

# DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN DI SALURAN TERBUKA PADA PERMUKAAN SALURAN BERGELOMBANG

Oleh:

Saiful Rochdyanto<sup>\*)</sup>

## Abstract

Study on velocity distribution in wavy bed was conducted in a 10 m long, 0.5 m wide, 0.4 m depth glass-walled rectangular open channel. Flow characteristic was measured by hot wire anemometer and data was transferred to personal computer by digitizer. The Reynolds number which calculated from the maximum velocity are 3940, 5630, 8190, and 12,930 respectively. Result of study shows that velocity data can not be approached by using the logarithmic law. Mean while the power-law velocity distribution seems applicable in explaining the scattered velocity data. The velocity reduction about  $0.21 u/m$  in the area close to the bed and  $0.05 u/m$  in the middle of turbulent boundary layer is disadvantage in the view point of hydraulic structure operation

## I. Pendahuluan

Studi tentang bangunan penangkap sedimen (kantong lumpur) di Daerah Irigasi (DI) Jragung oleh Rochdyanto (1991) menunjukkan bahwa pada musim kemarau efisiensi kantong lumpur yang dihitung atas dasar persamaan (1) sangat bervariasi.

$$\eta = \frac{q_{si} - q_{se}}{q_{si}} \quad (1)$$

dengan  $\eta$  adalah efisiensi kantong lumpur,  $q_{si}$  adalah debit air masuk bermuatan sedimen,  $q_{se}$  adalah debit air keluar bermuatan sedimen. Kisaran angka efisiensi tersebut adalah 2,8 sampai dengan 41,9%. Pada umumnya kantong lumpur bekerja efisien pada saat konsentrasi sedimen tinggi dan sebaliknya tidak cukup efisien pada saat

konsentrasi sedimen rendah. Walaupun efisiensinya rendah pada musim kemarau, sedimen yang masuk ke dalam DI Jragung masih dalam batas yang diperkenankan.

Pada musim penghujan pada umumnya kantong lumpur beroperasi lebih konsisten, yaitu  $> 13\%$ . Namun konsentrasi sedimen yang masuk DI Jragung pada musim penghujan ternyata masih cukup tinggi, yaitu  $> 1000$  ppm (*part per million*). Dikhawatirkan apabila pengendalian sedimen yang masuk ke jaringan irigasi, antara lain dengan pemasangan kantong lumpur, tidak ditingkatkan, maka akibat-akibat negatif yang ditimbulkan oleh proses sedimentasi akan mengganggu fungsi jaringan sebagai sarana penyadap, pengukur, pembagi, serta pembuang kelebihan air bagi tanaman pokok.

Nilai efisiensi tersebut sangat rendah, terutama bila dibandingkan dengan pernyataan Boysen (1977) yang menyatakan bahwa untuk *sedimen basin*, bangunan pengendap sedimen untuk luas Daerah Aliran Sungai  $> 40$  hektar, efisiensi yang ideal adalah 70%. Rendahnya efisiensi kantong lumpur di DI Jragung tersebut diduga, salah satu sebabnya, adalah tertinggal dan tertimbunnya bahan material bangunan di dasar saluran pada saat dilakukan rehabilitasi pada tahun 1983. Permukaan dasar saluran yang bergelombang akan berpengaruh terhadap kecepatan aliran pada saat kantong lumpur beroperasi, baik pada saat mengendapkan sedimen ataupun pada saat pengurasan kantong lumpur.

<sup>\*)</sup> Staf Pengajar FTP UGM.

Hal tersebut di atas menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan pada operasional kantong lumpur secara umum, atau Di Jragung pada khususnya, demi peningkatan efisiensi kantong lumpur dalam mengendalikan sedimen yang masuk ke jaringan irigasi.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Distribusi Kecepatan Aliran menurut Fungsi Logaritmis (Log-law)

Menurut fungsi logaritmis, kecepatan aliran dapat dikelompokkan atas dasar lapisannya, yaitu: *viscous sublayer*, *inner layer*, dan *outer region* (Sarma et al., 1983).

Di *viscous sublayer* pada umumnya aliran adalah laminar dan mempunyai ketebalan lapisan sebesar  $z/\delta = 0,001$  ( $z$  adalah jarak dari permukaan dasar saluran, dan  $\delta$  adalah tebal lapisan batas).

Percobaan yang dilakukan oleh Klebanoff (Kirkgoz, 1980) menunjukkan bahwa total tegangan geser (*shear stress*) pada daerah dekat dengan permukaan dasar saluran adalah relatif konstan yang setara dengan tegangan dinding saluran (*wall stress*),  $\tau_w$ . Oleh karenanya integrasi dari hukum Newton mengenai kelembaban ( $\tau = \mu du/dz$ , dengan  $\tau = \tau_w$ ) akan menghasilkan distribusi kecepatan sebagai berikut:

$$\frac{u}{u^*} = \frac{u^*z}{\nu} \quad (2)$$

dengan  $\tau$  adalah dengan geser,  $\mu$  adalah kekentalan mutlak (*absolut viscosity*),  $u$  adalah kecepatan aliran setinggi  $z$  dari permukaan saluran,  $u^*$  ( $= \sqrt{\tau_w/\rho}$ ) adalah kecepatan geser (*shear velocity*),  $\rho$  adalah berat jenis air,  $\nu$  adalah kekentalan kinematik (*kinematic viscosity*) dari aliran.

Di atas *viscous sublayer* terdapat *inner layer* yang pada umumnya aliran di lapisan ini masih didominasi oleh dinding (*wall*) saluran, namun tegangan akibat kelembaban dapat diabaikan. Lapisan ini terletak setinggi  $z/\delta = 0,15$  dan setara dengan bilangan Reynold  $zu^*/\nu = 750$ . Secara umum aliran dalam lapisan ini mengikuti hukum *the law-of-the-wall distribution*. Ludwig, Tillman, Hama dan lain-lain (1972) menyebutkan bahwa distribusi kecepatan di lapisan ini mengikuti persamaan:

$$\frac{u}{u^*} = A \ln \frac{u^*z}{\nu} + B \quad (3)$$

dengan  $A = 1$  adalah tetapan von Karman,  $B$  adalah tetapan yang nilainya tergantung pada keadaan permukaan dinding (Schlichting, 1968). Sedangkan percobaan yang dilakukan oleh Nikuradse (Schlichting, 1968) yang pada mulanya dilakukan di aliran dalam pipa halus yang ternyata cocok untuk diterapkan di aliran dalam saluran terbuka, nilai  $A$  pada persamaan (2) adalah 2,5 dan  $B = 5,5$ .

Distribusi kecepatan untuk permukaan dasar saluran yang kasar sangat dipengaruhi oleh tingkat, bentuk dan ruang antar elemen dari permukaan salurannya. Hinze (1975) mengemukakan bahwa dalam aliran turbulen sempurna di *inner layer*, data kecepatan airannya akan mengikuti persamaan (3).

$$\frac{u}{u^*} = 2.44 \ln \frac{u^*z}{\nu} - 0.8 \quad (4)$$

Di *outer region*, aliran dipengaruhi oleh ketebalan dari lapisan batas, dan keadaan keliling geometris saluran apabila aliran melalui saluran terbuka. Lapisan ini berkembang sampai batas akhir dari lapisan batas, di tengah pipa untuk aliran lewat pipa, atau permukaan air bebas untuk saluran terbuka

(Sarma et al., 1983). Distribusi kecepatan aliran dalam lapisan ini pada umumnya dipengaruhi oleh geseran akibat aliran turbulen (*turbulent shearing*) dan dapat diterangkan dengan *the velocity-defect law* sebagaimana tampak pada persamaan (5).

$$\frac{u_\delta - u}{u^*} = -\frac{1}{k} \ln \frac{z}{\delta} \quad (5)$$

dengan  $u_\delta$  adalah kecepatan maximum pada ketebalan  $\delta$ ,  $\delta$  adalah ketebalan lapisan batas,  $k$  adalah teapan von Karman = 0,41. Pada mulanya persamaan (5) dikemukakan oleh Prandtl namun dianggap dapat digunakan untuk permukaan dasar saluran rata atau kasar di saluran terbuka (Hinze, 1975).

## 2.2. Distribusi Kecepatan Aliran menurut Hukum Eksponensial (Power-law)

Penggunaan persamaan empiris berdasarkan hukum eksponensial (*the power-law velocity distribution*) di samping mudah digunakan, juga dapat dipakai apabila persamaan lain tidak dapat digunakan.

Nikuradse (Schlichting, 1985) mengadakan percobaan untuk mengetahui hukum gesekan dan profil kecepatan di pipa halus pada kisaran bilangan Reynolds  $4 \times 10^3 \leq R \leq 3.2 \times 10^6$ . Disimpulkan bahwa sebaran data dapat didekati dengan persamaan (6) sebagai berikut:

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{R}\right)^{1/n} \quad (6)$$

dengan  $u$  adalah kecepatan di tengah pipa,  $U$  adalah kecepatan maksimum di tengah pipa,  $y$  adalah kedalaman air,  $R$  adalah jari-jari pipa, dan  $n$  adalah faktor eksponensial yang bervariasi ringan terhadap bilangan Reynold.

Sementara itu Munson (1990) mengemukakan persamaan eksponensial yang ber-

variansi ringan terhadap bilangan Reynold.

Sementara itu Munson (1990) mengemukakan persamaan eksponensial untuk menerangkan distribusi kecepatan di lapisan batas pada saluran terbuka, yaitu:

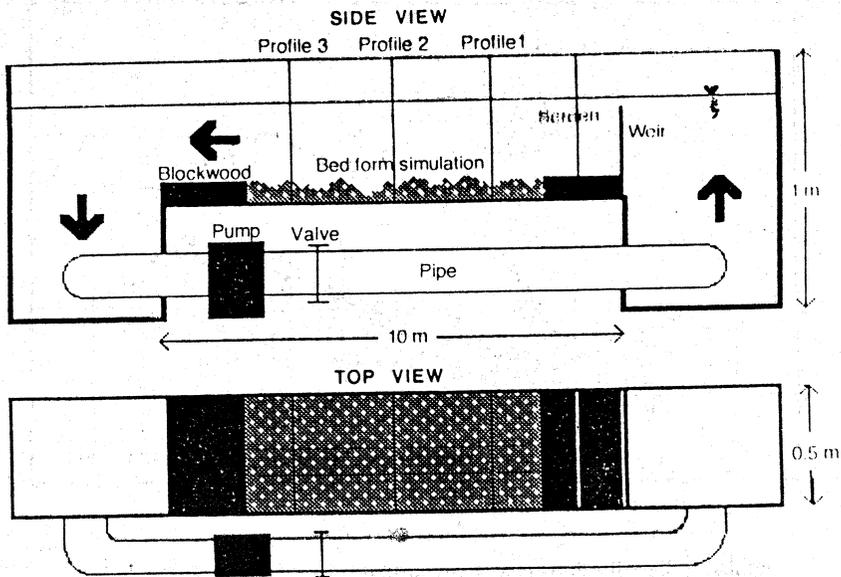
$$\frac{u}{u_\delta} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{1/n} \quad (7)$$

dengan  $\delta$  adalah tebal lapisan batas,  $n$  bilangan eksponensial yang pada umumnya setara dengan 7.

## 3. Bahan dan Cara

Penelitian dilaksanakan di laboratorium dengan menggunakan saluran terbuka yang terbuat dari kaca berbentuk segi empat dan sirkulasi air dimungkinkan dengan dipasangnya pompa. Panjang saluran 10 m, lebar 0,4 m, dan tinggi 0,5 m. Secara skematis bentuk saluran dapat dilihat pada gambar (1). Saluran dibagi menjadi 3 profil, yang setiap profil dibagi menjadi 5 seksi, dan titik pengukuran yang berjarak 0,25 cm dilakukan di masing-masing seksi. Jarak titik pengukuran sekitar 10 buah dari dasar saluran. Manipulasi bentuk permukaan dasar saluran dibuat dengan menggunakan pasir halus yang dilapisi oleh semen PC, sehingga permukaan dasar saluran menjadi keras.

Karakteristik aliran air diukur dengan menggunakan *cross-type-wire probe* yang dihubungkan dengan *hot-wire-anemometer* (KANOMAX sistem 7214). *Hot-wire-probe* dikalibrasi dengan *magnitude-meter* pada sebelum dan setelah penelitian dilakukan dengan perlakuan khusus. Lama pengukuran untuk masing-masing titik adalah sekitar 10 detik. Data direkam di TOA *Data recorder*, kemudian dengan WACOM *digitizer* data tersebut dipindahkan ke NEC *personal computer* untuk dilakukan analisis perhitungan.



Gambar 1. Gambar skematis alat penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan 4 kali ulangan untuk masing-masing bentuk permukaan dasar saluran yang rata maupun yang bergelombang. Variasi kecepatan dilaksanakan dengan merubah klep yang terletak tidak jauh dari pompa. Bilangan Reynold yang dihitung atas dasar kecepatan maksimum adalah 3940, 5630, 8190, dan 12.930 untuk ulangan 1, 2, 3 dan 4.

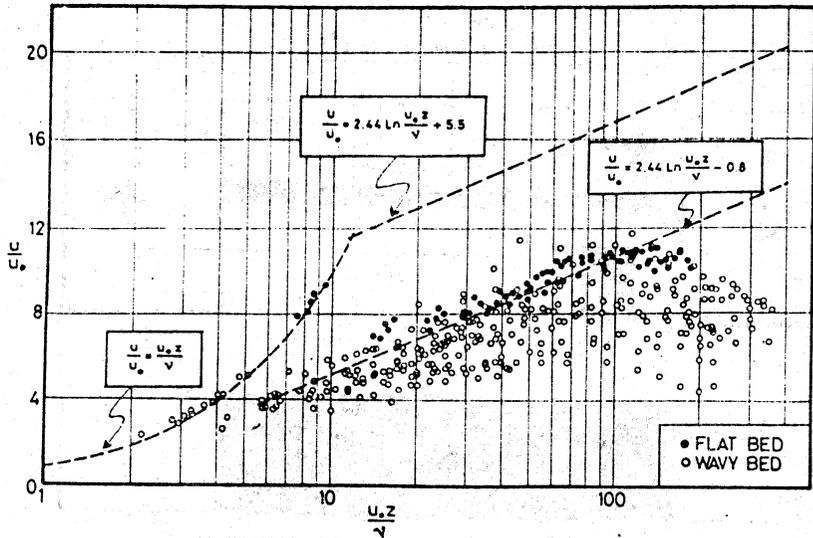
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Distribusi Kecepatan Aliran menurut Fungsi Logaritmis (Log-law)

Hasil pengeplotan sebaran data kecepatan aliran pada kertas semi-log dapat dilihat pada gambar 2. Tampak pada gambar 2 bahwa di *viscous sublayer*, baik pada permukaan dasar saluran rata dan bergelombang, sebaran datanya mengikuti persamaan (2). Hal tersebut menunjukkan

bahwa aliran dalam lapisan ini laminar, dan tampaknya perubahan bentuk permukaan saluran tidak berpengaruh pada konstannya tegangan geser saluran terhadap aliran air.

Sedangkan pada lapisan *inner layer*, hanya kecepatan pada permukaan dasar saluran yang rata yang mengikuti persamaan (4), walaupun terdapat kecenderungan bahwa sebaran data akan membentuk kemiringan garis lurus yang berbeda bila dibanding dengan persamaan (4). Namun apabila persamaan (4) akan digunakan untuk menggambarkan sebaran data pada permukaan dasar saluran yang rata, persamaan tersebut hanya akan berlaku pada  $zu^*/\nu$  antara 11 dan 100. Hasil ini tidak berbeda dengan percobaan yang pernah dilakukan oleh Kirkgoz (1985), yang bahkan sebaran datanya mempunyai kecenderungan untuk membentuk garis lengkung. Sementara itu tidak ada dasar yang kuat untuk menghubungkan antara sebaran data kecepatan di permukaan dasar saluran yang bergelom-



Gambar 2. Distribusi kecepatan menurut *the law of the wall distribution*

bang dengan persamaan (4), karenanya sangat sukar untuk menarik garis tunggal yang mewakili sebaran data tersebut. Diduga bahwa keadaan yang kacau di permukaan dasar saluran yang bergelombang akan menghasilkan struktur aliran yang kompleks, terutama bila dihubungkan dengan tegangan gesernya.

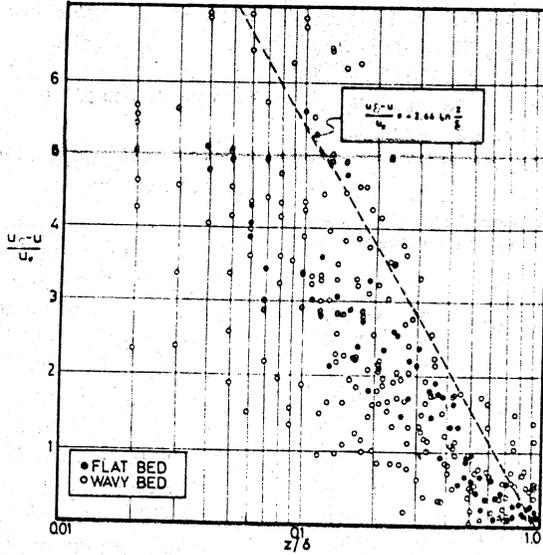
Sementara itu di *outer region*, hasil pengeplotan data kecepatan dengan menggunakan persamaan (5) sebagai pendekatan, dapat dilihat pada gambar (3). Tampak pada gambar (3) bahwa data untuk permukaan bergelombang sangat menyebar sehingga sukar untuk menghubungkan data tersebut dengan persamaan (5). Sedangkan untuk permukaan rata, walaupun mempunyai gejala yang sama dengan permukaan bergelombang, namun ada kecenderungan bahwa sebaran datanya membentuk garis lurus yang mempunyai arah kemiringan yang berbeda bila dibandingkan dengan persamaan (5). Gejala seperti tersebut di atas dapat ditemukan juga pada penelitian Kirkgoz (1990), yang selanjutnya

dikemukakan bahwa hal tersebut disebabkan karena kenyataan bahwa di *outer region* aliran akan sangat dipengaruhi oleh kekasaran dinding saluran yang akan berakibat naiknya tinggi kekasaran dan bilangan Reynold. Akibatnya distribusi kecepatan akan naik tidak seragam. Apalagi hal tersebut ditambah dengan kenyataan bahwa permukaan dasar saluran yang bergelombang akan membuat struktur aliran semakin kompleks.

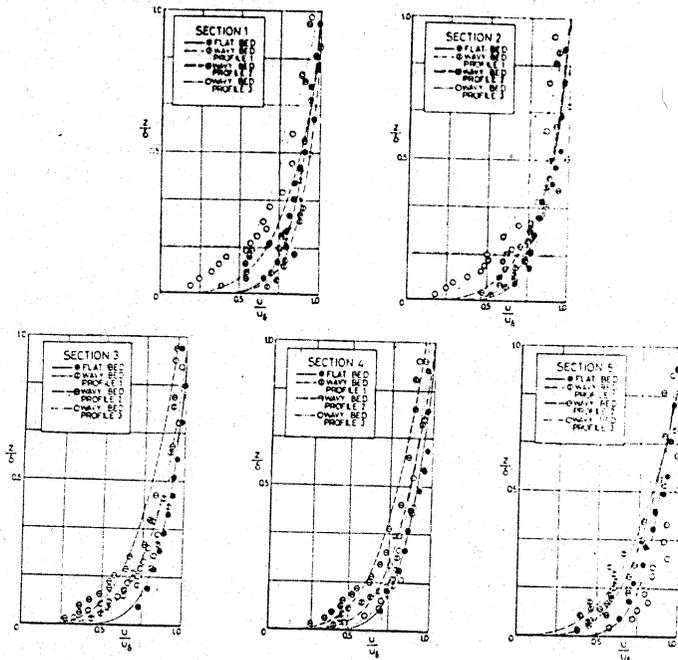
#### 4.2. Distribusi Kecepatan Aliran menurut Hukum Eksponensial (Power-law)

Sebagaimana telah diterangkan pada bagian 4.1 pada percobaan ini pada khususnya untuk permukaan dasar saluran yang bergelombang tidak dapat didekati dengan menggunakan fungsi logaritmis, sehingga pemakaian hukum eksponensial dapat diandalkan.

Pengeplotan persamaan (7) terhadap sebaran data kecepatan pada percobaan ini dapat dilihat pada gambar (4). Terlihat pada



Gambar 3. Distribusi kecepatan menurut *the velocity-defect distribution*



Gambar 4. Distribusi kecepatan menurut *the power-law distribution*

gambar (4) tersebut bahwa baik untuk permukaan dasar saluran yang bergelombang atau rata mengikuti persamaan yang dikemukakan oleh Munson (persamaan 7). Lebih jelasnya rekapitulasi dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Derajat  $n$  dan koefisien korelasi antara data kecepatan pada permukaan rata dan bergelombang terhadap fungsi eksponensial

Bentuk Permukaan	Profil Seksi	Derajat $n$	Koefisien Korelasi
Rata	— 1	7	0.9333
Rata	— 2	7	0.9269
Rata	— 3	7	0.8143
Rata	— 4	7	0.8580
Rata	— 5	7	0.9842
Bergelombang	1 1	9	0.8406
Bergelombang	1 2	6	0.9399
Bergelombang	1 3	5	0.8970
Bergelombang	1 4	5	0.8149
Bergelombang	1 5	4	0.8371
Bergelombang	2 1	5	0.8346
Bergelombang	2 2	5	0.8452
Bergelombang	2 3	4	0.9039
Bergelombang	2 4	4	0.9176
Bergelombang	2 5	4	0.9468
Bergelombang	3 1	3	0.9097
Bergelombang	3 2	3	0.8837
Bergelombang	3 3	4	0.8472
Bergelombang	3 4	7	0.8859
Bergelombang	3 5	9	0.8120

Dari tabel 1 tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa secara umum hukum eksponensial dapat digunakan untuk menerangkan distribusi kecepatan aliran baik di permukaan dasar saluran yang rata maupun yang bergelombang. Besarnya koefisien korelasi antara data kecepatan aliran dan Pers. (6) adalah berkisar 0,8413 — 0,9482 untuk permukaan rata, dan 0,8120 — 0,9486 untuk permukaan bergelombang. Sedangkan besarnya nilai eksponensial (derajat  $n$ ) untuk permukaan rata adalah tepat sama dengan 7 yakni sesuai dengan pernyataan Schlichting dan Munson,

sedangkan untuk permukaan bergelombang nilai  $n$  nya adalah antara 3 — 9.

### Kesimpulan dan Saran

Dari hasil percobaan ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Selama penggunaan fungsi logaritmik tidak bisa menjelaskan distribusi kecepatan aliran di saluran terbuka, khususnya pada bentuk permukaan bergelombang, maka pemakaian fungsi eksponensial (terutama formulasi yang dikemukakan oleh Munson) dapat diandalkan. Pada permukaan rata, nilai eksponensial (derajat  $n$ ) tepat sama dengan 7, sedangkan untuk permukaan bergelombang berkisar antara 3 sampai dengan 9.
2. Secara umum dapat dikatakan bahwa bila dibandingkan dengan permukaan dasar saluran yang rata, di permukaan bergelombang terdapat pengurangan kecepatan sekitar 0,21  $U/U_m$  di daerah dekat permukaan dasar saluran, dan 0,05  $U/U_m$  di daerah pertengahan lapisan batas ( $0,5 z/\delta$ ). Keadaan ini akan menurunkan efisiensi pengurasan kantong lumpur dan efisiensi pengendapan sedimen di dalam kantong lumpur.
3. Untuk meningkatkan fungsi kantong lumpur sebagai bangunan pengendap sedimen, diperlukan usaha pembersihan sisa material bahan bangunan di dasar saluran. Di samping itu penyempurnaan operasi dan pemeliharaan bangunan, terutama memperhatikan potensi sedimen yang ada, akan sangat membantu tercapainya tujuan tersebut. Sedangkan penelitian lanjutan yang berupa mencari hubungan antara distribusi kecepatan dan distribusi sedimen di saluran terbuka untuk berbagai macam kondisi permukaan dasar saluran, akan berguna sebagai masukan dalam pengendalian sedimen secara terpadu di jaringan irigasi.

## Daftar Pustaka

- Boysen, S.M., 1977. Erosion and sediment control in urbanizing areas, *Soil erosion and sedimentation*, ASAE, Illinois, USA.
- Chow, V.T. 1959. *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, Inc. Tokyo.
- Demin, V.S., Morin, O.V., Polyakov, N.F., and Shcherbakov, V.A. 1973. Measurement of low levels of turbulence with a hot-wire-anemometer, *J. Fluid Mech.-Soviet Research*, 2(3), pp. 59 — 63.
- Hinze, J.O. 1975. *Turbulence*. McGraw-Hill, New York.
- Kirkgoz, M.S. 1990. Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 115(11), pp. 1543 — 1561.
- Munson, B.R. Young, D.F., and Okiishi, T.H. 1990. *Fundamental of fluid mechanics*, John Willey and Sons, Singapore.
- Rochdyanto, S., and Minami, I. 1990. Study on sediment material distribution in sediment traps, *Proc. Applied Hydraulic Symposium of JSIRDRE*, pp. 1 — 5.
- Sarma, K.V.N., Lakshminarayana, P., and Rao, L.N.S. 1983. Velocity distribution in smooth rectangular open channels, *J. Hydr. Engrng.*, ASCE, 109(2), pp. 270 — 289.
- Schlichting, H. 1979. *Boundary layer theory*, McGraw-Hill Book Company, USA.
- Willis, J.C. 1978. Analytical velocity distribution, *J. Hydr. Div.*, ASCE, 104(HY 11), pp. 1543 — 1549.