

repository.ub.ac.id

KAJIAN DISTRIBUSI TEGANGAN GESER DI SALURAN MENIKUNG 120° DENGAN ACOUSTIC DOPPLER VELOCIMETER (ADV)

Afrizal Ribkhi Falah¹, Sumiadi², M. Janu Ismoyo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

²Dosen Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
e-mail: afrizal.rf@gmail.com

ABSTRAK

Saluran menikung memiliki karakteristik aliran yang lebih kompleks. Belokan menyebabkan distribusi kecepatan yang tidak merata. Kerusakan tebing sering ditemukan pada tebing sisi luar sungai dan pengendapan di sisi dalam. Kecepatan dan tegangan geser merupakan parameter penting untuk mengetahui fenomena tersebut. Penelitian menggunakan saluran segi empat dengan material dinding dan dasar berupa lapisan semen, lebar 50 cm, dan dasar tetap dengan kemiringan dasar 0,00019. Penelitian menggunakan *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV) sebagai alat ukur kecepatan 3D. Dari hasil pengukuran awal diperoleh debit 20lt/dt, *sampling rate* 25 Hz dan *velocity range* 100 cm/s. Aliran pada belokan saluran adalah turbulen sub-kritis. Inlet belokan dan C60 masih terpengaruh belokan hulu sehingga kecepatan tangensial besar di sisi dalam. Pada distribusi tegangan geser Reynolds, daerah dekat dasar dan pada sisi dalam tikungan memiliki nilai yang lebih besar. Adanya belokan pertama di hulu saluran berpengaruh kepada distribusi kecepatan dan tegangan geser di saluran menikung. Parameter lain yang dianalisis adalah kecepatan geser dengan metode Clauser dan metode distribusi tegangan Reynolds. Hasil analisa menunjukkan adanya perbedaan hasil sebesar 14,33%.

Kata kunci: tegangan geser, saluran terbuka, ADV, belokan saluran

ABSTRACT

The curved channel have more complex flow characteristics than straight channel. The existence of the bend cause uneven velocity distribution. River bank erosion is often being found on the outer side and sedimentation at the inner side of the bend. Velocity and shear stress distribution is important parameters to know that phenomenon. This research using quadrangle channel with bed and wall material of a layer of cement with a channel width of 50 cm and fixed bed with bed slope of 0.00019. This research was carried out using Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) as 3D velocity measurement instrument. The result of initial measurement was obtained flow rate of 20lt/sec with a sampling rate of 25 Hz and velocity range of 100 cm/sec. The flow of curved channel is turbulent sub-critical flow. When entering the inlet of the bend, the velocity distribution is still affected by the first bend in upstream so that the tangential velocity of inner side is greater than the outer side. The distribution of Reynolds's shear stress, at region near the bed have greater value. The shear stress distribution of inner side is greater than the outer side of the bend. The existence of the first bend in upstream cause uneven velocity distribution which affect the velocity and shear stress distribution in the curved channel. Another paramters that analyzed in this research was shear velocity using Clauser method and Reynolds stress distribution method. The result show differences between the two methods was 14,33%.

Keywords: shear stress distribution, open-channel bend, ADV

1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang karakteristik aliran di saluran meniskus sudah pernah dilakukan pada masa-masa sebelumnya. Dalam lima belas tahun terakhir, penelitian dengan meninjau tiga komponen kecepatan dilakukan oleh Blanckaert (2003), yaitu meninjau komponen kecepatan tangensial, radial, dan vertikal dengan menggunakan instrumen untuk pengukuran kecepatan *Acoustic Doppler Velocimeter Profiler (ADVP)*.

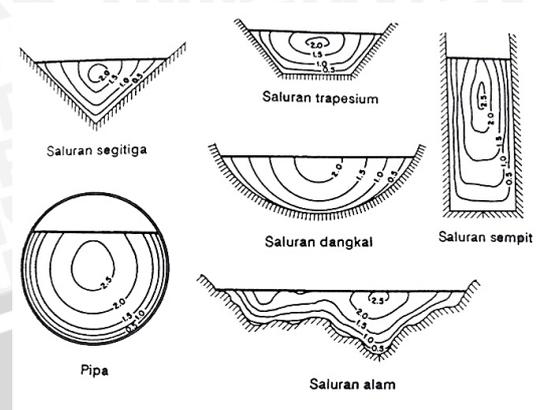
Saluran meniskus memiliki karakteristik aliran yang lebih kompleks dibanding pada saluran yang lurus. Adanya belokan menyebabkan distribusi kecepatan yang tidak merata, sehingga nilai kecepatan transversal pada belokan meningkat. Meningkatnya nilai kecepatan transversal menimbulkan aliran sekunder pada saluran.

Salah satu bentuk saluran meniskus di alam adalah sungai bermeander. Permasalahan yang umum dijumpai pada sungai bermeander adalah kerusakan pada bagian luar tikungan dan pengendapan pada sisi dalam tikungan. Gerusan dan pengendapan erat kaitannya dengan pergerakan sedimen. Kondisi dimana sedimen akan bergerak dinamakan kondisi kritis, dan parameter penting seperti kecepatan aliran dan tegangan geser juga mencapai kondisi kritiknya. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui pola distribusi tegangan geser pada belokan saluran, mengetahui fenomena dan potensi dari dampak yang ditimbulkan, serta membandingkan nilai kecepatan geser dari dua metode berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Aliran di Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran yang mengalirkan air pada permukaan bebas. Dengan adanya permukaan bebas dan gesekan di sepanjang dinding saluran terbuka, maka pembagian kecepatan pada saluran terbuka tidak merata dalam penampang saluran (Chow, 1985, p.24).

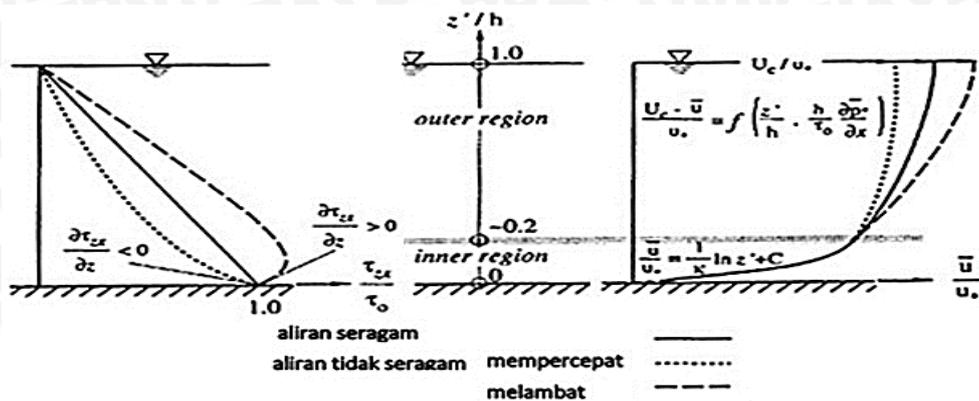


Gambar 1. Kurva kecepatan pada berbagai penampang saluran
Sumber: Chow (1985, p.25)

Distribusi Kecepatan

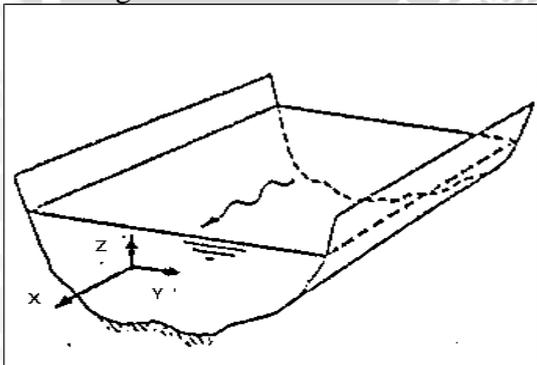
Distribusi kecepatan menurut teoritik yang diteliti dibagi menjadi dua bagian yaitu *inner region* dan *outer region*. Pada daerah *inner region*, $z/H \leq 0.2$, perbedaan kecepatan adalah cukup besar. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh tegangan geser, karakteristik aliran, kekerasan dasar, dan kedalaman dari dasar saluran. Pada daerah *outer region*, $0.2 < z/H \leq 1$, memiliki perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar dan nilai kecepatan dipengaruhi oleh kecepatan maksimum, kedalaman aliran, dan gradient kecepatan, tapi tidak dipengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dan kekerasan dasar (Graf, 1998, p.44)

Pada belokan saluran, kecepatan akan semakin meningkat dan menimbulkan gaya sentrifugal pada aliran. Sedangkan angin pada permukaan bebas memiliki pengaruh yang kecil dalam pembagian kecepatan. Dalam penelitian di laboratorium menyatakan bahwa aliran di saluran prismatis yang lurus memiliki kecepatan tiga dimensi yaitu kecepatan aliran longitudinal (u), kecepatan aliran transversal (v), dan kecepatan aliran vertikal (w) (Chow, 1985, p.25).



Gambar 2. Distribusi tegangan geser dan kecepatan pada inner region dan outer region
 Sumber: Graf (1998, p.49)

Secara umum, arah yang berkerja pada suatu bidang tertentu dapat disimbolkan dalam sumbu koordinat x, y dan z. Pada sistem koordinat kartesian arah x, y dan z merupakan arah longitudinal (u), transversal (v), dan vertikal (w) di saluran lurus. Sedangkan pada sumbu koordinat silindris arah x, y dan z merupakan arah tangensial (v_θ), radial (v_r), dan vertikal (v_z) di saluran menikung.



Gambar 3. Tampilan Arah Aliran 3D
 Sumber: Jansen (1979, p.39)

▪ **Tegangan Geser Reynolds**

Menurut prosedur Reynolds, pada aliran turbulen tegangan geser pada ketinggian z dari dasar saluran di dalam suatu aliran tetap dan seragam dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\tau = \rho \vartheta \left(\frac{\partial v_\theta}{\partial x_z} + \frac{\partial v_z}{\partial x_\theta} \right) - \rho \overline{v'_z v'_\theta}$$

Suku pertama menunjukkan tegangan yang diakibatkan oleh kekentaaan air (viskositas), ν , sedangkan suku terakhir menunjukkan pengaruh fluktuasi kecepatan yang dikenal sebagai **tegangan Reynolds** (Istiarto, 2009 dalam Sumiadi, 2014, p.12).

Pada aliran turbulen, pengaruh fluktuasi kecepatan jauh lebih besar, sehingga pengaruh kekentalan air dapat diabaikan. Sehingga, persamaan diatas menjadi:

$$\tau_{\theta z} = -\rho \overline{v'_\theta v'_z}$$

▪ **Kecepatan Geser**

Pemahaman tentang karakteristik kecepatan gesek dasar, u_* , atau tegangan gesek dasar, τ_o , sering kali dikaitkan dengan proses perubahan profil dasar sungai. Pada sungai menikung, proses degradasi (gerusan) cenderung terjadi pada sisi luar tikungan, sedangkan proses agradasi (deposisi) terjadi pada sisi dalam tikungan (Kironoto et al, 2012, p.239).

Untuk menentukan kecepatan geser, u_* , atau tegangan geser, τ_o , pada saluran terbuka, dapat digunakan beberapa metode, yaitu: metode yang didasarkan pada persamaan garis energy ($u_* = \sqrt{g R_h S}$), metode Clauser (Berdasarkan data pengukuran distribusi kecepatan), dan metode distribusi tegangan Reynolds (Kironoto et al, 2012, p.240).

Perhitungan kecepatan geser dengan menggunakan metode distribusi tegangan Reynolds adalah dengan menggunakan data pengukuran tegangan Reynolds arah tangensial, $\tau_{z\theta}$ dan ekstrapolasi (atau regresi) data tersebut pada $z = 0$, maka diperoleh nilai tegangan geser dasar. Tegangan geser Reynolds dituliskan pada persamaan berikut (sumiadi, 2014, p.116):

$$\frac{\tau}{\rho} = u_*^2 = -\overline{v'_z v'_\theta} [z=0]$$



Perhitungan kecepatan geser dengan metode Clauser didasarkan pada data pengukuran distribusi kecepatan bersama-sama dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik. Metode ini banyak digunakan dengan pertimbangan kemudahan penggunaannya dan tingkat ketelitiannya yang cukup tinggi. Dari beberapa penelitian terdahulu, diketahui bahwa metode Clauser dapat memberikan tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan metode yang didasarkan pada penerapan persamaan energi. (Kironoto, 2007, p.566).

Pada metode Clauser, kecepatan rata-rata titik dari data pengukuran distribusi kecepatan di daerah *inner region*, sebagai ordinat, diplotkan dengan nilai $\ln(z/k_s)$ sebagai absisnya. Bilamana plot data pengukuran distribusi kecepatan membentuk korelasi (*trend*) linear, artinya masih mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser dapat digunakan. Dengan

metode pencocokan kurva (regresi linear), dapat diperoleh nilai u_* dan Br (Kironoto, 2007, p.568).

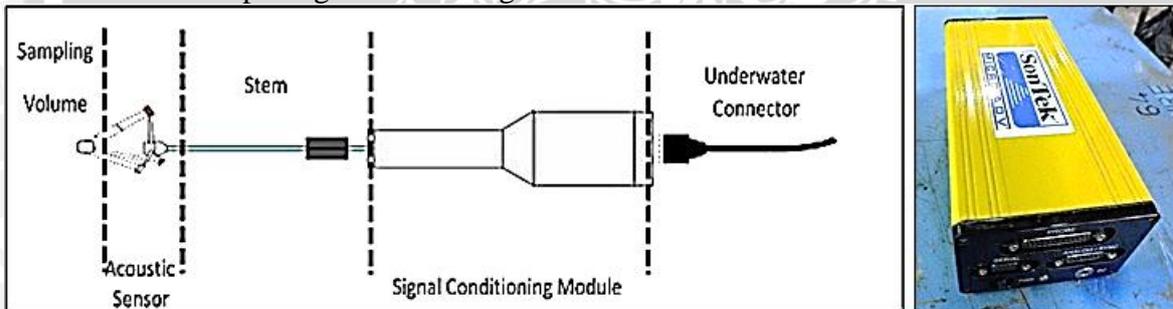
Rumus distribusi kecepatan logaritmik (*the law of the wall*) di daerah *inner region*, yang dibatasi oleh $z/H \leq 0.2$ dapat dirumuskan sebagai berikut (kironoto, 2007, p.567):

$$\frac{\bar{v}}{u_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{k_s}\right) + Br$$

▪ **Acoustic Doppler Velocimeter**

Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) merupakan suatu alat atau instrument pengukur kecepatan aliran yang memiliki tingkat akurasi sebesar 99% (penyimpangan ± 0.25 cm/s). Instrument ini dapat mengukur kecepatan aliran dalam 3 arah sumbu koordinat. ADV yang digunakan adalah *type 10 MHz* (*Acoustic Doppler Velocimeter principles of operation*, 2001, p.7).

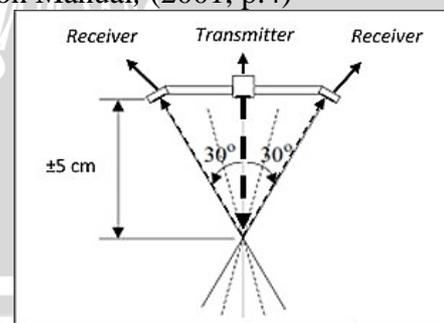
Secara garis besar, komponen ADV adalah *probe*, *signal processing hardware*, dan kabel konektor.



Gambar 4. Komponen ADV: *Probe* (kiri) dan *Signal Processing Hardware* (kanan)

Sumber: ADV Field/Hydra Operation Manual, (2001, p.4)

Cara kerja ADV yaitu *signal processing hardware* menghasilkan sinyal listrik kemudian diubah menjadi sinyal akustik oleh *probe*. *Transmitter* pada *probe* memancarkan gelombang akustik dan *receiver* menerima gelombang akustik yang dipantulkan oleh pergerakan aliran pada *sampling volume* (± 5 cm dari *receiver*). Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengukur selisih frekuensi atau panjang gelombang yang dipancarkan *transmitter* dan frekuensi atau panjang gelombang yang diterima *receiver* (*Acoustic Doppler Velocimeter principles of operation*, 2001, p.1).



Gambar 5. Prinsip Kerja ADV

Sumber: *Acoustic Doppler Velocimeter principles of operation* (2001, p.3)

3. METODE PENELITIAN

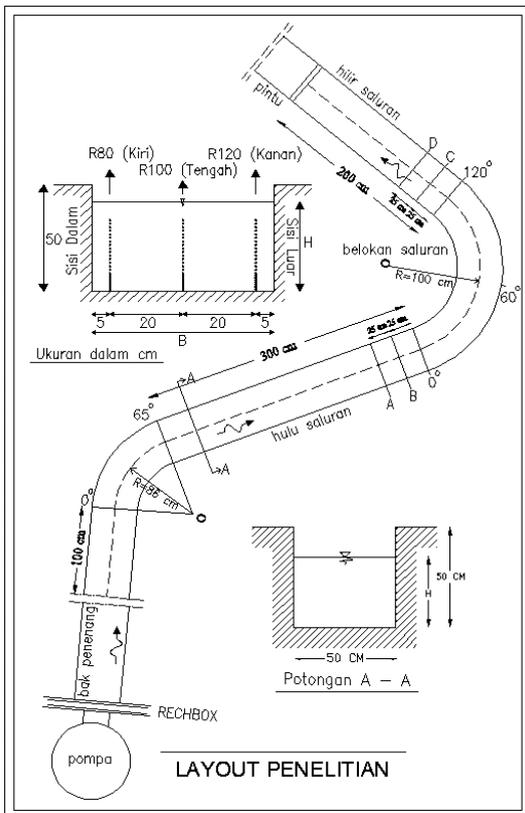
Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Saluran yang digunakan berupa saluran segi empat dengan lebar 50 cm. Objek penelitian berupa saluran meniskus 120° dengan jari-jari As 100 cm.

Pada bagian hulu terdapat belokan dengan sudut 65° dengan jari-jari As 86 cm dan saluran lurus dengan panjang 300cm. Pada bagian hilir terdapat saluran lurus sepanjang 200 cm dan pintu pengatur muka air (*tail gate*). Dasar saluran merupakan dasar tetap (*fixed bed*) dengan kemiringan dasar saluran 0.00019. Penelitian dilakukan dengan debit pengaliran sebesar 20 l/s.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Alat ukur debit (Rechbox)
- Alat pengukur tinggi muka air (*point gauge*)
- Alat Pengukur Kecepatan Aliran 3D (ADV tipe 10-MHz ADV Probe)
- Pompa
Pintu pengatur muka air (*tail gate*)

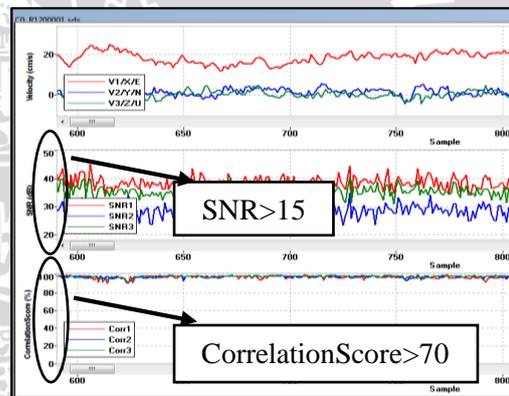


Gambar 6. Layout Saluran

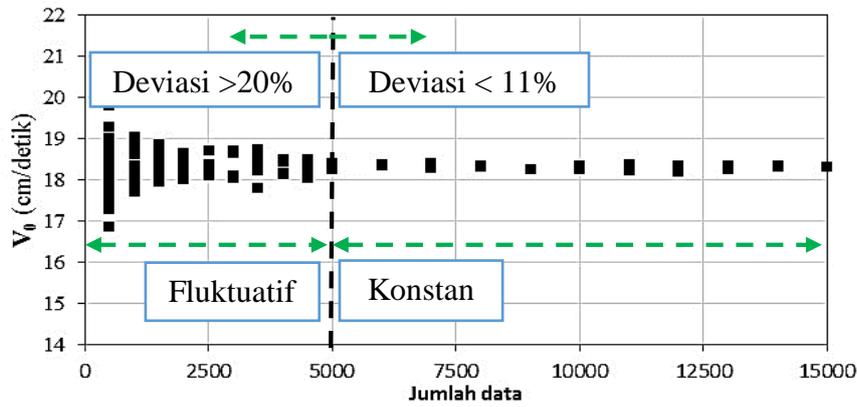
4. PEMBAHASAN

▪ Pengukuran Awal

Pengukuran awal ditujukan untuk menentukan *sampling rate* dan *velocity range*, debit dan jumlah data yang nantinya digunakan dalam pengukuran. Pengukuran dilakukan pada *section C0* dengan $z = 4.4$ cm dengan total pengambilan data sebanyak 15000 data. Pengukuran dilakukan pada debit konstan 20 lt/dt dimana pemilihan debit ini mempertimbangkan keadaan aliran dan kualitas data (SNR > 15 dan nilai korelasi > 70%). Penelitian menggunakan *Sampling Rate* 25 Hz dan *Velocity Range* 100 cm/dt. Pengukuran awal juga digunakan untuk menentukan jumlah data pada pengukuran di setiap titiknya berdasarkan nilai kecepatan rerata yang relatif stabil.



Gambar 7. Tampilan *real-time* pengukuran ADV



Gambar 8. Penentuan Jumlah Data
Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik kecepatan tangensial diatas dapat dilihat bahwa pengambilan kurang dari 5.000 data masih sangat fluktuatif, sedangkan pengambilan 5.000 sampai 15.000 data sudah relatif konstan. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengukuran pada besaran 5.000 data sudah dapat menggambarkan kondisi aliran secara rata-rata.

▪ **Distribusi Kecepatan**

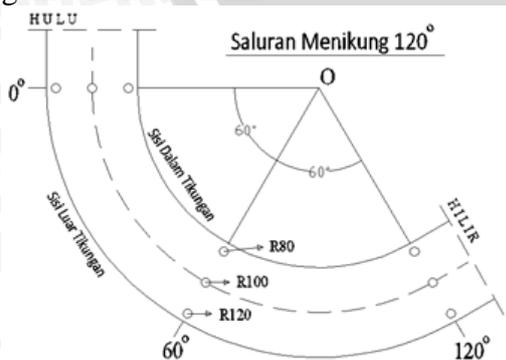
Parameter hidraulik aliran untuk penelitian di Saluran Menikung 120° adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter hidrolik aliran hulu

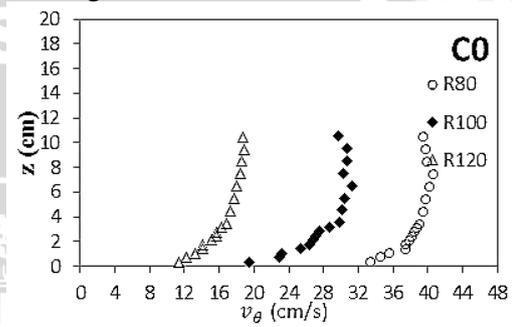
B	H	S	Radius	Q	V	Fr	Re
(m)	Rerata (m)	(m)	Tengah (m)	(m ³ /s)	(m/s)		
0.5	0.17	0.00019	1.00	0.02	0.236	0.182	29.613

Sumber: Hasil Perhitungan

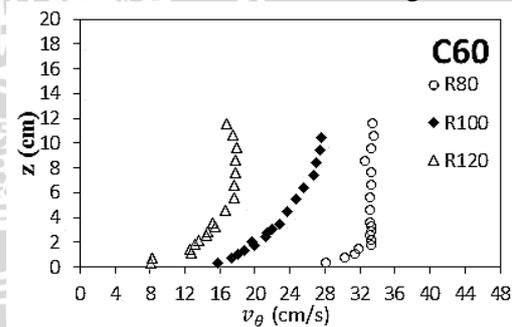
Pengukuran kecepatan dilakukan dengan ADV pada beberapa section di saluran menikung, yaitu section C0, C60 dan C120 seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



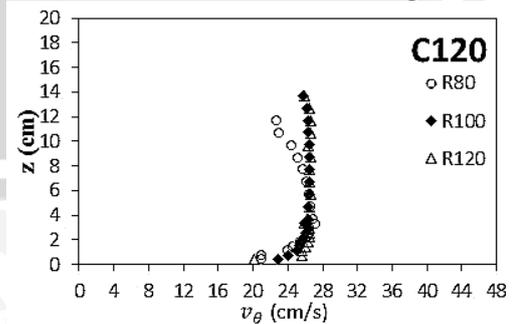
Gambar 9. Lokasi Pengukuran
Kondisi aliran di belokan digambarkan dalam grafik distribusi kecepatan berikut.



Gambar 10. Distribusi Kecepatan Tangensial pada section C0
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 11. Distribusi Kecepatan Tangensial pada section C60
Sumber: Hasil Perhitungan



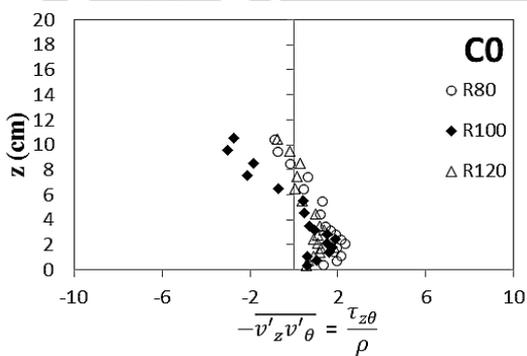
Gambar 12. Distribusi Kecepatan Tangensial pada section C120
Sumber: Hasil Perhitungan



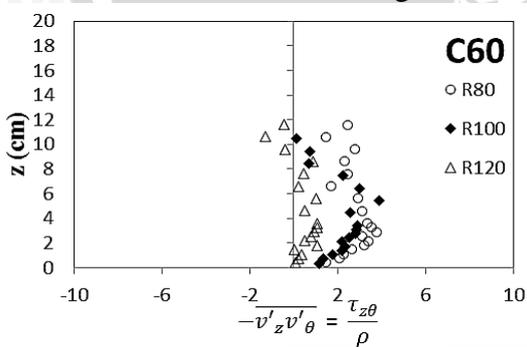
Kecepatan tangensial pada inlet belokan (C0) menunjukkan distribusi kecepatan tidak merata dan maksimum di sisi dalam tikungan. *Section* C60 menunjukkan bagian dalam (R80) memiliki nilai lebih besar. Pada outlet belokan (C120), distribusi kecepatan menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda pada R80, R100, dan R120, hanya pada sisi dalam bagian dekat permukaan yang terlihat mengalami perlambatan. Sisi luar pada C120 sudah mulai menunjukkan nilai yang lebih besar. Adanya belokan 65° di hulu saluran memberi pengaruh pada distribusi kecepatan di belokan 120°.

▪ **Tegangan geser Reynolds**

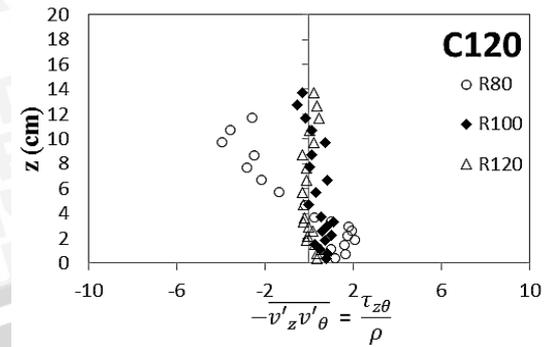
Hasil perhitungan tegangan geser Reynolds pada setiap *cross section* dan radius tersaji pada Gambar berikut.



Gambar 13. Distribusi Tegangan Reynolds pada *section* C0
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 14. Distribusi Tegangan Reynolds pada *section* C60
Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 15. Distribusi Tegangan Reynolds pada *section* C0
Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik diatas, secara umum daerah dekat dasar pada ketiga *section* memiliki nilai tegangan geser cenderung lebih besar. Pada C0, daerah dekat permukaan memiliki nilai negatif. Pada C60, dapat dilihat bahwa R80 dan R100 menunjukkan nilai tegangan geser yang lebih besar dari pada R120. Sisi luar tikungan dekat permukaan memiliki nilai tegangan geser negatif. Pada C120, ketiga profil memiliki nilai tegangan geser negatif, dan R80 memiliki nilai yang lebih besar (negatif) pada daerah dekat permukaan.

Jadi, dapat diketahui bahwa daerah dekat dasar yang bersentuhan langsung dengan tepi saluran memiliki nilai tegangan geser yang besar. Hal ini dapat memunculkan potensi gerusan pada dasar saluran. Sedangkan pada dinding saluran, C60 menunjukkan nilai yang signifikan pada bagian dalam tikungan dimana R80 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan R120 yang merupakan sisi luar belokan dan pada sisi dalam tikungan di C120 menunjukkan nilai yang lebih besar (negatif).

▪ **Kecepatan Geser**

Penentuan nilai dari kecepatan geser, u_* di saluran terbuka dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain: berdasarkan pada persamaan garis energi, metode Clauser, dan metode distribusi tegangan Reynolds. Namun pada bahasan ini, hanya menggunakan metode distribusi tegangan Reynolds dan metode Clauser.

Tabel 2. Nilai kecepatan geser dari metode distribusi tegangan Reynolds dan metode clausser

No	Section	Metode Tegangan Reynolds			Metode Clausser		
		R80	R100	R120	R80	R100	R120
1	C0	1.19	1.04	0.70	1.02	1.67	0.95
2	C60	0.93	1.01	1.14	0.91	1.17	1.36
3	C120	1.22	0.86	0.94	1.22	0.58	0.83

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan metode distribusi tegangan reynolds, nilai kecepatan geser rata-rata adalah $C0 = 0.982$ cm/s, $C60 = 1.030$ cm/s, dan $C120 = 1.012$ cm/s. Nilai kecepatan geser maksimum ada pada C120 R80 yaitu 1.226cm/s.

Berdasarkan hasil perhitungan metode Clausser, nilai kecepatan geser rata-rata adalah $C0 = 1.218$ cm/s, $C60 = 1.151$ cm/s, dan $C120 = 0.880$ cm/s. Nilai kecepatan geser maksimum berada pada C0R100 dengan nilai 1.677 cm/s.

Perbedaan nilai rerata kedua metode pada Section C0 adalah sebesar 19.4%. Sedangkan perbedaan nilai rerata kecepatan geser Section C60 adalah 10.5%. Dan perbedaan pada Section C120 adalah sebesar 13.05%. Secara rata-rata, perbedaan nilai kecepatan geser dari kedua metode adalah sebesar 14.33%.

5. KESIMPULAN

1. Dari Distribusi tegangan geser Reynolds, daerah dekat dasar yang bersentuhan langsung dengan tepi saluran memiliki nilai tegangan geser yang besar. Hal ini dapat memunculkan potensi gerusan pada dasar saluran.
2. Distribusi tegangan geser pada sisi dalam menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan sisi luar tikungan dan sisi dalam C120 dekat permukaan menunjukkan nilai negatif. Adanya belokan 65° di hulu saluran menyebabkan distribusi kecepatan tidak merata pada aliran setelahnya sehingga memberi pengaruh kepada distribusi kecepatan dan tegangan geser di saluran menikung.

3. Selain dari tegangan geser, parameter lain yang dianalisis adalah kecepatan geser dengan metode Clausser dan metode distribusi tegangan Reynolds. Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan hasil pada kedua metode tersebut dengan perbedaan rerata sebesar 14.33%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2001. *Acoustic Doppler Velocimeter principles of operation*. San Diego: Sontek/YSI
- Anonim. 2001. *ADV Field/Hydra Operation Manual*. San Diego: Sontek/YSI
- Chow, Ven Te. 1985. *Open Channel Hydraulics*. Terjemahan Ir. Suyatman, Ir. VFX. Kristanto Sugiharto., Ir. E.V. Nensi Rosalia. Jakarta: Erlangga.
- Graf, W. H. 1998. *Fluvial Hydraulics*. West Sussex, England: John Wiley & Son Ltd.
- Jansen, P.Ph., Bendegom, L van., Berg, J. van den, Vries, M. de dan Zanen, A. 1979. *Principles of River Engineering*. London: Pitman Publishing Limited.
- Kironoto, B.A. 2007. *Pengaruh Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) Terhadap Distribusi Kecepatan Gesek Arah Transversal Pada Aliran Seragam Saluran Terbuka*. Forum Teknik Sipil No. XVII: 566-579.
- Kironoto, B.A., Yulistianto, bambang., Istiarto., Sumiadi., Nugroho, bayu., dan Ariyanto, anton. 2012. *Validasi Metode Clausser Untuk Penentuan Kecepatan Gesek, U^* , Pada Saluran Menikung*. Dinamika Teknik Sipil/Vol.12/No.3: 239-246.
- Sumiadi. 2014. *Aliran pada Saluran Menikung Dasar Rata dan Tergerus*. *Disertasi*. Tidak dipublikasikan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.