

THE VALIDITY OF CLAUSER'S METHOD FOR DETERMINING SHEAR VELOCITY, u_* , IN A CURVED CHANNEL

VALIDITAS METODE CLAUSER UNTUK PENENTUAN KECEPATAN GESEK, u_* , PADA SALURAN MENIKUNG

Bambang Agus Kironoto¹⁾, Bambang Yulistiyanto²⁾, Istiarto³⁾, Sumiadi⁴⁾, Bayu Nugroho⁵⁾, dan Anton Ariyanto⁶⁾
^{1),2),3)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika No.2 Yogyakarta 55281

⁴⁾ Mahasiswa Program Doktor, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta 55281

^{5),6)} Mahasiswa Program Magister, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

In a straight open channel flow, the Clauser's method, which is based on the measured velocity profile and the logarithmic velocity law, can be used to determine the wall shear velocity, u_* , accurately. For a curved open channel flow, however, with its complexities, it can be questionable whether the Clauser's method can still be used or not. In this paper, the validity of the Clauser's method in a curved channel was evaluated, based on the inner region data of velocity profiles, plotted in the form of logarithmic coordinate; if the plotted data show linear correlation, it means that the Clauser's method can still be used to determine the wall shear velocity. Thirty-five of laboratory velocity profiles data obtained from seven different cross-sections of 180°-curved open channel flow, were evaluated to determine the wall shear velocity. The analyses of the measured data showed that in the beginning of the curved channel, i.e., from the angle of 0° to 30°, all of the measured velocity profiles data were observed still following the logarithmic velocity distribution, either for the measured data in the middle or in the edge part of the channel. However, starting from the angle of 60° to 180°, some of the data, especially those close to the inner and outer banks of the curved channel, begin to deviate from the logarithmic law. The deviations become more significant for the larger angle of the curved channel. Nevertheless, in the middle part of all of the cross sections of the curved channel, there are at least one or two profiles which still follow the logarithmic velocity distribution, and the friction velocities, thus, can still be calculated by using the Clauser's method with some restrictions.

Key words: wall shear velocity, laboratory data, curved channel, Clauser's method

ABSTRAK

Metode Clauser yang didasarkan pada data distribusi kecepatan dan hukum distribusi kecepatan logaritmik, biasa digunakan untuk menentukan kecepatan gesek, u_* , pada saluran lurus. Akan tetapi untuk saluran menikung, dengan kondisi alirannya yang lebih kompleks, dapat dipertanyakan apakah metode Clauser masih dapat dipergunakan atau tidak. Dalam tulisan ini, validitas metode Clauser akan dievaluasi dengan berdasarkan data distribusi kecepatan *inner region*, yang diplotkan dalam koordinat (hukum) logaritmik. Jika plot data memperlihatkan korelasi linear, dapat diartikan bahwa metode Clauser masih dapat digunakan untuk memprediksi kecepatan gesek. Tiga puluh lima data distribusi kecepatan laboratorium yang diperoleh dari tujuh tampang yang berbeda pada saluran menikung 180° telah dievaluasi dan digunakan untuk menentukan kecepatan gesek dasar. Hasil evaluasi memperlihatkan bahwa pada awal tikungan, yaitu mulai sudut tikungan 0° sampai dengan 30°, semua data distribusi kecepatan, baik untuk data di tengah maupun di tepi saluran, masih mengikuti hukum distribusi kecepatan logaritmik. Akan tetapi, untuk sudut tikungan yang lebih besar, mulai sudut 60° sampai dengan 180°, beberapa data, terutama yang berada di bagian sisi dalam dan sisi luar tikungan mulai menyimpang dari persamaan logaritmik; semakin besar sudut tikungan, penyimpangan yang terjadi semakin besar. Namun demikian, di bagian tengah saluran, ada satu sampai dua data distribusi kecepatan yang masih mengikuti hukum logaritmik, sehingga dapat dikatakan bahwa metode Clauser masih dapat dipergunakan, dengan beberapa batasan.

Kata-kata kunci: kecepatan gesek, data laboratorium, saluran menikung, metode Clauser

PENDAHULUAN

Pemahaman tentang karakteristik kecepatan gesek dasar, u_* , atau tegangan gesek dasar, τ_0 , sering kali dikaitkan dengan proses perubahan profil dasar sungai. Proses degradasi dan akresi dasar sungai dapat terjadi baik pada sungai-sungai lurus maupun pada sungai-sungai menikung. Pada sungai menikung, pro-

ses degradasi (gerusan) cenderung terjadi pada sisi luar tikungan, sedangkan proses akresi (deposisi) terjadi pada sisi dalam tikungan. Pada sungai-sungai aluvial yang relatif lurus, pengaruh aliran terhadap tegangan geser dasar akan berbeda jika dibandingkan dengan pengaruh aliran pada suatu tikungan, di mana pada saat aliran memasuki suatu tikungan sungai, aliran mulai menyebar dan menyebabkan berubahnya tegangan geser dasar.

Hal ini mengakibatkan terjadinya gerusan pada sisi bagian luar tikungan dan pengendapan pada sisi bagian dalam tikungan. SebeRAPa besar dasar sungai mengalami perubahan sangat tergantung pada kondisi tikungan dan besar kecilnya kecepatan geser, u_* , atau tegangan geser dasar, τ_0 , yang terjadi.

Untuk menentukan kecepatan geser, u_* , atau tegangan geser, τ_0 , pada saluran terbuka, dapat digunakan bebeRAPa metode, yaitu metode yang didasarkan pada persamaan garis energi, metode Clauser (dengan berdasarkan data pengukuran distribusi kecepatan), dan metode tegangan geser Reynolds.

Cardoso, et al. (1989), Kironoto dan Graf (1994) dan Kironoto (2007) menunjukkan bahwa metode Clauser dapat memberikan ketelitian yang lebih baik bila dibandingkan dengan metode yang didasarkan pada persamaan energi. Metode Clauser juga dapat digunakan untuk menentukan kecepatan / tegangan gesek di saluran terbuka, baik untuk aliran seragam maupun untuk aliran tidak seragam (Kironoto dan Graf, 1994, 1995), baik untuk data aliran di tengah saluran maupun di tepi saluran (Kironoto dkk, 2004). Nezu dan Rodi (1986) yang mempelajari aliran seragam dan Kironoto dan Graf (1995) yang mempelajari aliran seragam dan tidak seragam juga menyampaikan bahwa kecepatan gesek atau tegangan gesek dasar dapat ditentukan secara akurat dengan berdasarkan data pengukuran distribusi tegangan geser Reynolds, selama pengukuran tegangan geser dapat dilakukan dengan benar.

Untuk dapat menggunakan metode Clauser di saluran menikung, harus dipastikan terlebih dahulu bebeRAPa jauh persamaan logaritmik masih dapat digunakan untuk menggambarkan data pengukuran distribusi kecepatan di saluran menikung. Bila pada daerah *inner region* di mana persamaan logaritmik berlaku, z/D , terlalu kecil, atau data pengukuran yang dapat dipergunakan untuk analisis data terlalu sedikit, maka hasil prediksi kecepatan gesek dengan menggunakan metode Clauser menjadi kurang teliti atau kurang valid.

Rozovskii (1957), Kikkawa, et al.(1973), dan Blanckaert (2001), telah melakukan penelitian tentang aliran pada tikungan, dimana bebeRAPa diantaranya membahas data distribusi kecepatan secara mendalam. Secara umum dari hasil-hasil penelitian yang ada di literatur memperlihatkan bahwa data pengukuran distribusi kecepatan pada saluran menikung, mengalami perubahan bila dibandingkan dengan data pada saluran lurus. Pada awal tikungan, kecepatan meningkat pada sisi dalam dan menurun pada sisi luar tikungan; kondisi sebaliknya terjadi di akhir tikungan, dimana kecepatan maksimum terjadi di sisi luar tikungan dan minimum pada sisi bagian dalam.

Kikkawa (1973) menyebutkan bahwa persamaan distribusi kecepatan (tangensial) logaritmik masih dapat digunakan untuk aliran pada tikungan, khususnya untuk nilai B/D besar (=14,3), di mana B adalah lebar saluran dan D adalah kedalaman aliran; sedangkan untuk nilai B/D kecil (=5), rumus logaritmik dikatakan cukup menyimpang dari data pengukuran distribusi kecepatan. Blanckaert (2001) juga menunjukkan bahwa kecepatan tangensial di tikungan melenceng cukup jauh bila dibandingkan dengan distribusi kecepatan logaritmik.

Atas dasar pemikiran tersebut di atas, dalam tulisan ini akan dikaji bebeRAPa jauh metode Clauser masih dapat digunakan untuk menentukan kecepatan gesekan pada tikungan. Validitas dari metode Clauser dapat dilihat pada bebeRAPa jauh data di *inner region* masih mengikuti hukum distribusi kecepatan logaritmik, yang dibatasi oleh nilai $z/D \leq 0,2$.

Analisis dilakukan terhadap data pengukuran distribusi kecepatan pada saluran menikung, yang merupakan data pengukuran bersama oleh Sumiadi (2012) dan oleh Kironoto, dkk (2012).

LANDASAN TEORI

Ada bebeRAPa cara atau metoda yang sering digunakan untuk menentukan kecepatan gesek dasar, u_* (atau tegangan gesek,

τ_0) pada aliran seragam pada saluran terbuka, yaitu (Kironoto dan Graf, 1994):

1. Persamaan energi (*energy gradient method*)
2. Metoda Clauser (dengan berdasarkan data distribusi kecepatan)
3. Metode lain (misalnya pengukuran langsung kecepatan gesek, u_* , atau pengukuran tegangan gesek Reynolds, dll).

Diantara 3 metode tersebut di atas, dalam tulisan ini hanya akan dibahas satu metode saja, yaitu metode Clauser, yang menggunakan data pengukuran distribusi kecepatan, bersama-sama dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik. Metode 1 agak sulit digunakan, karena tidak mudah menentukan kemiringan garis energi pada tikungan. Metode ketiga, yang didasarkan data pengukuran tegangan gesek Reynolds dapat dilihat pada Kironoto dkk (2012).

Distribusi Kecepatan

Persamaan distribusi kecepatan logaritmik (*the law of the wall*) di daerah dekat dasar (*inner region*), yang dibatasi oleh $z/D \leq 0,2$, dapat dituliskan sebagai berikut (Kironoto, 1994):

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + Br \quad (1)$$

dengan :

u = kecepatan rata-rata (tangensial) titik pada jarak z dari titik referensi

D , = kedalaman aliran

u_* = kecepatan gesek

κ = konstanta *universal* Von-Karman (= 0,4)

Br = konstanta integrasi

k_s = kekasaran dasar *equivalen* Nikuradse

Perlu diinformasikan di sini bahwa pengukuran kecepatan dalam penelitian ini (dengan menggunakan *ADV*) sesungguhnya diukur untuk 3 komponen kecepatan 3D sekaligus, yaitu komponen kecepatan arah tangensial, V_s (atau u), komponen kecepatan arah radial, V_n (atau v), dan komponen kecepatan arah vertikal, V_z (atau w). Khusus untuk tinjauan penggunaan metode Clauser dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik, komponen kecepatan yang ditinjau hanyalah komponen kecepatan arah tangensial, V_s atau u , sebagaimana diberikan pada Persamaan 1 di atas.

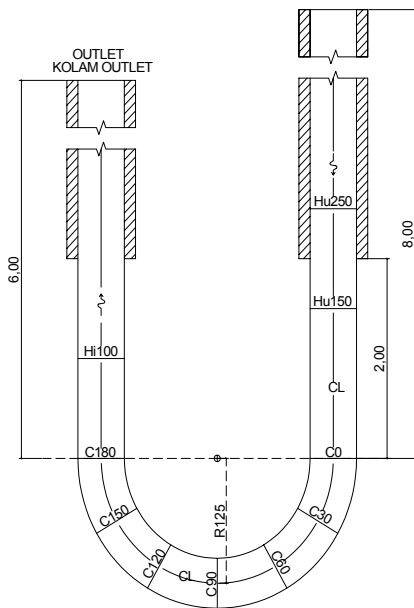
Untuk aliran seragam turbulent kasar, menurut Nikuradse, nilai Br tergantung pada nilai (u_*k_s/v) (dalam Reynolds, 1974). Sebagaimana yang sudah dilaporkan oleh Nezu dan Rodi (1986) dan Kironoto dan Graf (1994), persamaan distribusi kecepatan logaritmik sesungguhnya hanya berlaku di daerah *inner region* saja, di daerah *outer region*, yaitu pada $0,2 < z/D \leq 1$, data distribusi kecepatan cenderung menyimpang dari distribusi kecepatan logaritmik (dan sering dianggap mengikuti distribusi kecepatan *Cole's law*).

Metode Clauser

Kecepatan gesek, u_* , dapat diperoleh dengan menggunakan metoda Clauser, berdasarkan data pengukuran distribusi kecepatan di *inner region*, bersama-sama dengan hukum distribusi kecepatan logaritmik, Persamaan 1 (Cardoso, et al.,1989, dan Kironoto dan Graf, 1994, dan Kironoto, 2007). Sebagaimana disampaikan di depan, untuk dapat menggunakan metode Clauser ini, terlebih dahulu perlu diverifikasi bebeRAPa jauh hukum distribusi kecepatan logaritmik masih berlaku di daerah dekat dasar (*inner region*). Semakin banyak data pengukuran distribusi kecepatan

yang mengikuti hukum logaritmik, semakin teliti nilai kecepatan gesek yang diperoleh dengan metode Clauser ini.

Pada metoda Clauser, data pengukuran distribusi kecepatan di daerah *inner region* digambarkan sebagai fungsi $\ln(z/k_s)$. Jika *plot* data pengukuran distribusi kecepatan membentuk korelasi (*trend*) linear, maka data distribusi kecepatan di daerah *inner region* dapat dikatakan masih mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser dapat digunakan. Sebaliknya, kalau *plot* data tidak memperlihatkan korelasi linear, berarti data (atau sebagian data) pengukuran distribusi kecepatan tidak mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser tidak dapat digunakan atau kurang teliti untuk digunakan menentukan kecepatan gesek, u_* . Bila data sudah terverifikasi masih mengikuti hukum logaritmik, maka dengan menggunakan metode pencocokan kurva (regresi linear) terhadap data u vs. $\ln(z/k_s)$, dan mendefinisikan nilai konstanta Karman, $\kappa = 0,4$, nilai u_* dan Br dapat diperoleh. Dengan demikian, selain dapat diperoleh nilai kecepatan gesek, u_* , metode Clauser juga dapat memberikan nilai konstanta integrasi dari persamaan distribusi kecepatan logaritmik, Br (Persamaan 1).



Gambar 1. Saluran menikung 180° yang digunakan untuk *running* aliran

Dasar saluran menggunakan pasir seragam dengan diameter, $d_{50} = 1$ mm — pasir lolos saringan dengan diameter lubang 1,2 mm, dan tertahan oleh saringan dengan diameter lubang 0,8 mm.

Kontur dasar saluran menikung dibentuk dengan menggunakan debit aliran yang menghasilkan tegangan geser dasar di daerah *approach flow* mendekati nilai tegangan geser (butiran) kritis, dimana dengan cara *trial* dan *error* didapatkan nilai debit kri-

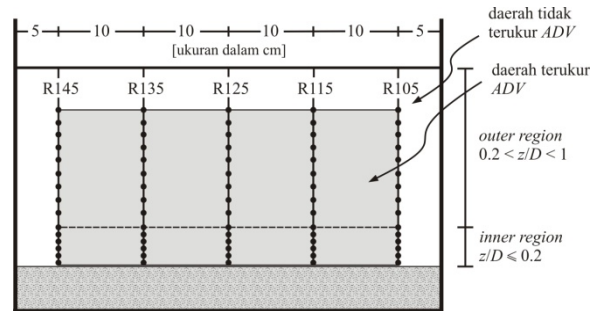
tis sebesar 23,307 l/s. Parameter utama hidraulika yang diperoleh di daerah *approach flow* (hulu tikungan) diberikan pada Tabel 1.

Selanjutnya dengan debit tersebut, *running* aliran dilakukan selama beberapa jam (hari) hingga terbentuk kondisi dasar saluran ekuilibrium, yaitu kondisi dasar dimana material dasar praktis sudah tidak bergerak lagi. Dasar saluran stabil diperoleh setelah dilakukan *running* selama 30 jam pengaliran (sekitar 4 jam/hari selama 8 hari). Pengukuran parameter aliran dan kontur dasar saluran selanjutnya dilakukan setelah kondisi dasar ekuilibrium tercapai.

Pengukuran utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengukuran distribusi kecepatan (dan turbulen yang meliputi intensitas turbulen dan tegangan geser Reynolds 3D) pada arah tangensial, s , radial, n , dan vertikal, z , dengan menggunakan *ADV* (*Acoustic Doppler Velocimeter*). Pengukuran dilakukan pada 7 tampang sudut tikungan yang berbeda, yaitu pada sudut 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, dan 180°, dimana pada setiap tampang/sudut tikungan dilakukan 5 pengukuran distribusi kecepatan 3D — yaitu komponen kecepatan arah tangensial, V_s (atau u), arah radial, V_n (atau v), dan arah vertikal, V_z (atau w) —, pada posisi $R = 105, 115, 125, 135, \text{ dan } 145$ cm. Jarak vertikal antara titik-titik pengukuran adalah 0,3 cm untuk data yang diperoleh di dekat dasar (*inner region*, pada $z/D \leq 0,2$), dan sekitar 1,0 cm untuk data di *outer region*. Dengan demikian diperoleh 35 data pengukuran distribusi kecepatan (dan turbulen), dan untuk setiap distribusi kecepatan dilakukan pengukuran sebanyak 16 sampai dengan 25 titik pengukuran.

Karena adanya kendala yang terkait dengan ukuran/bentuk probe, ada bagian aliran yang tidak dapat diukur dengan *ADV*, yaitu pada kedalaman sekitar 5 cm di bawah muka air, dan selebar 5 cm di dekat dinding, di sisi kanan dan sisi kiri saluran (lihat Gambar 2).

Data pengukuran yang diperoleh diberi notasi/kode C dan R, yang merupakan singkatan dari *cross section*, C, dan *radius*, R, diikuti dengan angka-angka yang menginformasikan besarnya sudut tikungan dan jari-jari tikungan. Misalnya, nama kode pengukuran C0R105 mempunyai makna bahwa pengukuran dilakukan di *cross section* $C = 0^\circ$, dan pada posisi jari-jari, $R = 105$; demikian pula untuk data yang lain, misalnya C30R125, berarti pada *cross section* $C = 30^\circ$, dan pada posisi jari-jari, $R = 125$.



Gambar 2. Lokasi pengukuran kecepatan (dan turbulen) dengan *ADV* di daerah terukur

Tabel 1. Parameter utama hidraulika di daerah *approach flow*

R (m)	B (m)	d_{50} (mm)	Q (l/s)	D (m)	S_o (‰)	U (m/s)	u_* (m/s)	Re (10^4)	Re_* (-)	Fr (-)	u_*k_s/ν (-)	B/H (-)
1,25	0,5	1	23,307	0,159	7,0	0,293	0,026	5,18	28,71	0,235	26	3,14

Keterangan:

R = jari-jari tikungan

B = lebar saluran

d_{50} : diameter pasir dasar

Q = debit aliran

D = kedalaman aliran

u_* = kecepatan gesek

Re = angka Reynolds aliran

Re_* = angka Reynolds butiran

Fr = angka Froude

k_s = kekasaran ekuivalen Nikiradse ($k_s = d_{50}$)

B/H = aspek rasio

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kontur Dasar Saluran Ekuilibrium

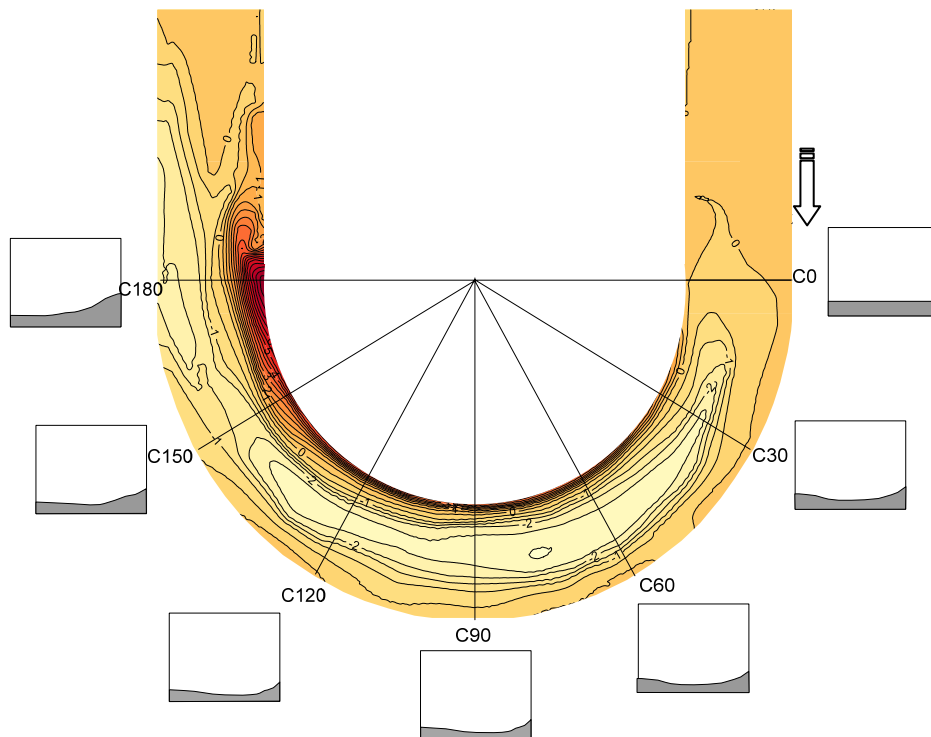
Kontur dasar saluran ekuilibrium di daerah tikungan diperoleh setelah 30 jam *running* aliran; hasil kontur dasar saluran ekuilibrium diberikan pada Gambar 3. Dari hasil pengukuran kontur dasar saluran, diketahui bahwa erosi maksimum sebesar $-2,8$ cm (terhadap dasar awal) terjadi pada sudut tikungan 60° , sedangkan deposisi maksimum terjadi pada sudut tikungan 180° dengan kenaikan dasar sebesar $+8$ cm. Dari kontur dasar yang terbentuk, secara umum dapat ditunjukkan bahwa erosi terjadi pada sisi luar tikungan, dan deposisi terjadi pada sisi dalam tikungan.

Distribusi Kecepatan

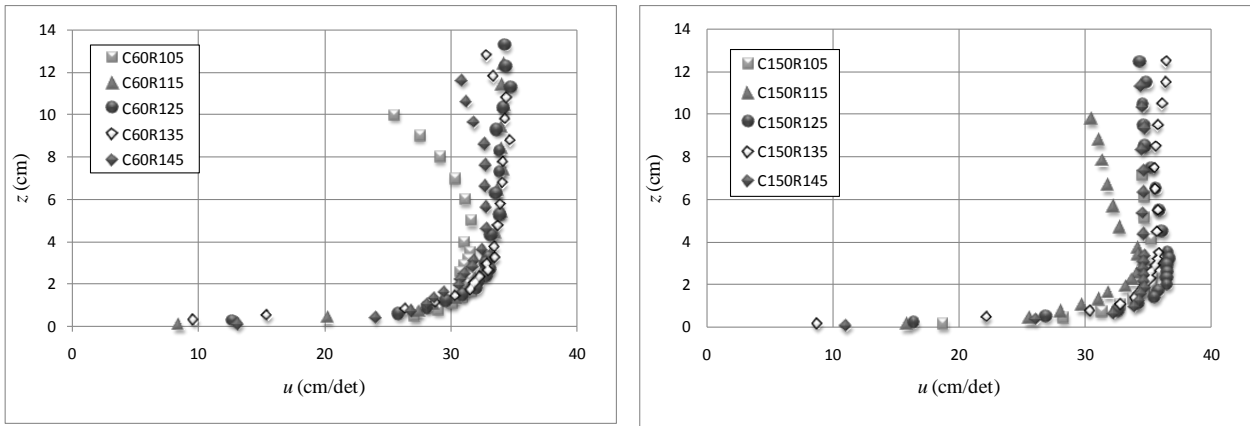
Contoh tipikal hasil pengukuran distribusi kecepatan pada tampang/sudut tikungan 60° dan 150° diberikan pada Gambar 4. Untuk data distribusi kecepatan di tampang 60° , data pengukuran di tengah saluran (data C60R115, C60R125 dan C60R135) memperlihatkan bentuk distribusi kecepatan yang relatif sama. Analisis lebih lanjut terhadap data ini memperlihatkan bahwa sebagian besar data distribusi kecepatan di *inner region* masih mengikuti persamaan logaritmik (lihat pembahasan di belakang pada Tabel 2). Sedangkan untuk data pengukuran distribusi kecepatan di tepi saluran, yaitu data C60R105 pada sisi dalam saluran, data peng-

ukuran memperlihatkan suatu penyimpangan yang signifikan terhadap data distribusi kecepatan di tengah, dimana bentuk distribusi kecepatan cenderung masuk (melengkung) ke dalam. Analisis lebih lanjut terhadap data ini memperlihatkan bahwa sebagian besar data distribusi kecepatan di *inner region* tidak mengikuti persamaan logaritmik (lihat pembahasan di belakang pada Tabel 2). Untuk data pada sisi luar tikungan, bentuk distribusi kecepatan hanya sedikit menyimpang terhadap distribusi kecepatan di tengah saluran, khususnya data di daerah *inner region* yang praktis berimpit. Bila dicermati lebih lanjut, sebagaimana disampaikan di depan bahwa dasar saluran mengalami degradasi maksimum pada tampang tikungan 60° . Bentuk kontur dasar inilah yang barangkali mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan yang berbeda pada tampang saluran, disamping adanya faktor lain, seperti pengaruh dinding saluran yang dapat mempengaruhi aliran di tepi saluran.

Bentuk distribusi kecepatan pada tampang sudut tikungan 150° agak spesifik, dimana data distribusi kecepatan sangat tegak namun membuka keluar pada daerah di dekat muka air (*outer region*). Agak sulit untuk bisa mengetahui secara pasti apa faktor yang mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan ini, namun adanya gaya sentrifugal dan arus sekunder "*helicoidal*" pada tikungan bisa jadi menjadi faktor penting yang mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan.



Gambar 3. Kontur dan potongan dasar saluran menikung 180°



Gambar 4. Contoh tipikal hasil pengukuran distribusi kecepatan pada tampang sudut 60° dan 150°

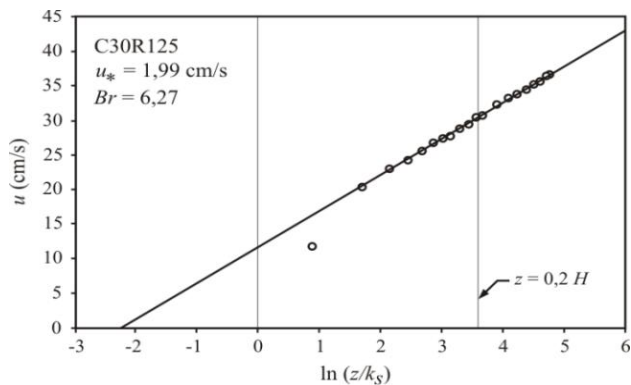
Metode Clauser dan Validitasnya

Untuk mengetahui validitas dari metode Clauser, langkah awal yang dilakukan adalah melihat ada tidaknya korelasi linear untuk *plot* data u versus $\ln(z/k_s)$. Adanya korelasi linear terhadap *plot* data dapat diartikan bahwa persamaan logaritmik masih berlaku, yang dapat diartikan pula bahwa metode Clauser masih dapat digunakan. Bilamana data mengikuti hukum distribusi kecepatan logaritmik, *plot* data u versus $\ln(z/k_s)$ akan memberikan suatu korelasi linear dengan kemiringan $m = u_* / \kappa$ dan konstanta Cte ($= u_* Br$) nilai kecepatan geser dasar, u_* , dapat diperoleh dengan mengambil nilai $\kappa = 0,4$.

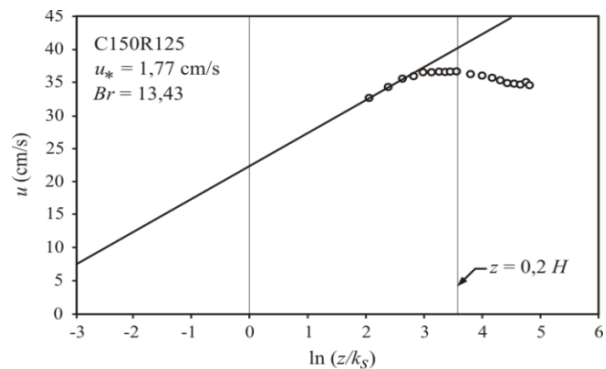
Pada Gambar 5 diperlihatkan contoh tipikal *plot* data u versus $\ln(z/k_s)$, untuk data yang diperoleh di tampang sudut tikungan 30° dan 150° (data C30R125 dan C150R125). Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5a, untuk data distribusi kecepatan C30R125, pada waktu aliran baru mulai menikung sampai sejauh sudut 30°, data distribusi kecepatan masih mengikuti distribusi kecepatan logaritmik di

daerah *inner region*, $z/D \leq 0,2$ (bahkan termasuk data di *outer region*). Namun sangat dekat dengan dasar, ada 1 titik data pengukuran kecepatan yang cukup menyimpang dari *trend* garis linear; kondisi ini terjadi hampir pada semua data pengukuran di tikungan (Kironoto, dkk, 2012). Adanya *trend* linear ini juga dapat diartikan bahwa data pengukuran distribusi kecepatan masih mengikuti hukum distribusi kecepatan logaritmik, sehingga metode Clauser masih dapat digunakan.

Sebaliknya untuk data pada Gambar 5b, yaitu data distribusi kecepatan C150R125, korelasi linear di *inner region* hanya dijumpai sampai pada kedalaman $z/D = 0,09$; dan hanya ada 4 data yang mempunyai korelasi linear (lihat juga Tabel 2). Dapat diartikan disini, bahwa metode Clauser menjadi kurang valid untuk digunakan menentukan kecepatan gesek, u_* , karena hanya didasarkan pada jumlah data yang terbatas (analisis regresi menjadi kurang valid).



a. tampang sudut tikungan 30° (C30R125)



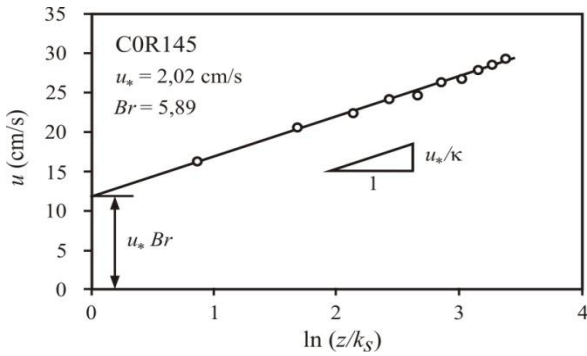
b. tampang sudut tikungan 150° (C150R125)

Gambar 5. Validitas persamaan logaritmik terhadap data pengukuran distribusi kecepatan di tengah saluran

Kecepatan Gesek, u_* , dan Konstanta Integrasi, Br , dengan Metode Clauser

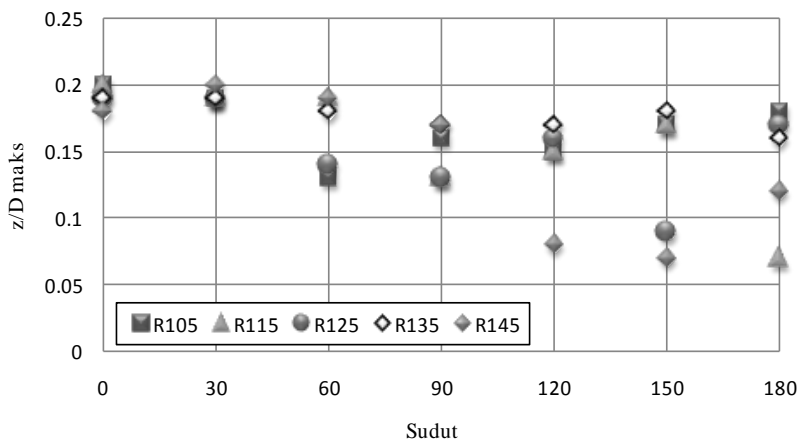
Pada Gambar 6 diperlihatkan contoh hitungan u_* (dan Br) dengan menggunakan metode Clauser, untuk data C0R145. Garis linear yang ada pada Gambar 6 adalah merupakan garis hasil regresi dari *plot* data pengukuran kecepatan, u vs. $\ln(z/k_s)$, di mana

k_s adalah kekasaran dasar. Dengan prinsip sama, dapat dihitung nilai kecepatan gesek, u_* , untuk seluruh data pada tikungan dengan menggunakan metode Clauser. Perlu disampaikan juga di sini, bahwa teliti tidaknya penggunaan Metode Clauser untuk penentuan kecepatan gesek sangat dipengaruhi oleh berlaku tidaknya persamaan logaritmik di *inner region*.



Gambar 6. Penentuan kecepatan geser, u_* , dengan metode Clauser

Sebagaimana sudah disampaikan di depan, bahwa tidak semua data distribusi kecepatan di *inner region* mengikuti persamaan logaritmik. Pada awal tikungan, yaitu mulai dari sudut tikungan 0° sampai dengan sudut 30° , semua data pengukuran kecepatan, baik di tengah maupun di tepi saluran masih mengikuti persamaan logaritmik. Namun mulai sudut tikungan 60° , beberapa data, khususnya data di sisi dalam atau sisi luar tikungan, mulai menyimpang dari persamaan logaritmik, sebagaimana diberikan pada Tabel 2. Bahkan untuk sudut yang lebih besar lagi, misalnya pada sudut 150° , penyimpangan data semakin melebar. Pada kondisi ini, penggunaan metode Clauser untuk menghitung kecepatan gesek u_* menjadi kurang teliti. Meskipun demikian, ada hal menarik yang dapat disampaikan di sini, yaitu bahwa pada semua posisi sudut tikungan, masih ada data distribusi kecepatan yang masih mengikuti persamaan logaritmik, meskipun posisinya tidak selalu pasti, terkadang di tengah atau agak di tengah saluran, dan terkadang di tepi saluran. Memperhatikan nilai-nilai u_* pada suatu tampang dengan sudut tikungan tertentu, meskipun nilai-nilai u_* tidak sama (bervariasi), namun variasinya tidak terlalu besar pada suatu tampang. Sehingga meskipun hanya dapat menentukan nilai kecepatan gesek pada suatu titik tertentu saja dalam suatu tampang, nilai yang diperoleh dapat memberikan gambaran umum tentang nilai kecepatan gesek, u_* , di tampang saluran tersebut.



Gambar 7. Posisi batas atas z/D dimana data masih mengikuti persamaan logaritmik

Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2 dan diperjelas pada Gambar 7, nilai batas atas z/D dimana persamaan logaritmik masih berlaku cukup variatif. Pada sudut tikungan 0° dan 30° , hampir semua data di *inner region* masih mengikuti persamaan logaritmik. Sedangkan mulai sudut tikungan 60° sampai dengan 180° , nilai batas atas z/D cukup bervariasi, mulai dari $z/D \approx 0,07$ s/d $z/D \approx 0,19$. Demikian pula jumlah data di *inner region* yang masih mengikuti persamaan logaritmik (korelasi linear), juga sangat bervariasi, yaitu sekitar 8 s/d 12 data untuk sudut tikungan 0° dan 30° , dan 4 s/d 10 data untuk sudut elokan di atas 60° . Karena ketelitian nilai u_* dari metode Clauser sangat dipengaruhi oleh hasil analisis regresi linear terhadap data di *inner region*, maka jika jumlah data yang digunakan sangat sedikit (misal kurang dari 7), dan hasil nilai u_* yang diperoleh menjadi kurang valid. Perlu menjadi catatan pula di sini, bahwa meskipun batas atas z/D di *inner region* dimana persamaan logaritmik masih berlaku mempunyai nilai yang cukup besar ($z/D \approx 0,18$), tidak berarti bahwa jumlah data yang mengikuti persamaan logaritmik akan banyak. Hal ini disebabkan karena dari hasil observasi terhadap data distribusi kecepatan (Kironoto dkk, 2012), setidaknya ada satu (bahkan sering lebih) data terdekat dengan dasar yang mempunyai kecenderungan menyimpang dari persamaan logaritmik. Sehingga pada kondisi ini, bisa dikatakan bahwa metode Clauser menjadi kurang bisa digunakan (KBD; arisan pada Tabel 2) untuk menentukan kecepatan gesek, u_* (lihat dari Tabel 2). Hal lain yang bisa dicermati dari Tabel 2 adalah nilai konstanta integrasi dari persamaan logaritmik (Persamaan 1), Br . Untuk turbulen hidraulik kasar dengan nilai ($u_* k_s / \nu > 70$), nilai konstanta integrasi menurut Nikuradse adalah, $Br \approx 8,5 \pm 10\%$, sedangkan untuk data aliran yang diperoleh dalam penelitian ini, dengan nilai $u_* k_s / \nu \approx 26$ (turbulen hidraulik transisi), nilai konstanta $Br \approx 9,4 \pm 10\%$ (Reynolds, 1974). Dari Tabel 2, nilai rata-rata Br untuk seluruh data adalah, $Br = 11,06$; sedangkan untuk data terpilih (dimana metode Clauser bias digunakan, BD), nilai $Br = 10,98$. Nilai-nilai yang diperoleh dalam penelitian ini tidak terlalu jauh dari nilai yang diberikan oleh Nikuradse.

Tabel 2. Hitungan kecepatan gesek dengan menggunakan metode Clauser

No	Kode Distribusi Kecepatan	z	Distr. Kec. logaritmik di <i>inner region</i>		u^*	Br	Penggunaan Metode Clauser
		(m)	z/D (-)	N (-)	(cm/s)	(-)	BD / KBD
1	C0R105	16,20	0,20	9	1,60	11,10	BD
2	C0R115	16,20	0,20	12	1,52	11,46	BD
3	C0R125	16,20	0,19	10	1,60	10,85	BD
4	C0R135	16,20	0,19	10	1,97	7,48	BD
5	C0R145	16,20	0,18	10	2,02	5,89	BD
6	C30R105	15,62	0,19	8	1,66	10,47	BD
7	C30R115	17,10	0,19	8	1,77	9,06	BD
8	C30R125	18,48	0,19	10	1,99	6,27	BD
9	C30R135	16,70	0,19	10	1,80	8,11	BD
10	C30R145	16,31	0,20	9	1,56	9,88	BD
11	C60R105	15,62	0,13	5	1,41	15,40	KBD
12	C60R115	18,21	0,19	8	1,55	12,90	BD
13	C60R125	18,90	0,14	8	1,93	9,19	BD
14	C60R135	18,39	0,18	8	1,68	11,33	BD
15	C60R145	16,55	0,19	10	1,50	12,81	BD
16	C90R105	16,12	0,16	8	1,46	14,97	BD
17	C90R115	18,60	0,13	7	1,63	13,34	BD
18	C90R125	18,70	0,13	7	1,63	13,47	BD
19	C90R135	17,68	0,17	8	1,76	10,98	BD
20	C90R145	16,79	0,17	5	1,31	17,21	KBD
21	C120R105	15,04	0,15	8	1,74	13,28	BD
22	C120R115	17,83	0,15	8	1,75	12,46	BD
23	C120R125	18,63	0,16	7	1,65	13,53	BD
24	C120R135	17,57	0,17	8	1,76	11,16	BD
25	C120R145	16,52	0,08	4	2,52	7,13	KBD
26	C150R105	12,97	0,17	7	1,70	13,38	BD
27	C150R115	16,02	0,17	9	1,86	10,36	BD
28	C150R125	17,87	0,09	4	1,77	13,43	KBD
29	C150R135	17,47	0,18	4	2,05	9,80	KBD
30	C150R145	17,08	0,07	5	2,24	9,38	KBD
31	C180R105	8,86	0,18	4	3,07	3,97	KBD
32	C180R115	14,26	0,07	4	2,27	10,06	KBD
33	C180R125	16,45	0,17	8	1,96	10,15	BD
34	C180R135	17,86	0,16	9	1,82	11,56	BD
35	C180R145	18,06	0,12	4	1,60	15,33	KBD

Keterangan :

 N = jumlah data yang mengikuti distribusi kecepatan logaritmik di *inner region* z/D = batas atas dimana data masih mengikuti persamaan logaritmik

BD/KBD = Metode Clauser Bisa Digunakan/ Kurang Bisa Digunakan

KESIMPULAN

Dari hasil analisis data pengukuran distribusi kecepatan di daerah dekat dasar (*inner region*), diketahui bahwa data pengukuran distribusi kecepatan yang diperoleh di awal tikungan, yaitu mulai sudut tikungan 0° sampai dengan sudut 30° , semua data masih mengikuti hukum dis-

tribusi kecepatan logaritmik, baik untuk data pengukuran di tengah maupun di tepi saluran; dapat diartikan bahwa metode Clauser masih dapat digunakan untuk menentukan kecepatan gesek, u^* . Namun mulai sudut tikungan 60° , sebagian data, khususnya data di tepi saluran (di sisi dalam atau di sisi luar tikungan) mulai menyimpang dari persamaan logaritmik. Untuk sudut tikungan yang lebih be-

sar, misalnya pada sudut 150°, penyimpangan data semakin melebar; pada kondisi ini, penggunaan metode Clauser untuk menghitung kecepatan gesek u_* akan memberikan hasil yang kurang teliti (kurang disarankan).

Meskipun demikian, dari hasil analisis terhadap seluruh data distribusi kecepatan pada semua posisi sudut tikungan, masih ada data pengukuran distribusi kecepatan yang masih mengikuti persamaan logaritmik, namun posisinya tidak selalu pasti, terkadang di tengah atau agak di tengah saluran, dan terkadang di tepi saluran; dengan kata lain, metode Clauser masih tetap dapat digunakan di lokasi ini dengan bebeRAPa batasan.

Hasil-hasil atau kesimpulan yang diperoleh dalam tulisan ini diperoleh pada aliran dengan tikungan 180°; untuk bentuk tikungan yang lain, perlu verifikasi lebih lanjut terhadap hasil-hasil atau kesimpulan yang diperoleh dalam tulisan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Gadjah Mada, yang telah memberikan *support* dana penelitian Pascasarjana Tahun Anggaran 2012, sehingga tulisan ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- Blanckaert, K., and Graf, W. H. (2001). "Mean flow and turbulence in open channel bend." *J. Hydr. Engrg.*, Vol. 127, pp 835 – 847.
- Cardoso, A. H., Graf, W.H., and Gust, G. (1989). "Uniform flow in smooth open-channel." *J. Hydr. Res.*, IAHR, 27(5), 603–616.
- Coleman, N. L. (1981). "Velocity profiles with suspended sediment." *J. Hydr. Res.*, 19(3), 211–229.

- Kikkawa, H., Ikeda, S., Ohkawa, H., and Kawamura, Y. (1973). "Secondary flow in bend of turbulent stream." *Proc. Of JSCE*, No 219.
- Kironoto, B.A. and Graf, W.H. (1994). "Turbulence characteristics in rough uniform open-channel flow." *Proc. Inst. Civ. Engrg.*, 106 (4), UK.
- Kironoto, B.A. and Graf, W.H. (1995). "Turbulence characteristics in rough non-uniform open-channel flow." *Proc. Inst. Civ. Engrg.*, 112 (4), UK.
- Kironoto, B.A., Andoyono, T., Yustiana, F, dan Muharis, C. (2004). "Kajian Metode Pengambilan Sampel Sedimen Suspensi Sebagai Dasar Penentuan Debit Sedimen Pada Saluran Terbuka." *Penelitian Hibah Bersaing XII/1-Th.* Anggaran 2004, Lembaga Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kironoto, B.A. (2007). "Penggunaan Metode Clauser Untuk Penentuan Kecepatan Gesek, u_* , Pada Saluran Mataram Tampang Segi Empat." *Media Teknik*, No. 4, Tahun XXIX, Edisi November 2007, No. ISSN 0216-3012, Yogyakarta.
- Kironoto, B.A., Yulistiyanto, B., dan Istiarto. (2012). "Karakteristik Aliran Air Jernih (*Clear Water*) dan Aliran Sedimen Suspensi (*Suspended Sediment*) di Belokan Saluran dengan Material Dasar Bergerak (*Erodible Bed*)." *Draft Laporan Penelitian LPPM.* Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.
- Nezu, I. and Rodi, W. (1986). "Open channel flow measurements with a laser Doppler anemometer." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 112(5), 335–355.
- Reynolds, J. A. (1974). *Turbulent flows in engineering.* Wiley & S. Ltd., London, Great Britain.
- Rozovskii, I. L. (1957). *Flow of water in bends of open channels.* Israel Programme of Scinetific Translation, Jerusalem.
- Sumiadi (2012). "Mekanisme angkutan sedimen dasar pada saluran menikung." *Draft Disertasi Doktor,* Program Studi Doktor Ilmu Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.