat pusaran yang semakin menjauhi garis krib ke arah hilir (Gambar 7).

Konfigurasi krib dengan $l'/B=0,260$, dengan arah pemasangan yang berbeda yaitu tegak lurus, condong ke hilir dan condong ke arah hulu, menghasilkan

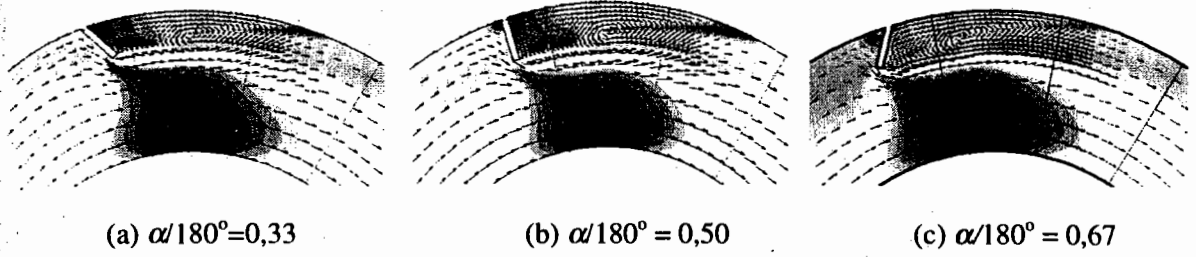
vektor kecepatan dengan pola yang hampir sama (Gambar 8). Perbedaan yang tampak, krib dengan arah tegak lurus arus ($\alpha/180^\circ=0,50$) lebih kuat menarik dan mengumpulkan vektor kecepatan ke alur tengah menuju titik inti. Letak dan besar kontur fokus makin ke hulu, bila ratio orientasi arah pemasangan krib semakin besar. Variasi konfigurasi di atas menghasilkan panjang dan posisi pusat pusaran yang berbeda. Pada ratio orientasi arah pemasangan yang lebih besar, panjang pusaran arus relatif lebih pendek dan titik pusat pusaran lebih dekat ke garis pangkal krib (Gambar 8).



Gambar 6. Bentuk kontur di sekitar titik inti pada pemasangan krib tegak lurus arus



Gambar 7. Pengaruh variasi panjang krib terhadap panjang dan posisi pusat pusaran air.

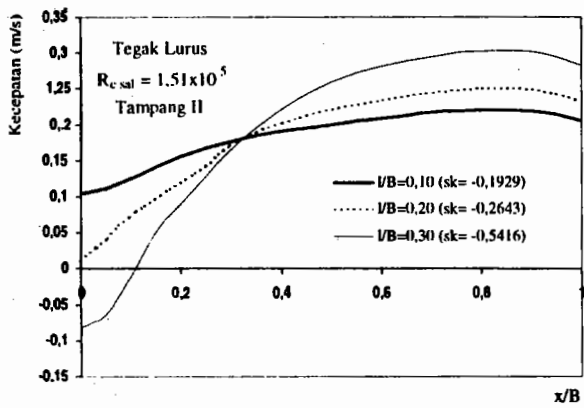


Gambar 8. Pola arus di hilir krib dengan variasi orientasi arah pemasangan krib dan ratio $l'/B = 0,260$.

Pada simulasi angka Re_{sal} yang berbeda, panjang dan posisi pusat pusaran tidak menunjukkan perubahan atau hampir sama. Perbedaan yang tampak, vektor kecepatan semakin besar nilainya bila disimulasi dengan Re_{sal} yang lebih besar.

Kajian kuantitatif

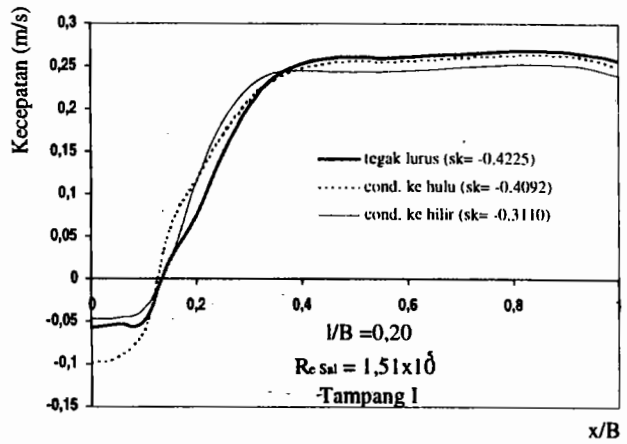
Perubahan pola arus yang terjadi akibat pemasangan krib, secara kuantitatif ditunjukkan dengan angka *skewness*, sk . Perubahan pola arus akibat perubahan panjang, dengan konfigurasi krib tegak lurus arus ($\alpha/180=0,50$) di tampang II pada $Re_{sal}=1,51 \times 10^5$ disajikan pada Gambar 9 dan Tabel 2. Mencermati Gambar 9, semakin panjang krib yang dipasang, maka nilai sk cenderung bertambah.



Gambar 9. Grafik pola arus pada Tamp II, $Re_{sal}=1,51 \times 10^5$ dan $\alpha/180=0,50$,

Bila diteliti lebih lanjut, semakin semakin ke hilir terlihat bahwa nilai sk semakin kecil. Pada tampang tinjau paling hilir, pertambahan panjang krib masih memberikan perubahan terhadap nilai sk (bertambah). Artinya panjang proyeksi krib yang disimulasi ($l'/B=0,087 \sim 0,260$) masih terasa pengaruhnya pada tampang tersebut. Perubahan nilai sk akibat perubahan panjang di tampang paling hilir (berkisar 31,4% ~

112,2%) relatif lebih kecil dibandingkan perubahan nilai sk pada tampang paling hulu (berkisar 84,4% ~ 325,8%).



Gambar 10. Grafik pola arus di tampang I, $Re_{sal}=1,51 \times 10^5$ dan $l'/B=0,260$

Pengaruh orientasi arah pemasangan krib terhadap pola arus dapat dilihat pada Gambar 10 yang memiliki kecenderungan yang hampir sama. Pada semua variasi orientasi arah pemasangan krib, semakin ke hilir nilai sk yang dihasilkan semakin kecil. Dibandingkan dengan nilai sk pada pemasangan krib tegak lurus arus (Tabel 2), maka pada tampang paling hulu, pemasangan krib condong ke hilir memberikan perubahan sebesar -17,1% ~ -47,7% dan pemasangan krib condong ke hulu memberikan perubahan sebesar -0,5% ~ -5,4%. Sedangkan pada tampang paling hilir, pemasangan krib condong ke hilir memberikan perubahan sebesar -4,7% ~ -11,6% dan pemasangan krib condong ke hulu memberikan perubahan sebesar -3,6% ~ -13,7%. Artinya perubahan pola arus akibat perubahan orientasi arah pemasangan krib di tampang paling hilir relatif sama (perubahan nilai sk tidak lebih dari 15%).

Tabel 2. Angka *Skewness* (*sk*) pada Belokan Akibat Pemasangan Krib

No	$R_{e, sal}$	$\alpha/180^{(a)}$	l'/B	Letak Tampang (θ/θ_0) ^(b)			
				0,40	0,60	0,80	
1	$7,97 \times 10^4$	Tanpa Krib		-0,1279	-0,1041	-0,0743	
2			0,33	0,087	-0,1532	-0,1470	-0,1007
3				0,173	-0,3019	-0,2310	-0,1389
4		0,260		-0,4079	-0,4564	-0,2136	
5		0,50	0,087	-0,1915	-0,1783	-0,1139	
6			0,173	-0,4144	-0,2505	-0,1563	
7			0,260	-0,7803	-0,5286	-0,2348	
8		0,67	0,087	-0,1823	-0,1653	-0,1057	
9			0,173	-0,4067	-0,2474	-0,1418	
10			0,260	-0,7763	-0,3766	-0,2032	
11	$1,10 \times 10^5$	Tanpa Krib		-0,1311	-0,1049	-0,0756	
12			0,33	0,087	-0,1595	-0,1544	-0,1059
13				0,173	-0,3040	-0,2348	-0,1450
14		0,260		-0,4227	-0,4668	-0,2201	
15		0,50	0,087	-0,1961	-0,1826	-0,1155	
16			0,173	-0,4165	-0,2521	-0,1603	
17			0,260	-0,7897	-0,5331	-0,2385	
18		0,67	0,087	-0,1855	-0,1716	-0,1114	
19			0,173	-0,4074	-0,2498	-0,1464	
20			0,260	-0,7791	-0,3816	-0,2059	
21	$1,51 \times 10^5$	Tanpa Krib		-0,1348	-0,1060	-0,0766	
22			0,33	0,087	-0,1687	-0,1646	-0,1108
23				0,173	-0,3110	-0,2454	-0,1548
24		0,260		-0,4519	-0,4789	-0,2320	
25		0,50	0,087	-0,2035	-0,1929	-0,1227	
26			0,173	-0,4225	-0,2643	-0,1708	
27			0,260	-0,8081	-0,5416	-0,2433	
28		0,67	0,087	-0,1961	-0,1807	-0,1169	
29			0,173	-0,4092	-0,2601	-0,1567	
30			0,260	-0,7910	-0,3932	-0,2155	

*) lihat Gambar 5.

Kajian Pengaruh Pemasangan Konfigurasi Krib terhadap Kecepatan Aliran

Pengaruh penambahan panjang krib sangat terasa pada tampang paling hulu, semakin ke hilir pengaruhnya semakin berkurang. Pada sisi luar belokan, bila panjang krib bertambah, kecepatan yang terjadi semakin berkurang. Bila dibandingkan dengan saluran tanpa krib, persentase penambahan kecepatan akibat penambahan panjang di sisi dalam belokan pada tampang paling hulu (titik a), untuk $l'/B=0,087$ berkisar 6,99% ~ 10,95%; untuk $l'/B=0,173$ berkisar 21,80% ~ 29,20% dan untuk $l'/B=0,26$ berkisar 38,12% ~ 53,88%. Sedang persentase pengurangan kecepatan di sisi luar belokan pada tampang paling hilir (titik c') untuk $l'/B=0,087$ berkisar 10,72% ~ 13,12%; untuk $l'/B=0,173$ berkisar 24,24% ~ 28,39% dan untuk $l'/B=0,260$ berkisar 41,73% ~ 51,77%.

Semakin panjang krib, maka persentase penambahan kecepatan di sisi dalam belokan maupun pengurangan kecepatan di sisi luar belokan semakin besar.

Dibandingkan dengan saluran tanpa krib, peningkatan kecepatan di sisi dalam belokan (di tampang paling hulu, a) akibat konfigurasi arah pemasangan krib tegak lurus arus berkisar 10,95% ~ 53,88%, arah pemasangan condong ke hulu berkisar 9,27% ~ 53,44% dan arah pemasangan condong ke hilir berkisar 6,99% ~ 38,12%. Prosentase pengurangan kecepatan di sisi luar belokan (di tampang paling hilir, c') akibat konfigurasi arah pemasangan krib tegak lurus berkisar 13,12% ~ 51,77%, arah pemasangan condong ke hulu berkisar 11,43% ~ 41,73% dan arah pemasangan condong ke hilir berkisar 10,72% ~ 47,99%. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi pemasangan krib dengan arah tegak lurus arus memberikan efek yang paling kuat terhadap perlindungan tebing di sisi luar belokan dibanding dua konfigurasi lainnya, sedangkan pada tebing di sisi dalam belokan, konfigurasi ini juga memberikan prosentasi peningkatan kecepatan yang paling besar.

KESIMPULAN

Dari pembahasan penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil parameter kalibrasi n dan c_{μ} pada material 1 : $n_1 = 0,015$, $v_{o1} = 1,14 \times 10^{-6}$ m²/det dan $c_{\mu1} = 5,93$, dan pada material 2 : $n_2 = 0,010$, $v_{o2} = 1,14 \times 10^{-6}$ m²/det dan $c_{\mu2} = 5,93$.
2. Secara kuantitatif, perubahan panjang proyeksi krib ($l'/B=0,087 \sim 0,260$) akan memberikan perubahan angka *skewness* sebesar 31,4%~325,8%, arah pemasangan krib ($\alpha/180=0,33 \sim 0,67$) akan memberikan perubahan angka *skewness* sebesar 0,5%~47,7% dan angka Reynold saluran ($R_{e, sal}=7,9 \times 10^4 \sim 1,51 \times 10^5$) akan memberikan perubahan angka *skewness* sebesar 0,2%~12,0%. Pemasangan krib tegak lurus arus akan memberikan efek yang paling kuat terhadap perubahan pola arus dibanding dua konfigurasi lainnya, yaitu pemasangan krib condong ke hilir dan condong ke hulu.
3. Perubahan panjang krib dengan arah pemasangan tegak lurus arus akan memberikan efektifitas yang lebih besar terhadap perlindungan tebing di sisi luar belokan dibanding dua konfigurasi lainnya, dan sebagai konsekuensinya, pada sisi dalam belokan, penambahan kecepatan yang dihasilkan konfigurasi ini juga yang terbesar. Bila dibandingkan dengan saluran tanpa krib, pengurangan kecepatan di sisi luar belokan (di

tampang paling hilir) pada pemasangan krib tegak lurus arus berkisar 13,12% ~ 51,77%, condong ke hilir berkisar 10,72% ~ 47,99% dan condong ke hulu berkisar 11,43% ~ 41,73%, sedangkan pertambahan kecepatan di sisi dalam belokan (di tampang paling hulu) pada pemasangan krib tegak lurus arus berkisar 10,95% ~ 53,88%, condong ke hilir berkisar 6,99% ~ 38,12% dan condong ke hulu berkisar 9,27% ~ 53,44%.

4. Mencermati hasil kalibrasi model, baik secara kualitatif maupun kuantitatif, maka *software BOSS SMS* modul *FESWMS* memiliki tingkat kemampuan yang tinggi untuk kasus aliran dua dimensi pada belokan sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr, Ir, Bambang Yulistiyanto yang telah ikut memberikan saran dan komentarnya atas penelitian ini, serta Proyek EEDP atas beasiswa yang telah diberikan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1995, *User's Manual Boss SMS*, Engineering Computer Graphics Laboratory, Brigham Young University.

- Burr, I,W., 1974, *Applied Statistical Methods*, Academic Press Inc., New York and London,
- Froehlich, D,C., 1997, *User Manual Finite Element Surface-water Modeling System : Two-Dimensional Flow in A Horizontal Plane*, Version 2, Environmental Hydraulics, Inc., Lexington, Kentucky.
- Jansen, Pph, Van Bondegom,L., M de Vries, Zanen, A., 1979, *Principles of River Engineering*, Pitman Publishing Pty Ltd., Melbourne.
- Kinori, B,Z., Mevorach, J.,1984, *Stream Flow Engineering and Flood Protection*, Manual of Surface Drainage Engineering, Volume II, Elsevier Science Publisher, Amsterdam.
- Legono, D., 1996, *Teknik Sungai*, BP-KMTS, UGM, Yogyakarta.
- Przedwojski, B., Btazejewski, R., dan Pilarzyk, K, W., 1995, *River Training Techniques*, Rotterdam, A, A, Balkema.
- Sosrodarsono, S., Tominaga, M., 1984, *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*, Cetakan kedua, Pradnya Paramitha, Jakarta.