

FLOW NEAR GROIN FIELDS

POLA ALIRAN DI DEKITAR GROIN

Istiarto, Bambang Agus Kironoto, dan Pradipta Nandi Wardhana
Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2
Yogyakarta 55281, Indonesia. E-mail: istiarto@ugm.ac.id

ABSTRACT

Groin is one of structures that effectively protects river bank from erosion. Flow shifts away from the groin and its velocity reduces significantly downstream of the groin. A series of groins installed along river bank creates zone of low flow velocity and thus protects the river bank from erosion. This paper presents and discusses measurement of flow near a series of groins in a laboratory flume. Four groins were installed in a 30-centimeter width fixed-bed flume with varying spacing, $s/l = 2, 3,$ and 4, where s is groin spacing and l is groin length. A 5.1 ℓ/s steady, 22-centimeter deep flow is maintained. A Micro Acoustic Doppler Velocimeter (MicroADV) measured three-dimensional flow velocity at points near groin fields. Measured flow patterns are presented and discussed in the form of average velocity profile and its turbulence characteristics. Interplay between the flow and the groin is discussed to get understanding on the groin role in reducing flow velocity.

Keywords: laboratory measurement, flow, turbulence, groin.

ABSTRAK

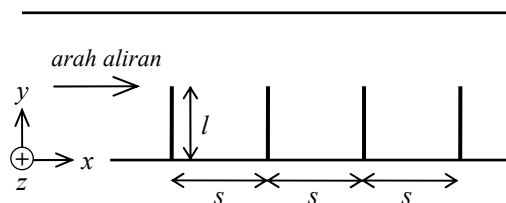
Groin merupakan salah satu struktur pelindung tebing sungai terhadap gerusan. Groin mendorong aliran menjauh dari groin dan memperlambat aliran di sisi hilir groin. Serangkaian groin yang dipasang berjajar di tebing sungai akan menciptakan zona aliran berkecepatan rendah sehingga tebing terhindarkan dari ancaman gerusan. Makalah ini memaparkan hasil eksperimen laboratoris aliran di sekitar groin. Empat groin dipasang berjajar di sebuah saluran bertampang persegi yang memiliki lebar 30 cm. Jarak antar groin diatur, $s/l = 2, 3,$ dan 4 (s adalah jarak antar groin dan l adalah panjang groin). Pada semua seri eksperimen, aliran dipertahankan pada debit 5.1 ℓ/s dan kedalaman 22 cm. Micro Acoustic Doppler Velocimeter (Micro-ADV) dipakai untuk mengukur komponen tiga dimensi kecepatan aliran di sekitar groin. Hasil pengukuran disajikan dalam bentuk pola kecepatan aliran dan sifat-sifat turbulensinya. Keterkaitan antara aliran dan groin dikaji untuk mendapatkan pemahaman terhadap peran groin dalam menciptakan zona aliran berkecepatan rendah di sekitarnya.

Kata-kata kunci: eksperimen laboratoris, aliran, turbulensi, groin.

PENDAHULUAN

Groin adalah struktur hidraulik yang berfungsi antara lain untuk melindungi tebing sungai terhadap erosi atau gerusan, mengarahkan aliran menjauhi tebing, atau mempertahankan kedalaman alur sungai. Groin ditempatkan melintang sungai, dari tebing menjorok tegak lurus atau miring terhadap arah aliran.

Sejumlah kajian aliran di sekitar groin telah dilaporkan oleh para peneliti. Topik kajian umumnya berkisar pada pola aliran melalui beberapa groin yang ditempatkan secara berjajar. Telah banyak disepakati bahwa jarak antar groin dan panjang groin merupakan variabel yang berpengaruh terhadap pola aliran. Pola aliran inilah yang menentukan fungsi groin dalam melindungi tebing terhadap gerusan. Fungsi perlindungan bertambah baik apabila jarak antar groin dekat. Namun, hal ini akan membuat biaya konstruksi tinggi (Duan, 2009). Parameter jarak antar groin dan panjang groin umumnya dinyatakan dengan variabel perbandingan antara keduanya, s/l , s adalah jarak antar groin dan l adalah panjang groin (Gambar 1).



Gambar 1. Sketsa tampak atas aliran melalui groin.

Pola aliran di antara groin dicirikan dengan bentuk aliran berputar atau pusaran. Jumlah pusaran di antara groin merupakan obyek kajian oleh beberapa peneliti. Secara umum dinyatakan bahwa jarak antar groin berpengaruh terhadap bentuk dan jumlah

pusaran yang terjadi di antara groin. Namun dari sejumlah publikasi, tampak adanya ketidak-samaan pendapat mengenai hubungan antara jarak antar groin dan jumlah pusaran (Klingeman et al, 1984; SonTek, 2001; Weitbrecht and Jirka, 2001). Uji-tewaal (1999) mengungkapkan bahwa pada jarak antar groin pendek (s/l mendekati satu) terdapat satu pusaran dan pada jarak antar groin yang lebih jauh, $s/l = 3$, terjadi dua pusaran. Ini sesuai dengan hasil penelitian Weitbrecht et al. (SonTek, 2001) yang menemukan dua pusaran pada kasus $s/l = 2$. Sebaliknya, Muto et al. (Weitbrecht and Jirka, 2001) melaporkan adanya satu pusaran walau jarak antar groin cukup jauh, $s/l = 4$.

METODE

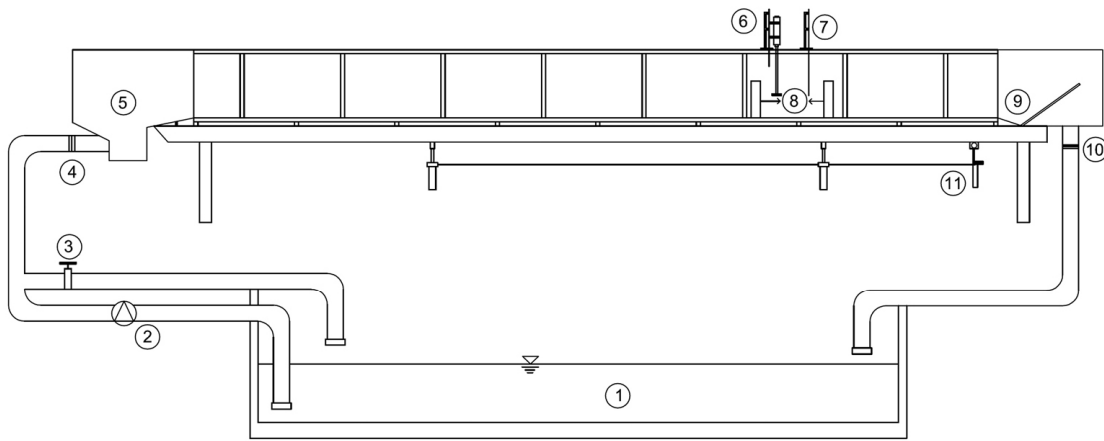
Pola aliran di sekitar groin dikaji melalui pengukuran kecepatan aliran di model aliran yang dibuat di laboratorium. Empat buah model groin diletakkan di *flume* (saluran skala laboratorium). Kecepatan aliran diukur dengan peralatan *acoustic doppler velocimeter* (ADV). Kajian dilakukan terhadap pola aliran (kecepatan aliran) dan karakteristik turbulensi aliran.

Instalasi eksperimen

Model aliran melalui groin dibuat di *flume* (saluran) tampan segiempat di Laboratorium Hidraulika, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Panjang *flume* 10 m, lebar 30 cm, dan tinggi 50 cm. Model groin dibuat dari papan kayu berdimensi panjang 15 cm, lebar 15 mm, dan tinggi 70 cm. Dasar saluran berupa logam, rata, dan kimiringannya dapat diatur. Dinding saluran dibuat dari bahan *plexy-glass*.

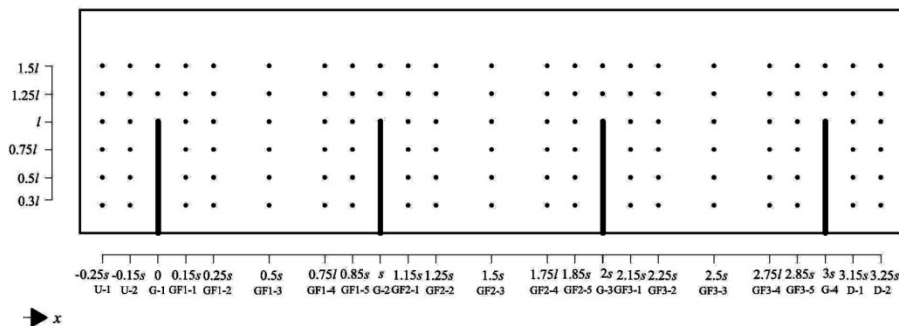
Empat buah groin ditempatkan berjajar di salah satu sisi saluran, melintang tegak lurus arah aliran (Gambar 1).

Eksperimen dilakukan tiga kali dengan jarak antar groin $s = 30, 45,$ dan 60 cm ($s/l = 2, 3,$ dan 4). Gambar 2 menampilkan skema instalasi eksperimen pola aliran di sekitar groin ini.



- Keterangan**
- 1. Bak air
 - 2. Pompa dengan kapasitas 15 L/s
 - 3. Kran
 - 4. Inlet
 - 5. Bak penenang hulu
 - 6. MicroADV 16-Mhz
 - 7. Point gauge
 - 8. Model bangunan groin
 - 9. Pintu pengatur muka air
 - 10. Outlet
 - 11. Pengatur kemiringan saluran

(A)



(B)

Gambar 2. Instalasi eksperimen pola aliran di sekitar groin. (A) Skema hidraulik. (B) Titik-titik pengukuran kecepatan aliran.

Debit aliran konstan $Q = 5.1 \text{ l/s}$ yang diukur dengan cara volumetrik di bak yang berada di hilir saluran. Kemiringan dasar saluran konstan $S = 0.0008$, diukur dengan bantuan waterpass. Kedalaman aliran pada ketiga eksperimen adalah $h = 22.1 \text{ cm}$. Kedalaman aliran diukur dengan limnimeter (*point gauge*). Tabel 1 merangkum parameter hidraulik aliran pada ketiga seri eksperimen.

Angka Froude, Fr , pada Tabel 1 dihitung dengan persamaan $Fr = Q/(bh^{1.5}g^{0.5})$, b adalah lebar saluran dan g adalah percepatan gravitasi, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Angka Reynolds dihitung dengan persamaan $Re = Q/(b\nu)$. Dalam persamaan tersebut ν adalah ketebalan kinematik air, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabel 1. Parameter aliran pada ketiga seri eksperimen aliran di sekitar groin

s/l (-)	Q (l/s)	h (cm)	S (-)	Fr (-)	Re (-)
2	5.1	22.1	0.0008	0.052	17000
3					
4					

Pengukuran kecepatan aliran

Kecepatan aliran diukur dengan MicroADV 16-Mhz yang mampu mengukur komponen tiga dimensi kecepatan aliran, u , v , dan w , yaitu komponen kecepatan aliran pada arah longitudinal x , arah lateral y , dan arah vertikal z . Alat ini mengukur kecepatan aliran suatu massa air berukuran (*sampling volume*) lebih kurang

0.09 cm^3 yang berada 5 cm dari ujung *transducer* (Uijtewaal, 1999).

Kecepatan aliran diukur di 122 titik pengukuran yang tersebar di 23 tampang lintang. Di setiap titik pengukuran, kecepatan diukur di 8 posisi kedalaman, posisi terendah pada 1 cm di atas dasar saluran dan posisi tertinggi pada 7 s.d. 7.5 cm di bawah muka air. Pada arah lateral, jarak terdekat titik pengukuran ke dinding saluran atau groin adalah 4.5 cm. Dimensi MicroADV tidak memungkinkan pengukuran di tempat yang berada lebih dekat ke batas domain model.

Frekuensi akuisisi (*sampling rate*) data kecepatan aliran adalah konstan 50 Hz dan waktu 60 menit. Dengan demikian, dari setiap pengukuran diperoleh 3000 kecepatan aliran. Data ini merupakan kecepatan aliran sesaat (*instantaneous velocity*). Sejumlah tindakan dilakukan untuk mendapatkan kualitas pengukuran yang baik. Kualitas data ukur yang baik dijamin dengan melakukan pengaturan MicroADV sehingga nilai *signal to noise ratio*, SNR, lebih daripada syarat minimum 15, serta nilai koefisien korelasi data pengukuran selalu di atas nilai minimum 70%.

Dekomposisi data kecepatan aliran

Data kecepatan aliran hasil pengukuran, yang merupakan kecepatan aliran sesaat, diolah untuk memisahkannya menjadi komponen kecepatan rata-rata dan komponen fluktuasi kecepatan menurut persamaan di bawah ini.

$$u = \bar{u} + u' \quad (1a)$$

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j \quad (1b)$$

Dalam persamaan di atas, \bar{u} adalah kecepatan rata-rata dari seluruh N data kecepatan sesaat arah x , dan u' adalah fluktuasi kecepatan arah x , yaitu selisih kecepatan sesaat dengan kecepatan rata-rata.

Dengan cara yang sama, dekomposisi kecepatan sesaat arah y dan z , menjadi komponen kecepatan rata-rata dan fluktuasi kecepatan dilakukan dengan persamaan:

$$v = \bar{v} + v' \quad (2a)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N v_j \quad (2b)$$

$$w = \bar{w} + w' \quad (3a)$$

$$\bar{w} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N w_j \quad (3b)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aliran di ruas hulu (approach flow)

Di setiap seri eksperimen, pengukuran diawali di ruas hulu yang berada cukup jauh dari groin pertama, yang dikenal sebagai *approach flow*. Aliran di bagian ini diupayakan merupakan aliran seragam (*uniform flow condition*).

Gambar 3 menampilkan profil aliran kecepatan dan tegangan Reynolds. Tanda garis atas pada notasi kecepatan aliran rata-rata telah dihilangkan untuk penyederhanaan tulisan. Untuk selanjutnya, tanda garis atas yang menunjukkan kecepatan rata-rata tidak lagi dituliskan, kecuali apabila kecepatan rata-rata muncul bersama-sama dengan kecepatan sesaat.

Tegangan Reynolds merupakan besaran tensor yang di-definisikan:

$$\tau_{ij}/\rho = -\overline{u'_i u'_j} \quad (4a)$$

Tegangan Reynolds di bidang z pada arah x dan y , sebagai misal, dapat dituliskan:

$$\tau_{zx}/\rho = -\overline{u'w'} \quad (4b)$$

$$\tau_{zy}/\rho = -\overline{v'w'} \quad (4c)$$

Dalam persamaan tersebut, ρ adalah rapat massa air. Seperti halnya tanda garis atas pada notasi kecepatan aliran rata-rata, maka tanda garis atas pada tegangan Reynolds untuk selanjutnya juga tidak dituliskan.

Berdasarkan profil tegangan Reynolds arah x , τ_{zx}/ρ , maka dapat ditetapkan nilai kuadrat kecepatan gesek (*friction velocity*), u_*^2 , yaitu dengan menarik garis lurus pada profil tegangan Reynolds tersebut sampai memotong dasar saluran. Dari data pengukuran, diperoleh nilai kecepatan gesek yang hampir sama untuk ketiga seri eksperimen, yaitu $u_* = 0.003$ m/s.

Dalam naskah ini, nilai kecepatan gesek pada *approach flow* dipakai sebagai referensi untuk mengubah kecepatan aliran, tegangan Reynolds, dan intensitas turbulensi menjadi besaran tak berdimensi.

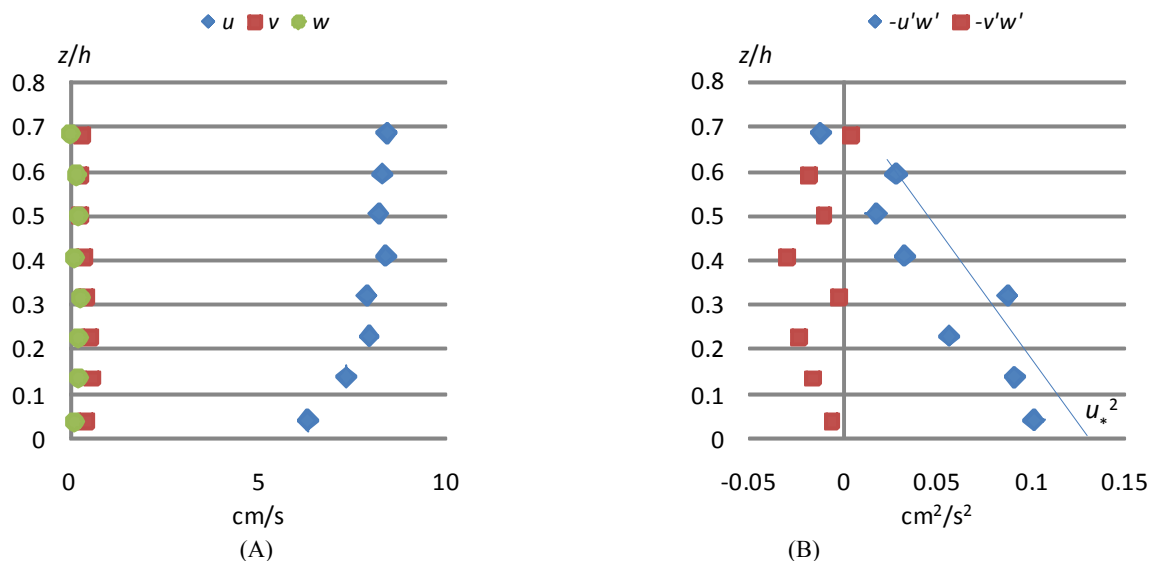
Kecepatan aliran

Kecepatan aliran di setiap titik ukur di sekitar groin dipresentasikan dengan profil kecepatan pada bidang horizontal (XY). Magnitud kecepatan aliran dinyatakan dalam besaran relatif terhadap kecepatan gesek di ruas hulu (*approach flow*), u_* , yang ditetapkan berdasarkan profil tegangan Reynolds.

Gambar 4, 5, dan 6 menampilkan tampak atas kecepatan aliran, $\bar{v}(u/u_*, v/u_*)$, di sekitar groin untuk ketiga seri eksperimen, $s/l = 2, 3$, dan 4. Pada setiap seri eksperimen ditunjukkan vektor kecepatan di dua kedalaman, yaitu di dekat muka air, $z/h \approx 0.70$, dan di dekat dasar saluran, $z/h \approx 0.05$. Perlu dicatat bahwa $z/h \approx 0.70$ merupakan posisi teratas pengukuran yang mampu dijangkau oleh alat ukur kecepatan MicroADV.

Gambar pola aliran di sekitar groin menunjukkan dengan jelas bahwa hanya satu pusaran yang terjadi. Jarak antar groin tidak berpengaruh terhadap jumlah pusaran. Di samping itu, bentuk pusaran hampir tidak berbeda di ketiga seri eksperimen. Hal ini berbeda dengan penelitian Uijtewaal (Klingeman and Owusu, 1984), maupun Weitbrecht et al. (Sontek, 2001). Bentuk pusaran yang hampir sama di ketiga jarak antar groin mirip dengan hasil pengukuran Muto et al. (Weitbrecht and Jirka, 2001).

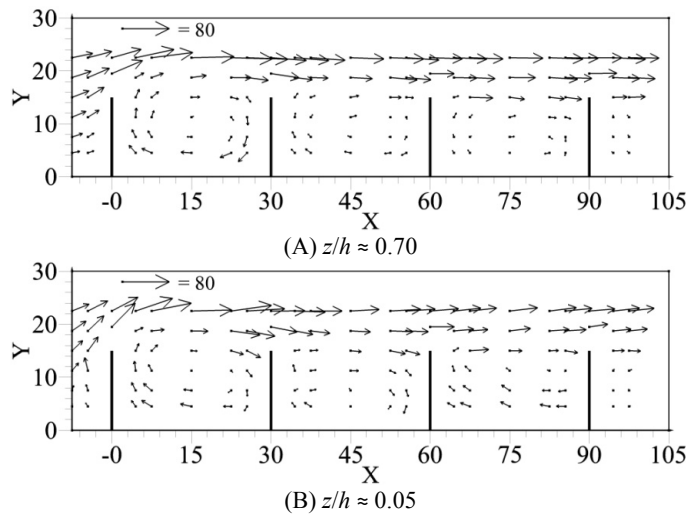
Pusaran di antara groin tampak terjadi di seluruh kedalaman aliran, baik pada jarak groin kecil maupun besar. Pola maupun magnitud kecepatan aliran di dekat muka air hampir tidak berubah sampai di dekat dasar saluran. Pola ini bertahan dari zona groin awal (hulu) sampai ke zona groin hilir, namun dengan magnitud kecepatan yang melemah. Di sisi luar pusaran dan di dekat muka air, kecepatan berkisar 15 di zona groin awal, dan berkurang menjadi 10 di zona groin hilir untuk jarak antar groin $s/l = 2$. Pengurangan magnitud kecepatan di zona groin hilir menunjukkan bahwa makin ke hilir, fungsi perlindungan groin terhadap erosi tebing bertambah efektif.



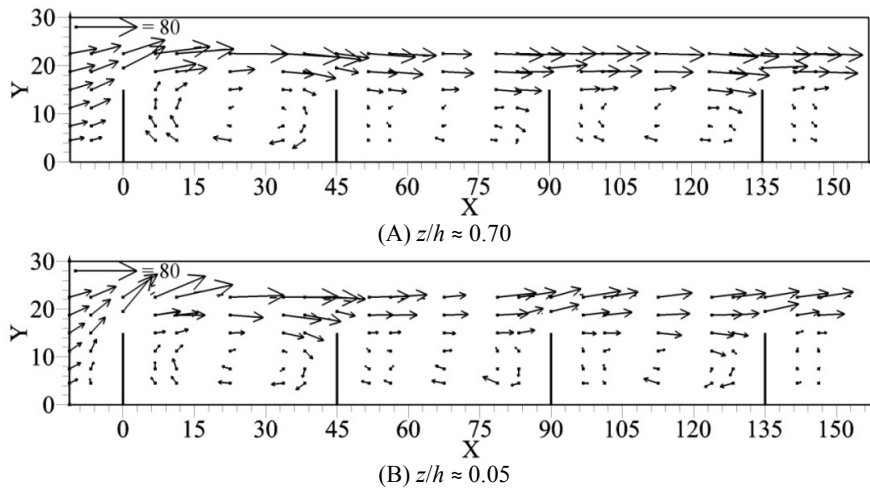
Gambar 3. Aliran di ruas hulu (*approach flow*). (A) Profil kecepatan aliran rata-rata. (B) Profil tegangan Reynolds.

Untuk ketiga seri eksperimen, kecepatan aliran di sisi luar groin, yaitu di sisi kiri saluran, berkisar pada 70. Jarak antar groin

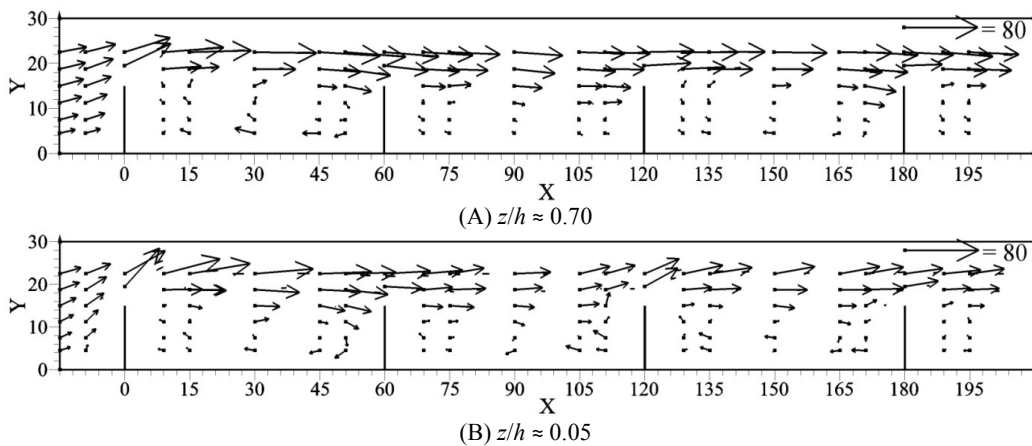
tampaknya tidak banyak berpengaruh terhadap pola aliran di sisi luar groin.



Gambar 4. Tampak atas pola aliran yang ditunjukkan oleh vektor kecepatan $\vec{V}(u/u_0, v/u_0)$ untuk jarak antar groin $s/l = 2$.



Gambar 5. Tampak atas pola aliran yang ditunjukkan oleh vektor kecepatan $\vec{V}(u/u_0, v/u_0)$ untuk jarak antar groin $s/l = 3$.



Gambar 6. Tampak atas pola aliran yang ditunjukkan oleh vektor kecepatan $\vec{V}(u/u_0, v/u_0)$ untuk jarak antar groin $s/l = 4$.

Intensitas turbulensi

Intensitas turbulensi dinyatakan sebagai nilai akar kuadrat dari nilai rata-rata komponen fluktuasi kecepatan menurut persamaan berikut:

$$\sqrt{\overline{u'u'}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (u_j - \bar{u})^2} \tag{5a}$$

$$\sqrt{\overline{v'v'}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (v_j - \bar{v})^2} \tag{5b}$$

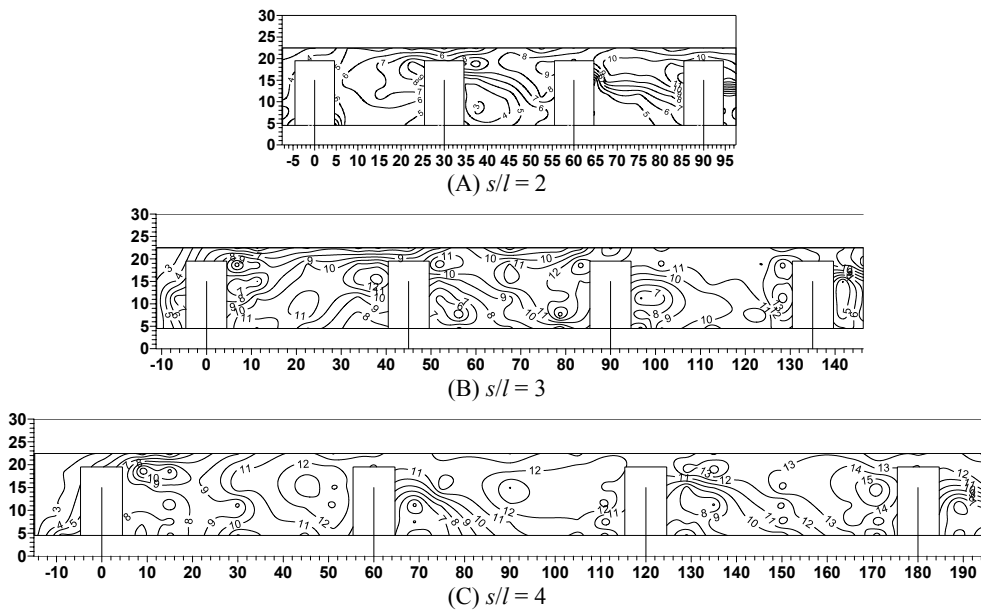
$$\sqrt{\overline{w'w'}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (w_j - \bar{w})^2} \tag{5c}$$

Gambar 7, 8, dan 9 menampilkan berturut-turut sebaran intensitas turbulensi untuk ketiga komponen arah *x*, *y*, dan *z*. Pada setiap komponen arah, ditampilkan sebaran intensitas turbulensi ketiga seri eksperimen, *s/l* = 2, 3, dan 4. Nilai intensitas turbulensi pada gambar-gambar tersebut dinormalkan terhadap kecepatan gesek pada *approach flow*.

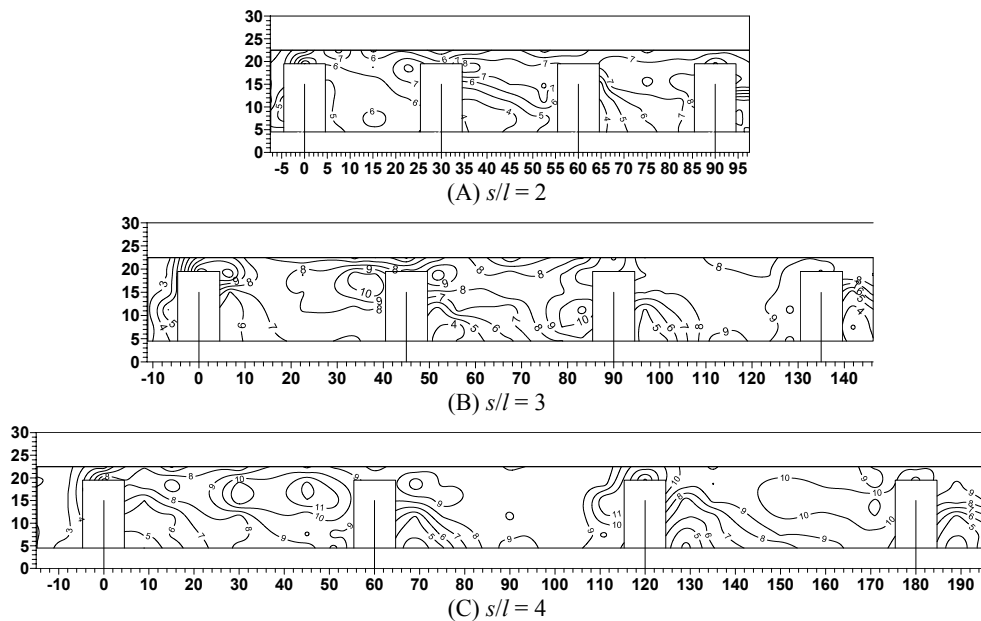
Masing-masing komponen arah intensitas turbulensi tampak memiliki pola sebaran yang mirip untuk pada ketiga jarak groin. Di luar groin, yaitu di sisi kiri saluran, menunjukkan turbulensi yang lebih tinggi daripada zona di dalam groin. Seiring dengan perjalanan aliran ke hilir, turbulensi di zona dalam groin meningkat. Kontur intensitas turbulensi menunjukkan bahwa zona yang berintensitas tinggi tersebut makin lebar dan makin memarah ke dalam zona groin.

Jarak antar groin tampak berpengaruh terhadap sebaran intensitas turbulensi. Zona berintensitas turbulensi tinggi pada kasus jarak antar groin *s/l* = 3 dan 4 tampak lebih lebar daripada pada kasus jarak antar groin *s/l* = 2. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Muto et al. (2002), maupun Duan (Muto, Imamoto, and Ishigaki, 2000).

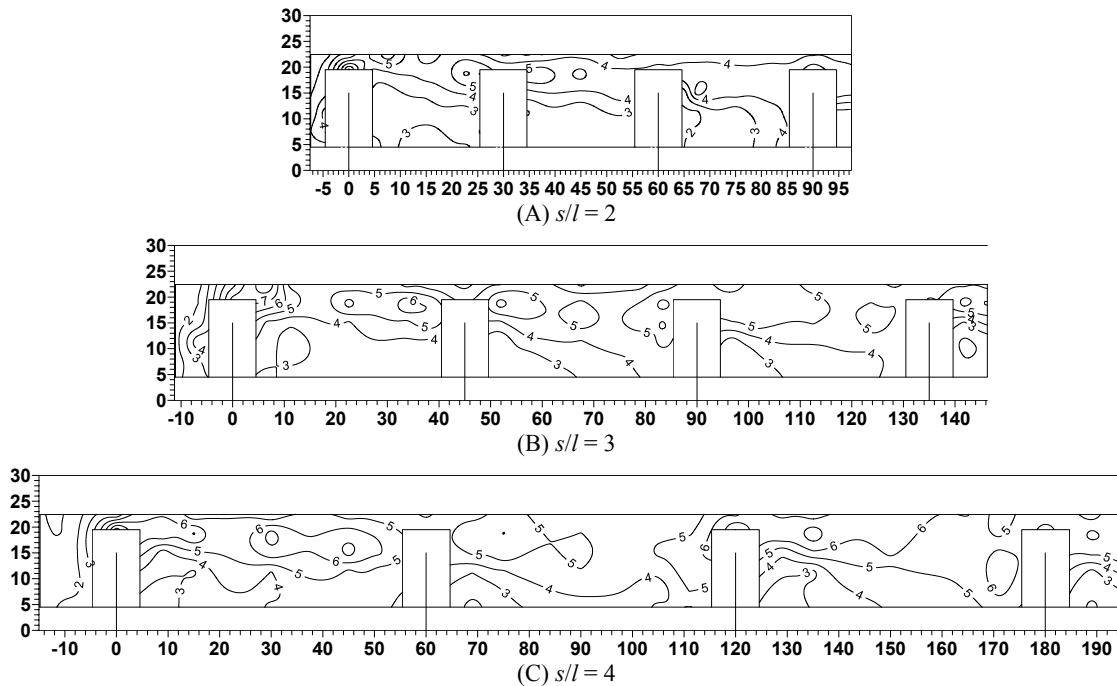
Khusus pada kasus jarak antar groin *s/l* = 2, zona turbulensi tinggi tidak terbentuk di zona groin awal. Baru pada zona groin kedua dan ketiga, mulai tumbuh zona berintensitas turbulensi tinggi.



Gambar 7. Intensitas turbulensi arah longitudinal, $\sqrt{\overline{u'u'}}/u_*$, di dekat dasar saluran pada kedalaman *z/h* = 0.05.



Gambar 8. Intensitas turbulensi arah lateral, $\sqrt{\overline{v'v'}}/u_*$, di dekat dasar saluran pada kedalaman *z/h* = 0.05.



Gambar 9. Intensitas turbulensi arah vertikal, $\sqrt{w'w'}/u_*$, di dekat dasar saluran pada kedalaman $z/h = 0.05$.

KESIMPULAN

Pola aliran di antara groin dicirikan oleh satu pusaran yang memenuhi hampir seluruh zona dalam groin (zona di antara groin). Jarak antar groin tidak menunjukkan pola aliran yang berbeda. Peredaman kecepatan aliran di zona dalam groin lebih besar pada jarak antar groin pendek. Semakin lebar jarak antar groin, semakin kecil tingkat peredaman kecepatan aliran.

Jarak antar groin tidak menghasilkan pola sebaran intensitas turbulensi yang berbeda. Ke arah melintang saluran, intensitas turbulensi tinggi terjadi di luar zona groin. Di zona groin, intensitas turbulensi turun. Ke arah hilir, intensitas turbulensi tinggi makin lebar dan mulai masuk ke zona groin.

Dimensi MicroADV yang dipakai dalam penelitian ini tidak memungkinkan pengukuran kecepatan aliran di dekat batas domain. Hal ini menyebabkan karakteristik aliran di tempat dekat dinding maupun di dekat groin tidak dapat diteliti.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Teknik UGM yang telah memberikan dana untuk pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih disampaikan pula kepada Laboratorium Hidraulika, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM, yang telah menyediakan fasilitas *flume* dan instrumen ukur pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Duan, J.G. (2009). "Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike." *J. Hydr. Div., ASCE*, 135(10), 803-811.
- Klingeman, P.C., Kehe, S.M. and Owusu, Y.A. (1984). "Stream-bank erosion protection and channel scour manipulation using rockfill dikes and gabions." *Water Resources Research Institute Report No. WRRRI-98*, Oregon State Univ., Corvallis, Ore.
- Muto, Y., Baba, Y. and Aya, S. (2002). "Velocity measurements in open channel flow with rectangular embayments formed by spur dykes." *Annals of Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ.*, N45B-2.
- Muto, Y., Imamoto, H. and Ishigaki, T. (2000). "Velocity measurements in a rectangular embayments attached to a straight open channel." *Annals of Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ.*, N43B-2.
- SonTek. (2001). *SonTek/YSI ADVField/Hydra Operation Manual*, SonTek/YSI, Inc., San Diego.
- Uijtewaal, W.S.J. (1999). "Groyne field velocity patterns determined with particle tracking velocimetry." *Proc. of 28th IAHR Congress*, Graz, Austria.
- Weitbrecht, V. and Jirka, G.H.J. (2001). "Flow patterns and exchange processes in dead zones of rivers." *Proc. of 29th IAHR Congress*, Beijing, China.