

PENGUKURAN KECEPATAN ALIRAN BERMUATAN SEDIMEN DI SALURAN IRIGASI

Saiful Rochdyanto *)

*) Staf Pengajar di FTP UGM

ABSTRACT

Study on the measurement of flow velocity in sediment-laden flow was carried out in Van Der Wicjk irrigation Canal, Yogyakarta. Study was conducted in various of canal conditions and various of sediment concentration. Flow velocity was measured by using *current meter* and water sample was collected by using *suspended sampler*. Result of study shows that velocity distribution data can be suited by the *power-law*, although it does not seem to fit with equation that presented by Munson which is suitable with non-sediment laden flow in open channels. Due to the deviation on *power-law* graph, in order to find the average-measured-velocity which is match with the actual-velocity, the point of measurement should be $0,71 D$ (from the free water surface). The point of measurement at $0,6 D$ such as already established by regulation will give an error about 14,35%.

I. PENGANTAR

A. Latar Belakang

Tersedianya data kecepatan aliran yang cukup akurat sangat diperlukan dalam kaitannya dengan perancangan bangunan irigasi pada umumnya dan saluran irigasi pada khususnya. Data tersebut sangat penting bila perancangan akan dilakukan terutama terhadap saluran tidak permanen (*earthen channels*), karena sangat berpengaruh dalam menentukan unjuk kerja dari bangunan tersebut. Unjuk kerja bangunan yang tercermin dari kecepatan yang diijinkan dalam arti menimbulkan penggerusan dinding saluran serta tidak menimbulkan pengendapan yang berlebihan terutama di saluran tidak permanen, akan meringankan biaya operasi dan pemeliharaan. Dengan demikian besarnya kecepatan yang harus dialirkan di saluran irigasi harus ditentukan agar kelangsungan fungsional bangunan ini dapat dipertahankan.

Pada umumnya akurasi data kecepatan aliran yang didapat akan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain: jenis peralatan yang digunakan, metoda yang diterapkan, ketrampilan operator peralatan tersebut, kondisi fisik dari media pengaliran, dan lain-lain. Sedangkan kebutuhan terhadap tingkat akurasi data juga bermacam-macam yang tergantung pada penggunaannya. Untuk perencanaan akan membutuhkan tingkat keakuratan data yang berbeda bila dibandingkan dengan data untuk operasi dan pemeliharaan dari jaringan irigasi.

Untuk bisa mendapatkan data yang memenuhi syarat sebagaimana disebutkan di atas, maka diperlukan usaha-usaha penyempurnaan dalam beberapa hal agar data yang didapat semakin terjamin akurasi. Penyempurnaan tersebut dapat berupa perbaikan peralatan, peningkatan ketrampilan operator peralatan yang berupa pelatihan atau kursus, penyempurnaan metoda yang dijalankan, perbaikan media pengalirannya, dan sebagainya. Oleh karenanya dalam penelitian ini akan dievaluasi metode pengukuran kecepatan aliran, terutama yang menyangkut penetapan titik pengukuran kecepatan rata-ratanya, yang sebenarnya telah dibakukan oleh dinas atau instansi yang berwenang dalam hal ini. Metode yang sudah ada tersebut terutama akan diuji pada aliran bermuatan sedimen, dengan mempertimbangkan bahwa pada umumnya dalam air irigasi terkandung bahan sedimen.

Sebelum menentukan titik pengukuran kecepatan aliran rata-rata yang akurat, distribusi kecepatan aliran secara vertikal harus ditetapkan terlebih dulu. Pada aliran yang bermuatan sedimen, distribusi kecepatan alirannya diduga mempunyai sebaran yang berbeda dibandingkan dengan air jernih. Karakteristik kecepatan aliran di saluran terbuka sangat dipengaruhi oleh kekentalan cairannya (*kinematic viscosity*). Keberadaan bahan sedimen dalam air irigasi akan berpengaruh terhadap kekentalannya yang akhirnya mempengaruhi kecepatan aliran serta distribusinya baik secara vertikal maupun lateral. Semakin bervariasi kandungan bahan sedimen dalam air irigasi semakin bervariasi pula distribusi kecepatan alirannya, terutama bila dibandingkan dengan aliran yang terjadi pada air jernih. Oleh karenanya distribusi kecepatan aliran bermuatan sedimen harus diketahui dalam kaitannya menentukan titik pengukuran kecepatan aliran rata-rata.

Diharapkan hasil penelitian ini menjadi masukan dalam penyempurnaan metode pengukuran kecepatan aliran terutama untuk menentukan titik pengukuran yang tepat. Data kecepatan aliran yang akurat akan sangat membantu usaha operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi. Terlebih lagi dalam usaha perancangan bangunan irigasi, maka data kecepatan aliran yang akurat akan sangat membantu kecermatan dari perancangan tersebut.

Perancangan saluran irigasi yang mempertimbangkan keadaan nyata di lapangan, antara lain potensi sedimen yang ada, akan sangat membantu dalam kaitannya meningkatkan efisiensi irigasi secara keseluruhan.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik pengukuran kecepatan aliran yang akurat, khususnya pada aliran bermuatan sedimen, di saluran terbuka berdasar pada distribusi vertikal alirannya dengan berbagai macam klasifikasi saluran dan kandungan sedimen yang berbeda-beda. Hasil penelitian ini diharapkan dapat merupakan bahan evaluasi terhadap metode pengukuran kecepatan aliran yang ditetapkan oleh instansi yang berwenang.

Akurasi data yang diperoleh akan merupakan masukan yang berharga bagi perancangan saluran irigasi baik saluran yang permanen (*lined channels*) maupun saluran sementara (*earthen channels*). Di samping itu tersedianya data yang akurat juga bermanfaat untuk penyempurnaan dalam operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi. Kesemua masukan tersebut diharapkan dapat memberi hasil akhir yang optimal bagi penggunaan air irigasi sebagai input produksi di bidang pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Distribusi Kecepatan Aliran

Terdapat berbagai macam formula untuk menjelaskan distribusi vertikal kecepatan aliran baik di dalam pipa maupun di saluran terbuka. Yang paling banyak disinggung oleh beberapa peneliti terdahulu adalah distribusi kecepatan yang mengikuti hukum logaritmis (Sarma et al, 1983, Kirkgoz, 1985). Menurut hukum ini secara vertikal kecepatan aliran terbagi menurut lapisan-lapisannya. Lapisan bawah yang dekat dengan permukaan dasar saluran disebut sebagai lapisan lembam (*viscous sublayer*) yang biasanya alirannya bersifat laminar dengan tebal lapisan kira-kira $z/d = 0,001$, dengan z adalah jarak titik terhadap permukaan dasar saluran dan d adalah tebal lapisan batas (*boundary layer*). Lapisan di atasnya dengan tebal lapisan $z/d = 0,15$, sering disebut dengan lapisan dalam (*inner layer*). Biasanya sifat aliran dalam lapisan ini masih dipengaruhi oleh dinding saluran dan pengaruh kekentalan cairan dapat diabaikan, sehingga seringkali kecepatan aliran di lapisan ini mengikuti hukum *the-law-of-the-wall*. Lapisan terluar (*outer region*) yang tebal lapisannya berkembang sampai dengan permukaan air bebas, sering di-

sebut mengikuti hukum *the velocity-defect law* dan biasanya sifat alirannya dipengaruhi oleh tebal lapisan batas.

Namun Lau (1983) menyatakan bahwa walaupun penggunaan hukum logaritmis dapat dipakai untuk menerangkan distribusi kecepatan aliran, tetapi tidak dapat digunakan di lapisan yang sangat dekat dengan permukaan dasar saluran. Coles (1956) sebenarnya telah memperkenalkan fungsi gelombang (*wave function*) untuk menerangkan distribusi kecepatan dengan mendasarkan kecepatan aliran yang bernilai nol di permukaan dasar saluran dan maksimum di puncak tebal lapisan batas. Oleh karenanya Lau (1983) menyatakan kombinasi antara hukum logaritmis dan fungsi gelombang merupakan cara terbaik untuk menjelaskan distribusi kecepatan di seluruh kedalaman air.

Terdapat satu hukum lagi yang ternyata lebih mudah penggunaannya dalam menjelaskan distribusi kecepatan aliran, yaitu yang disebut sebagai fungsi *power-law*. Sarma et. al. (1983) menyatakan profil vertikal kecepatan aliran dapat diterangkan dengan fungsi *power-law* yang penggunaannya lebih praktis dan mudah. Secara umum hukum ini disebut sebagai *the empirical power-law velocity profile*. Bahkan percobaan secara laboratoris yang dilakukan oleh Rochdyanto (1991) dalam saluran terbuka dengan air jernih (tidak bermuatan sedimen), menunjukkan bahwa penggunaan hukum ini ternyata justru lebih bisa dipakai untuk memprediksi distribusi kecepatan aliran baik dalam kondisi permukaan yang rata maupun yang bergelombang. Oleh karenanya pada penelitian ini, persamaan *power-law* yang dikemukakan oleh Munson dan telah diuji pada aliran tidak bermuatan sedimen tersebut, akan diuji pada aliran bermuatan sedimen. Dengan demikian maka pada penelitian ini data yang diamati secara langsung di lapangan akan didekati dengan fungsi *power law* yang telah diketahui lebih praktis penggunaannya.

Rumus empiris *the power-law velocity profile* pertama kali dikemukakan oleh Nikuradse (Schlichting, 1985) yang mengadakan percobaan di saluran pipa dengan kisaran bilangan Reynolds $4 \times 10^3 < R < 3.2 \times 10^6$. Dengan menggunakan analisis tidak berdimensi (*non-dimensional analysis*) melalui gambar yang menghubungkan u/U dengan y/R , hasilnya dapat dilihat bahwa profil kecepatan akan bertambah penuh dengan bertambahnya bilangan Reynolds. Akhirnya menurut hukum ini, kecepatan aliran akan mengikuti persamaan 1:

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

dengan u adalah rata-rata kecepatan di pipa, U adalah kecepatan maksimum di tengah pipa, y adalah tebal air, R adalah jari-jari pipa, dan eksponen n bervariasi ringan terhadap bilangan Reynolds.

Schlichting (1985) mengemukakan bahwa untuk bilangan Reynolds = 10^5 , kecepatan relatif akan mengikuti persamaan 2.

$$\frac{U}{v^*} = 8.74 \left(\frac{v + R}{v} \right)^{1/7} \quad (2)$$

dengan v^* adalah kecepatan geser (*friction velocity*), dan v adalah kekentalan kinematik (*kinematik viscosity*). Sedangkan Munson (1990) mengemukakan bahwa untuk saluran terbuka, tampak bahwa distribusi kecepatannya akan mengikuti persamaan 3:

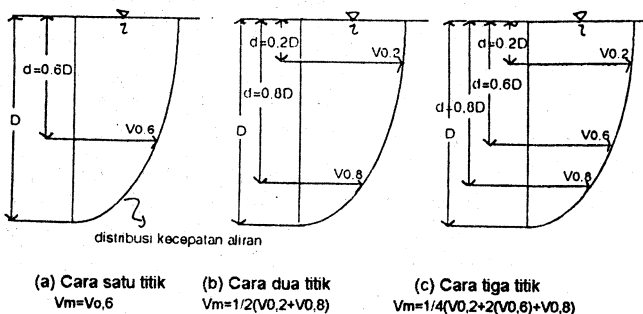
$$\frac{U}{U_d} = \left(\frac{z}{d} \right)^{1/n} \quad (3)$$

dengan d adalah tebal lapisan batas dan n pada umumnya setara dengan 7.

Oleh karena itu pada penelitian ini data yang diperoleh akan didekati dengan *the power-law velocity distribution* khususnya persamaan yang dikemukakan oleh Munson yaitu persamaan 3.

B. Titik Pengukuran Kecepatan Aliran

Pedoman untuk menentukan tinggi titik pengukuran baik dari permukaan dasar saluran maupun dari muka air bebas antara lain telah disampaikan oleh Sosrodarsono dan Takeda (1977) dan telah ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum melalui Penuntun Kursus Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi (1983). Ketentuan tersebut menyebutkan pedoman sebagaimana tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Perhitungan kecepatan aliran rata-rata

Dari gambar 1 dapat dipahami bahwa penentuan titik pengukuran kecepatan aliran tersebut berdasarkan pada kurva yang didapat dari sebaran data kecepatan alirannya. Berdasarkan dugaan bahwa sebaran kecepatan aliran bermuatan sedimen akan berbeda dengan aliran air jernih, maka kurva yang didapat akan mempunyai bentuk yang berbeda pula yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketinggian titik pengukurannya. Untuk mengetahui lebih lanjut sebaran data kecepatan aliran bermuatan sedimen tersebut, akan dilakukan pendekatan secara empiris dengan menggunakan persamaan 3 yang menurut Rochdyanto (1992) bisa digunakan pada aliran tidak bermuatan sedimen.

II. CARA PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah saluran irigasi (di Daerah Irigasi Van der Wijck) dengan berbagai macam klasifikasi. Klasifikasi tersebut dilihat dari fungsinya yaitu saluran primer, sekunder, dan tersier, sedangkan bentuk geometris saluran dan kondisi fisik saluran tersebut juga akan diinventarisir untuk mengetahui distribusi kecepatan alirannya. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini ialah : current-meter untuk mengukur kecepatan aliran, suspended-sampler untuk mengambil contoh air irigasi, peralatan laboratorium untuk menganalisa contoh air irigasi, dan komputer untuk analisa data dan penulisan naskah laporan.

Penelitian dilakukan dengan memilih lokasi pengukuran yang terdiri dari saluran primer, sekunder, dan tersier. Kemudian di lokasi tersebut dilakukan pengukuran kecepatan aliran secara vertikal dengan interval setiap 2,5 cm yang setelah sekitar 10 titik jarak tersebut semakin merenggang. Selesai pengukuran kecepatan aliran, dilanjutkan dengan pengambilan contoh air irigasi yang kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisa. Pekerjaan tersebut diulangi di sepanjang musim hujan, yaitu pada saat potensi sedimen di air irigasi masih cukup tinggi.

Analisa perhitungan dilakukan untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran berdasarkan klasifikasi konsentrasi bahan sedimen yang telah ditetapkan guna mendapatkan gambar distribusi kecepatan alirannya. Kemudian kurva yang didapatkan atas dasar sebaran data tersebut diuji keeratannya dengan metoda regresi-korelasi. Selanjutnya sebaran data tersebut masih diuji lebih lanjut dengan Persamaan 3 untuk mengetahui keberlakuan persamaan tersebut pada aliran bermuatan sedimen. Kemudian dengan menggunakan analisa grafis, kecepatan rata-rata aliran dapat dihitung berdasarkan

sebaran data ataupun dengan menggunakan kurva yang mempunyai koefisien korelasi paling besar. Berdasarkan kurva tersebut maka dapat ditentukan tinggi titik pengukuran yang disarankan atas dasar kecepatan yang secara aktual terukur di lapangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

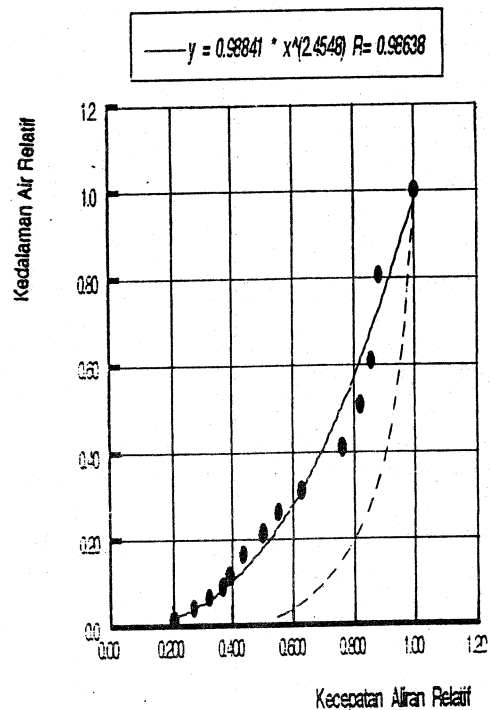
A. Distribusi Vertikal Kecepatan Aliran

Sebagai contoh hasil plotting pada saluran primer, sebaran data kecepatan aliran bermuatan sedimen dapat dilihat dari Gambar 2 sampai dengan Gambar 5. Sebelum dilakukan plotting, data diklasifikasikan terhadap fungsi saluran, yaitu saluran primer, saluran sekunder yang terdiri dari saluran sekunder Rewulu dan Sedayu dan saluran tersier yang terdiri dari saluran tersier Rewulu dan Sedayu. Di samping itu data kecepatan aliran juga diklasifikasikan terhadap muatan sedimennya, yaitu kecepatan aliran yang terdapat pada air irigasi dengan konsentrasi sedimen 500 – 1000 ppm, 1000 – 1500 ppm, 1500 – 2000 ppm, dan 2000 – 2500 ppm.

Apabila plotting sebaran data pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5 tersebut didekati dengan kurva power regresinya (sebagaimana tampak pada persamaan yang tertulis pada gambar yang bersangkutan, dan digambarkan sebagai garis tebal pada gambar tersebut), maka tampak bahwa masing-masing gambar mempunyai koefisien korelasi yang cukup tinggi, yaitu sekitar 0,90. Namun apabila sebaran data kecepatan tersebut didekati dengan persamaan yang telah disampaikan Munson (1990) yaitu pada persamaan 3 dan tampak di Gambar 2 sampai dengan Gambar 5 sebagai garis putus-putus, maka koefisien korelasinya menjadi turun, sekitar 0,70. Hal tersebut dapat dilihat pada penyimpangan yang terjadi antara garis yang terputus-putus dan sebaran data kecepatan alirannya pada gambar-gambar tersebut. Terutama penyimpangan tersebut terjadi pada saluran primer, saluran sekunder Sedayu dan saluran tersier Sedayu. Di samping itu penyimpangan utama terjadi pada daerah bawah, yaitu daerah yang dekat dengan permukaan dasar saluran, sekitar 0,0 – 0,6 H (kedalaman air).

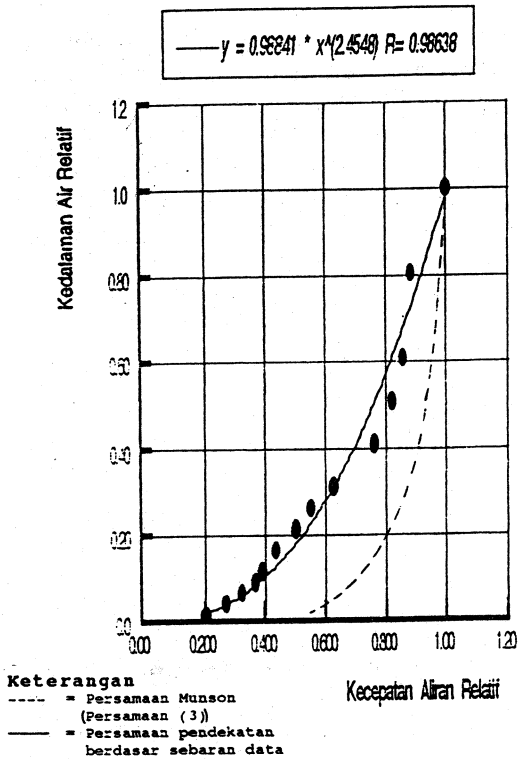
Penyimpangan tersebut terutama diakibatkan karena pada dasarnya kecepatan aliran masih sangat dipengaruhi oleh kekentalan cairannya (*kinematic viscosity*). Semakin kental atau pekat konsentrasi suatu cairan akan mengakibatkan semakin lambatnya kecepatan aliran. Pada cairan yang terlarut bahan sedimen dengan distribusi yang tidak merata di segala arah (terutama arah vertikal) akan mengakibatkan distribusi kecepatan aliran yang tidak merata pula, terutama bila dibandingkan

dengan distribusi kecepatan aliran di air yang jernih dengan dugaan mempunyai distribusi kekentalan yang merata. Besarnya kecepatan aliran sendiri akan berpengaruh terhadap distribusi kekentalan cairan. Semakin lambat kecepatan alirannya distribusi kekentalannya semakin tidak merata dan cenderung semakin membesar di bagian bawah karena diakibatkan kecepatan pengendapan partikel sedimen yang semakin besar dibanding dengan kecepatan alirannya. Di satu pihak bila kecepatan aliran cukup besar, maka kesempatan pengendapan partikel sedimen semakin kecil akibat turbulensi distribusi kekentalan cairan yang relatif lebih merata dibanding dengan pada kecepatan aliran yang kecil. Penyimpangan tersebut semakin dipertajam dengan adanya kecepatan geser (*friction velocity*) yang pada umumnya terjadi di daerah yang dekat dengan permukaan saluran. Oleh karenanya besarnya penyimpangan distribusi kecepatan aliran yang bermuatan sedimen bisa dimengerti.

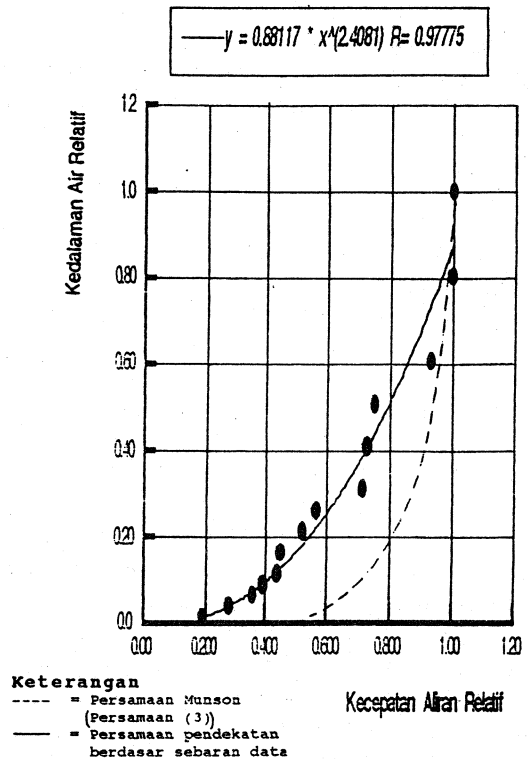


Keterangan
 ---- = Persamaan Munson
 (Persamaan (3))
 ——— = Persamaan pendekatan
 berdasar sebaran data

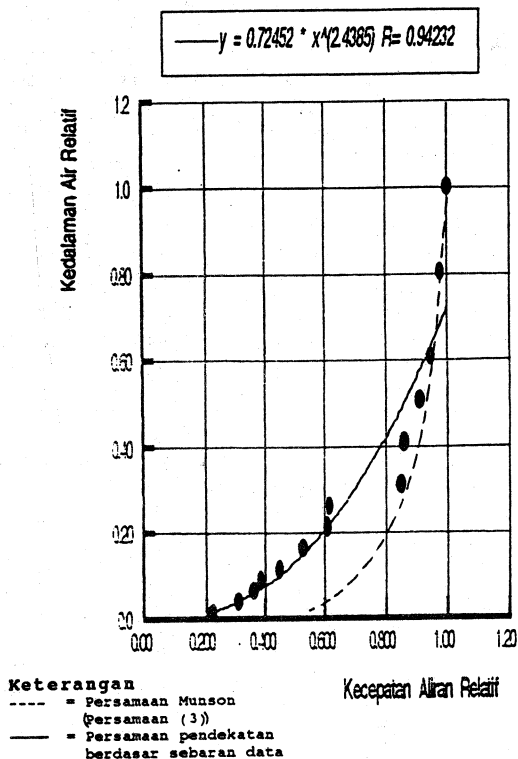
Gambar 2. Distribusi vertikal kecepatan aliran relatif Saluran Primer pada konsentrasi sedimen 500 – 1000 ppm



Gambar 3. Distribusi vertikal kecepatan aliran relatif Saluran Primer pada konsentrasi sedimen 1000 – 1500 ppm



Gambar 5. Distribusi vertikal kecepatan aliran relatif Saluran Primer pada konsentrasi sedimen 2000 – 2500 ppm



Gambar 4. Distribusi vertikal kecepatan aliran relatif Saluran Primer pada konsentrasi sedimen 1500 – 2000 ppm

B. Titik Pengukuran Kecepatan Aliran Rata-rata

Memperhatikan bahwa distribusi kecepatan aliran bermuatan sedimen berbeda dengan aliran pada air jernih, maka perlu dilihat pengaruhnya terhadap penentuan atau perhitungan kecepatan aliran rata-ratanya. Berdasarkan pendapat yang telah disampaikan pada landasan teori, maka analisis grafis yang dilakukan adalah menggunakan kurva yang dibentuk oleh persamaan power regresi sebagai persamaan dasar. Rekapitulasi hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan hitung rata-rata yang diperoleh dari tiga titik pengukuran yaitu 0,2 D; 0,6 D; dan 0,8 D ternyata lebih besar bila dibandingkan dengan rata-rata kecepatan pengukuran. Rata-rata kecepatan pengukuran adalah didapatkan dari merata-ratakan data kecepatan aliran yang didapatkan dari pengukuran di lapangan. Dengan demikian rata-rata kecepatan pengukuran adalah data kecepatan aliran yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya yang selanjutnya dipakai sebagai kecepatan aktual. Secara umum dapat disebutkan bahwa besarnya kesalahan kecepatan perhitungan dan kecepatan pengukuran, bila menggunakan 0,2 D, 0,6 D, dan 0,8 D adalah sekitar

14,35%. Hal tersebut disebabkan pada kenyataan terjadinya penyimpangan terhadap persamaan power regresi yang berlaku bagi aliran yang tak bermuatan sedimen. Dengan terjadinya penyimpangan, terutama di kurva bagian bawah untuk aliran bermuatan sedimen, maka perlu dilakukan penyesuaian terhadap titik pengukuran untuk mendapatkan kecepatan aliran yang aktual untuk aliran yang bermuatan sedimen.

Berdasarkan analisis grafis yang seperti hasilnya tampak pada Tabel 1 tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa untuk aliran bermuatan sedimen agar bisa mendapatkan data kecepatan aliran yang akurat, titik pengukuran kecepatannya dapat dilakukan setinggi 0,75 D sampai dengan 0,61 D, atau rata-rata sekitar 0,71 D. Karena bila hanya diambil titik pengukuran setinggi 0,6 D sebagaimana yang telah direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum, maka akan terjadi pengukuran kecepatan aliran yang lebih besar dibanding dengan kecepatan aliran aktual. Sudah barang tentu penelitian ini bisa dilanjutkan dengan mengadakan pengukuran data kecepatan yang lebih banyak lagi dengan mengadakan variasi terhadap kondisi saluran, konsentrasi sedimen, bentuk dasar permukaan saluran, kemi-

ingan saluran, profil saluran, dan lain-lain. Namun data yang diperoleh dari penelitian ini yang didasarkan atas keadaan yang nyata ada di lapangan akan bermanfaat untuk memberi informasi pada operasi dan pemeliharaan jaringan guna optimasi fungsi jaringan agar tujuan jaringan irigasi sebagai penyadap, pengukur, pembagi, dan pembuang air kelebihan, bisa lebih dioptimalkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan, maka penelitian tentang pengukuran kecepatan aliran bermuatan sedimen di saluran irigasi yang mengambil contoh lokasi di Saluran Irigasi Van Der Wijck dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan fungsi power regresi sebagai persamaan empiris untuk menggambarkan distribusi kecepatan aliran bermuatan sedimen dapat diterima dengan koefisien korelasi sekitar 0.85. Namun sebaran data kecepatan aliran bermuatan sedimen tersebut tidak mengikuti persamaan yang telah disampaikan oleh Munson

Tabel 1. Analisa grafis terhadap kurva power regresi pada kecepatan aliran (m/dt) bermuatan sedimen (ppm)

Saluran	Konsentrasi Sedimen	Persamaan Power Regresi	Kecep. Hitung Aliran			Kecepatan Hitung Rata-rata	Kecepatan Ukur Rata-rata	Titik Ukur Disarankan
			0,8 D	0,6 D	0,2 D			
Primer	500 – 1000	$Y = 0,6150X^A(2,3372)$	0,6184	0,8319	1,1191	0,8503	0,6808	0,75 D
	1000 – 1500	$Y = 0,7964X^A(2,4548)$	0,5696	0,7554	1,0019	0,7796	0,6241	0,75 D
	1500 – 2000	$Y = 0,5781X^A(2,4386)$	0,6471	0,8598	1,1425	0,8773	0,7069	0,75 D
	2000 – 2500	$Y = 0,5954X^A(2,4081)$	0,6064	0,7953	1,0586	0,8119	0,5446	0,84 D
Sekunder Rewulu	500 – 1000	$Y = 35,042X^A(5,4066)$	0,3846	0,4372	0,4970	0,4390	0,4109	0,71 D
	1000 – 1500	$Y = 19,924X^A(4,2093)$	0,3352	0,3952	0,4659	0,3979	0,3609	0,71 D
	1500 – 2000	$Y = 38,929X^A(5,4206)$	0,3782	0,4297	0,4884	0,4315	0,4038	0,71 D
	2000 – 2500	$Y = 26,168X^A(4,5493)$	0,3425	0,3989	0,4646	0,4012	0,3727	0,71 D
Sekunder Sedayu	500 – 1000	$Y = 0,1129X^A(4,4011)$	1,1388	1,3300	1,5604	1,3413	1,1856	0,76 D
	1000 – 1500	$Y = 0,1247X^A(3,4772)$	1,1479	1,4051	1,7202	1,4196	1,2195	0,75 D
	1500 – 2000	$Y = 0,1248X^A(2,9493)$	1,1734	1,4893	1,8775	1,5049	1,2084	0,78 D
	2000 – 2500	$Y = 0,0138X^A(8,1317)$	1,3888	1,5124	1,6469	1,5151	1,4120	0,77 D
Tersier Rewulu	500 – 1000	$Y = 1037,4X^A(6,2916)$	0,2568	0,2867	0,3201	0,2876	0,2812	0,65 D
	1000 – 1500	$Y = 12,155X^A(8,8255)$	0,2871	0,3105	0,3359	0,2110	0,3057	0,65 D
	1500 – 2000	$Y = 1216,1X^A(6,5433)$	0,2641	0,2936	0,3264	0,2944	0,2882	0,66 D
	2000 – 2500	$Y = 1702,0X^A(8,4070)$	0,3408	0,3701	0,4019	0,3702	0,3645	0,65 D
Tersier Sedayu	500 – 1000	$Y = 5,6600X^A(6,2916)$	0,3501	0,4203	0,5273	0,4295	0,4165	0,61 D
	1000 – 1500	$Y = 20,421X^A(4,5748)$	0,3638	0,4233	0,4925	0,4257	0,4020	0,68 D
	1500 – 2000	$Y = 9,0828X^A(3,6859)$	0,3551	0,4286	0,5173	0,4324	0,4034	0,68 D
	2000 – 2500	$Y = 3,7478X^A(2,6586)$	0,3321	0,4310	0,5594	0,4384	0,4259	0,61 D

yang telah diuji cocok untuk aliran tidak bermuatan sedimen.

2. Penyimpangan yang terjadi terhadap persamaan Munson pada butir (1) tersebut terutama terjadi di daerah dekat permukaan dasar saluran. Hal tersebut disebabkan karena tidak homogenya kekentalan cairan akibat keberadaan bahan sedimen di air irigasi yang akhirnya berpengaruh terhadap distribusi kecepatan alirannya.

3. Terjadi kesalahan pengukuran kecepatan rata-rata aliran, pada umumnya lebih besar dari kecepatan aktual, apabila menggunakan pedoman titik pengukuran setinggi 0,6 D (dari permukaan air bebas) sebagaimana yang telah ditetapkan oleh instansi yang berwenang. Kesalahan sebesar sekitar 14,35% (angka sementara) tersebut diakibatkan penyimpangan distribusi kecepatan aliran sebagaimana pada butir (2).

4. Untuk mendapatkan kecepatan rata-rata aliran yang sesuai dengan kecepatan aktualnya, maka untuk aliran bermuatan sedimen titik pengukurannya disarankan setinggi sekitar 0,71 D bukan 0,6 D seperti yang telah ditetapkan.

5. Diperlukan penelitian lanjutan dengan mengadakan pengukuran pada berbagai macam kondisi dan variasi saluran irigasi lebih banyak agar diperoleh gambaran distribusi yang mantap dan penentuan titik pengukuran yang lebih sesuai dengan kecepatan aliran aktualnya. Terutama penggunaan model fisik di laboratorium yang kemudian dicek dengan kondisi lapang adalah yang sangat disarankan agar hasil yang diperoleh semakin meyakinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T., 1959. Open-channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, Inc. Tokyo.
- Coles, D., 1956. The law of the wake in the turbulent boundary layer *J. Fluid Mech.*, Vol, pp. 191 – 226.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983: Penuntun kursus eksploitasi dan pemeliharaan jaringan irigasi, Proyek Latihan Audio Visual, Jakarta.
- Kirkgoz, M.S., 1990. Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow, *J Hydr. Engrng.*, ASCE, 115(11), pp. 1543 – 1561.
- Lau, Y.L., 1983. Suspended sediment effect on flow resistance, *J. Hydr. Engrng.*, ASCE, 109 (5) pp. 757 – 763.
- 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., 1991. Velocity distribution in flat and wavy open channels, *Proc. Applied Hydraulic Symposium of JSIDRE*, No. 5, pp. 1 – 9.
- 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.
- Sosrodarsono, S., and Takeda, K., 1977. *Hidrologi untuk pengairan*, Pradya Paramita, Jakarta.