

## PENGARUH ANGKUTAN SEDIMEN DASAR TERHADAP PERHITUNGAN DEBIT SEDIMEN SUSPENSİ DAN LOKASI PENGAMBILAN SAMPELNYA

Totoh Andayono<sup>1)</sup>, Henny Yustisia<sup>2)</sup>  
to.handayono@gmail.com, [thufailabilqis@gmail.com](mailto:thufailabilqis@gmail.com)

1), 2) Dosen Teknik Sipil Universitas Negeri Padang

### ABSTRACT

*One of constraints in suspended sediment sampling in a field study is the difficulty to obtain sample data for the whole width of the river for the harsh condition of field. This sometime results in sampling implementation only at the edge of the canal. When such data were used to predict sediment (suspended) discharge they would lead to erroneous outcomes.*

*Measurement in the laboratory channel as according to measurement procedure in field, what done at vertical direction and transversal (wide direction). The research sediment-recirculating flume, foslim probe set as a means of measure the concentration and electromagnetic currentmeter to measure the velocity of as much 75 series of stream measurement with transportation of bed load have been obtained in this research.*

*The velocity distribution profile gets fuller with a maximum velocity increasingly more distant from the water surface, whereas distribution of concentration of sediment suspensi progressively uniform. Assess the U progressively come near the wall more and more to descend. Difference result of calculation between measurement data to equation of Rouse and equation of Tanaka and Sugimoto, giving ever greater deviation for the data of which progressively the data in edge of the channel. The equation still applicable to entire data by applying corrective konstanta assess.*

**Key words** : *Sampling location, velocity distribution and suspended sediment concentration, averaged suspended sediment discharge, the  $\beta$  value,*

### PENDAHULUAN

Adanya angkutan sedimen dasar (*bed load*) diperkirakan akan mempengaruhi besarnya konsentrasi sedimen suspensi dan kecepatan aliran, yang biasanya perlu diukur untuk perhitungan debit sedimen suspensi.

Banyaknya kendala yang dihadapi di lapangan mengakibatkan pengambilan sampel sedimen suspensi tidak dapat dilaksanakan sesuai dengan standar pengambilan sampel yang benar. Pengambilan sampel sedimen suspensi untuk perhitungan debit sedimen seringkali hanya dilakukan ditepi saluran, karena sulitnya mengambil sampel ditengah. Hal ini akan berakibat pada ketidaktelitian prediksi debit sedimen suspensi yang diperoleh.

Kajian terhadap kemungkinan adanya pengaruh angkutan sedimen dasar terhadap lokasi pengambilan sampel sedimen suspensi dalam kaitannya dengan perhitungan debit sedimen suspensi dilakukan melalui studi eksperimental di laboratorium. Kajian dilakukan melalui pengukuran distribusi konsentrasi sedimen suspensi dan distribusi kecepatan di laboratorium. Konsentrasi sedimen suspensi diukur dengan menggunakan alat *Foslim probe*, sedangkan kecepatan diukur dengan menggunakan alat *Electromagnetic currentmeter*. Pengukuran dilakukan pada arah vertikal (kedalaman) dan pada arah transversal (arah melebar) untuk kondisi dengan dan tanpa adanya angkutan sedimen dasar.

Barton-Lin (1955) melakukan pengukuran konsentrasi sedimen suspensi pada *Enoree River*, Vanoni (1941, 1946) melakukan pengukuran pada *Mississippi River* (dalam Van Rijn, 1984). Dari hasil pengukuran diketahui bahwa konsentrasi sedimen suspensi di dekat dasar sungai lebih besar bila dibandingkan dengan konsentrasi sedimen suspensi di permukaan. Data konsentrasi sedimen suspensi di dekat dasar tidak diperoleh, disebabkan karena peralatan (jenis standar, US-DM 59) yang digunakan mempunyai keterbatasan melakukan pengukuran dekat dengan dasar. Selain itu karena fenomena angkutan sedimen dasar di dekat dasar agak sulit untuk dibedakan sebagai angkutan sedimen dasar (*bed load*) atau angkutan sedimen suspensi (*suspended load*).

Utomo dan Kironoto (2003) meneliti tentang distribusi sedimen suspensi saat awal gerak butiran dasar (kondisi kritik). Peralatan yang digunakan adalah *optical silt measuring instruments* tipe *Foslim probe-set* untuk mengukur konsentrasi dan *Electromagnetic currentmeter* mengukur kecepatan. Dari hasil penelitian diketahui bahwa angkutan sedimen dasar mempengaruhi distribusi kecepatan dan distribusi konsentrasi sedimen suspensi.

Totoh dan Kironoto (2003) mengkaji lokasi pengambilan sampel untuk menentukan debit sedimen suspensi rata-rata pada aliran tanpa angkutan *bed load*. Diperoleh hasil

bahwa, debit sedimen suspensi rata-rata pada tampang saluran dapat diperoleh dengan pengambilan sampel disebarkan titik (vertikal) pada arah melebar dengan menerapkan faktor koreksi.

### Kecepatan Gesek dan Kecepatan Endap

Kecepatan gesek,  $U_*$ , dihitung dengan menggunakan metoda dengan berdasarkan data pengukuran distribusi kecepatan di daerah *inner region* ( $y/\delta \leq 0,2$ ) bersama-sama dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik (*log-law*) (Kironoto, 1993).

$$\frac{U_y}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{y}{k_s} \right) + Br$$

dengan:  $U_y$  = kecepatan rata-rata titik pada jarak  $y$  dari level referensi (cm/dt);  $U_*$  = kecepatan gesek (cm/dt);  $\kappa$  = konstanta universal von Karman ( $\kappa = 0,4$ );  $Br$  = konstanta integrasi numerik (*log-law*) dan  $k_s$  = kekasaran dasar saluran ekuivalen nikuradse (cm).

Kecepatan endap sedimen suspensi,  $w_s$ , dapat dihitung dengan menggunakan (Yang, 1996)

$$w_s = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{d_s^2}{\nu}$$

dengan:  $d_s$  = diameter partikel suspensi representatif (cm);  $w_s$  = kecepatan jatuh/endap partikel suspensi (cm/dt) dan  $s = \rho_s/\rho$ .

### Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi

Rumusan klasik yang sering digunakan untuk memprediksi konsentrasi sedimen suspensi rata-rata

adalah rumus rumus Rouse (1937) yang dapat dituliskan sebagai berikut (Yang, 1996).

$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right)^z$$

Tanaka dan Sugimoto (1958, dalam Garde dan Ranga Raju, 1977) mengusulkan suatu persamaan sejenis untuk distribusi sedimen suspensi, yaitu:

$$\frac{C}{C_a} = \left[ \left( \frac{\sqrt{D} + \sqrt{D-y}}{\sqrt{D} - \sqrt{D-y}} \right) \left( \frac{\sqrt{D} - \sqrt{D-a}}{\sqrt{D} + \sqrt{D-a}} \right) \right]^{U_{*k} \frac{w_s}{U_{*k}}}$$

dengan:  $C$  = konsentrasi sedimen suspensi ( $gr/cm^3$ ) ;  $C_a$  = konsentrasi referensi pada level  $y = a$  ( $gr/cm^3$ ) ;  $y$  = titik pengukuran vertikal diukur dari dasar (cm) ;  $D$  = kedalaman aliran (cm) ;  $a$  = level referensi sebesar 0,05  $D$  (cm) dan  $z = w_s / U_{*k}$

**Debit Sedimen Suspensi**

Debit sedimen suspensi dihitung dengan mengintegrasikan untuk seluruh lebar saluran, perkalian antara nilai kecepatan dan nilai konsentrasi sedimen suspensi rata-rata vertikal yaitu:

$$Q_s = \int_0^B \bar{U}_y \cdot \bar{C}_y dB$$

Kecepatan rata-rata vertikal pada distribusi kecepatan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{U}_y = \frac{1}{D-y} \int_{y_0}^D U_y dy$$

Sedangkan konsentrasi rata-rata vertikal sedimen suspensi digunakan rumus .

$$\bar{C}_y = \frac{1}{D-y} \int_{y_0}^D C_y dy$$

dengan:  $y_0$  = posisi titik pengukuran terendah dari dasar (cm) ;  $U$  = kecepatan rata-rata titik pada jarak  $y$  dari level referensi (cm/dt) ;  $C$  = konsentrasi sedimen suspensi ( $gr/lt$ ) ;  $\bar{U}_y$  = kecepatan sedimen suspensi rata-rata (cm/dt) ;  $\bar{C}_y$  = konsentrasi sedimen suspensi rata-rata ( $gr/lt$ ) ;  $B$  = lebar penampang (cm).

**METODE PENELITIAN**

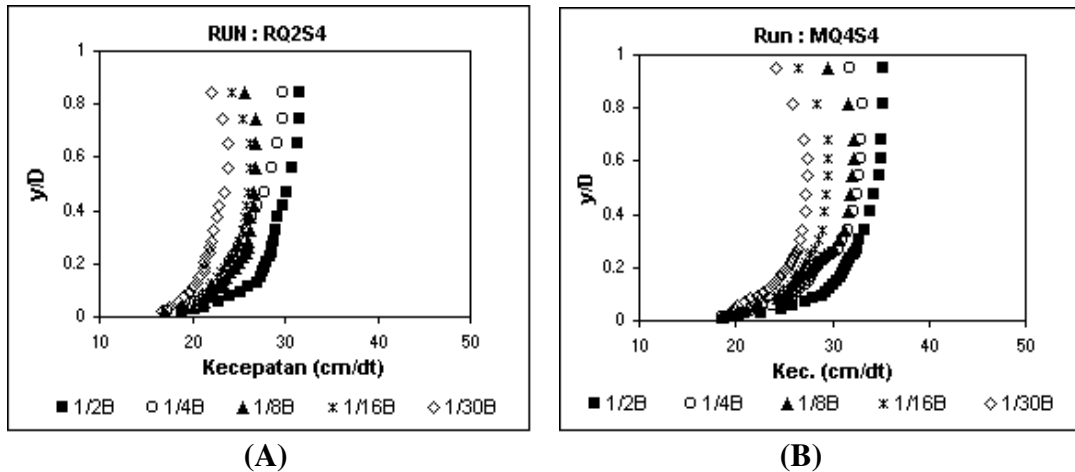
Pengukuran dilaksanakan di laboratorium Hidraulik dengan menggunakan *sediment-recirculating flume*, alat ukur konsentrasi sedimen suspensi (*foslum*), alat ukur kecepatan aliran (*electromagnetic currentmeter*) dan komputer beserta *software LabVIEW*. Nilai *aspect ratio*, yaitu nilai perbandingan lebar terhadap kedalaman ( $b/D$ ) dalam penelitian ini diambil pada interval  $3.6 < b/D < 4.4$ , pada aliran seragam dengan kondisi aliran adanya angkutan sedimen dasar (*bed load*).

Pengukuran dimulai dengan debit 23,33 lt/dt, kemiringan dasar ( $S_0$ ) 0.0005, dan posisi 1/2B. Selanjutnya posisi pengukuran digeser ketepi masing-masing 1/4B, 1/8B, 1/16B dan 1/30B. Berikutnya  $S_0$  dinaikan berturut-turut 0.001, 0.0015, 0.002 dan 0.0025. Tahap selanjutnya dengan variasi debit sebanyak dua variasi masing-masing 26,45 lt/dt dan 29,57 lt/dt.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Distribusi Kecepatan**

Berikut ini adalah gambar hasil pengukuran distribusi kecepatan dengan variasi lokasi pengukuran arah transvesal aliran dengan angkutan sedimen dasar.



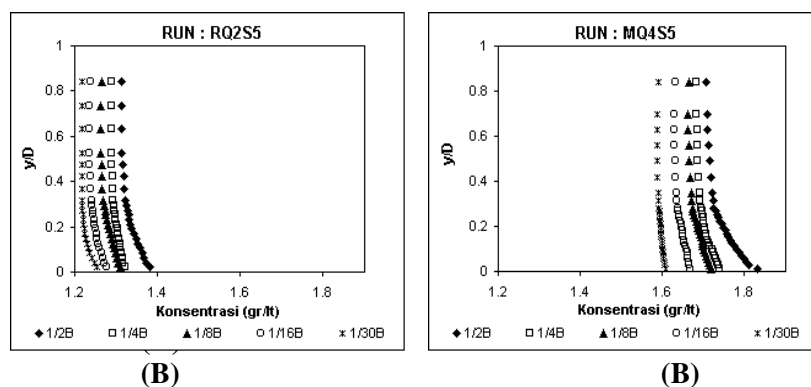
**Gambar 2.**Perbandingan distribusi kecepatan, (A) kondisi aliran tanpa angkutan sedimen dasar dan (B) kondisi aliran dengan adanya angkutan sedimen dasar.

Gambar 2 menjelaskan semakin ketepi bentuk distribusi kecepatan, semakin tegak dan kecepatan maksimum semakin ketepi semakin turun atau menjauhi muka air. Perubahan bentuk profil distribusi kecepatan, dengan adanya angkutan

sedimen dasar untuk daerah *inner region* semakin landai (membuka).

**Distribusi Konsentrasi**

Tampak pada Gambar 3 distribusi konsentrasi sedimen suspensi terjadi didekat dasar membesar, dan makin mengecil mendekati muka air.



**Gambar 3.**Profil distribusi konsentrasi, (A) kondisi aliran tanpa angkutan sedimen dasar dan (B) kondisi aliran dengan adanya angkutan sedimen dasar.

Gambar 3A dan 3B terjadinya perubahan profil distribusi arah transvesal, semakin ketepi/mendekati dinding bentuknya semakin

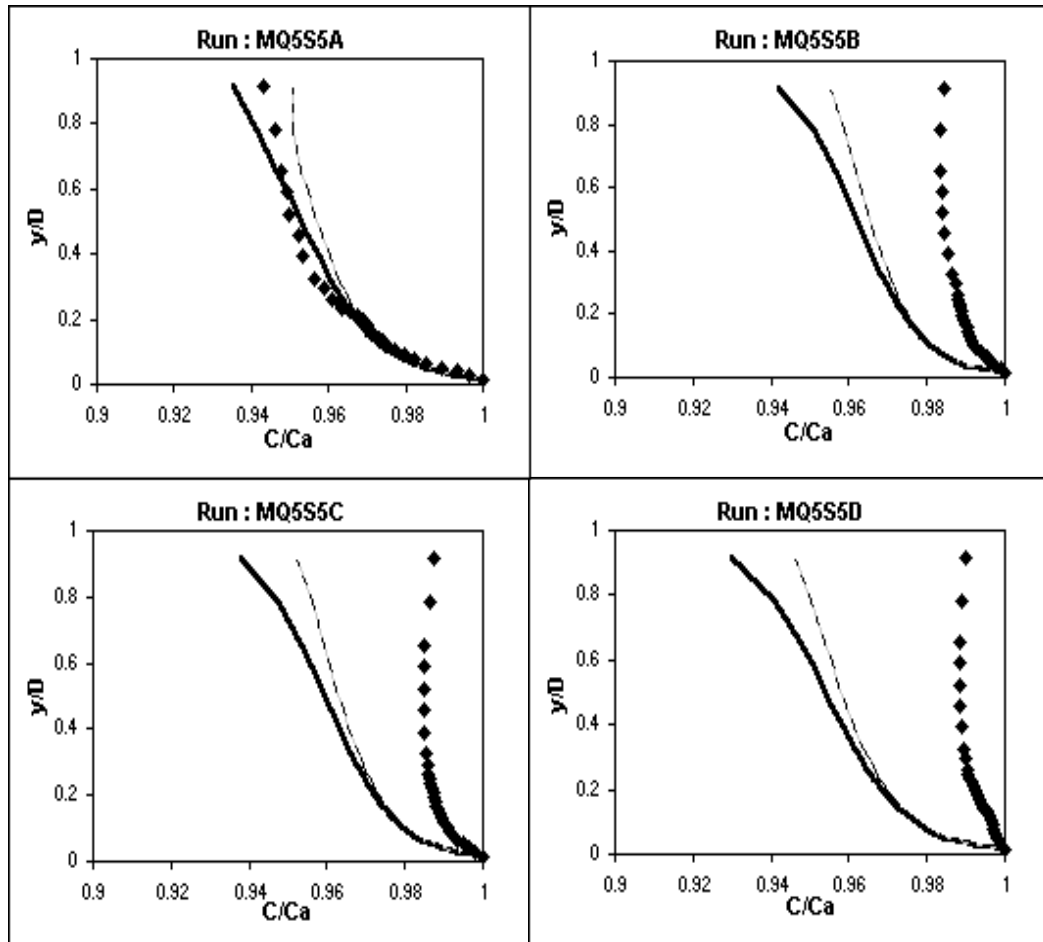
seragam. Untuk kondisi aliran dengan angkutan sedimen dasar menunjukkan konsentrasi sedimen suspensi semakin besar dan semakin tidak seragam,

dikarenakan adanya butiran yang terlepas dari dasar saluran sehingga

partikel tersebut senantiasa menjadi suspensi sepanjang aliran.

**Konsentrasi Sedimen Suspensi antara Pengukuran dengan Rumus-rumus Literatur**

Konsentrasi sedimen suspensi digunakan persamaan Rouse dan Tanaka dan Sugimoto kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran.



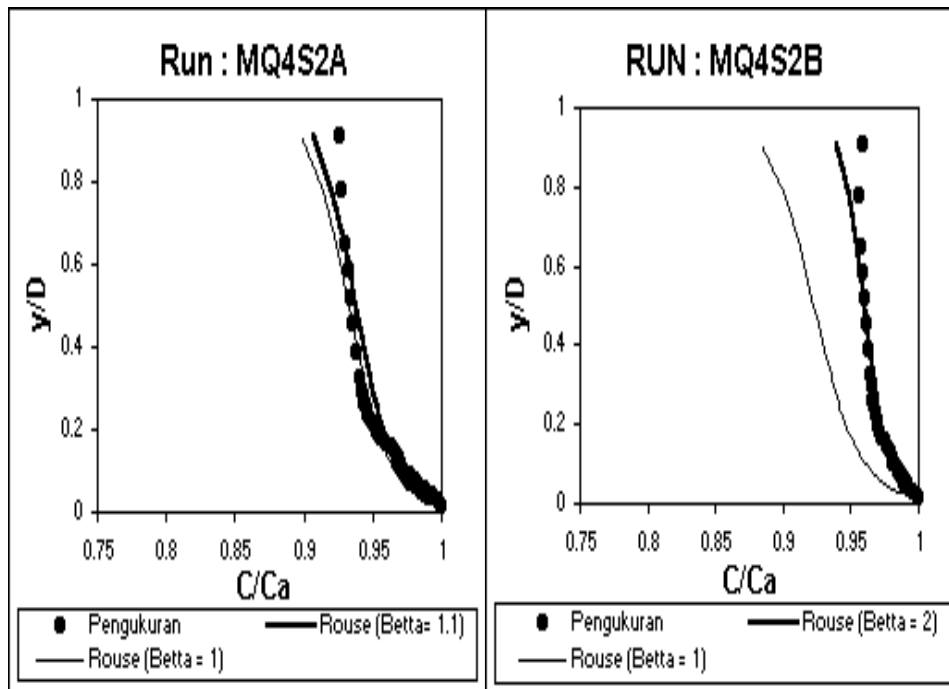
**Gambar 4.** Perhitungan sedimen suspensi dengan persamaan-persamaan literatur.

Pengukuran ditengah saluran (MQS5A), perbandingan antara data pengukuran dengan persamaan di literatur hasilnya relatif sama. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada kondisi tanpa angkutan sedimen dasar. Namun, semakin ketepi (dari MQS5B sampai dengan MQS5E) perbandingan perhitungan dengan pengukuran semakin

menampakkan perbedaan. Persamaan Rouse dan persamaan Tanaka dan Sugimoto hanya dapat memprediksi dengan baik untuk lokasi pengukuran ditengah saluran. Sebagaimana diketahui persamaan tersebut dikembangkan dengan pendekatan nilai  $\beta \approx 1$ , untuk persamaan  $\epsilon_s = \beta \cdot \epsilon_m$ . Untuk lokasi pengukuran ditepi, nilai  $\beta \neq 1$ , sehingga perlu adanya nilai koreksi terhadap nilai  $\beta$  pada masing-masing

lokasi pengukuran. Serupa halnya dengan kondisi tanpa angkutan sedimen dasar, koreksi  $\beta$  diperoleh dengan perhitungan metoda *Least Square*, yaitu dengan cara memasukkan nilai  $\beta$  sembarang kedalam persamaan  $Z =$

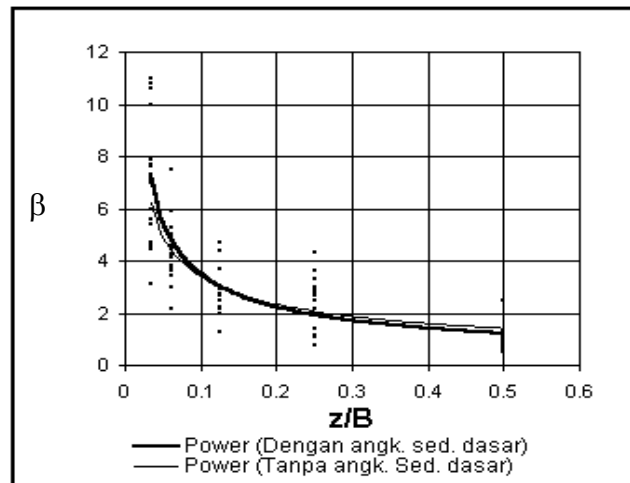
$w_s/\beta \cdot \kappa \cdot U_*'$ , sedemikian sehingga persamaan Rouse berhimpit dengan data pengukuran. Berikut ini bentuk kurva yang terjadi setelah dilakukan perhitungan metoda *least square*



Tabel 2. Nilai  $\beta$  hasil perhitungan pada aliran dengan angkutan *bed load*

Running	$\beta$ Pada Lokasi Pengukuran Z :				
	1/2B	1/4B	1/8B	1/16B	1/30B
MQ3S1	0.71	1.15	1.30	4.55	4.70
MQ3S2	2.48	3.65	4.70	5.25	11.0
MQ3S3	1.27	3.30	2.90	3.45	4.60
MQ3S4	0.51	0.76	2.25	2.18	4.45
MQ3S5	0.80	2.15	2.15	4.25	5.40
MQ4S1	1.00	2.65	2.00	3.60	3.10
MQ4S2	1.10	2.00	2.45	3.75	7.60
MQ4S3	0.81	1.10	2.65	3.80	6.00
MQ4S4	0.60	3.60	3.00	3.00	7.00
MQ4S5	1.09	2.70	3.00	5.00	10.6
MQ5S1	1.32	2.80	3.70	3.40	5.60
MQ5S2	1.18	2.85	2.75	2.18	7.70
MQ5S3	1.05	3.00	3.70	5.90	10.0
MQ5S4	0.95	1.38	2.98	4.43	10.8
MQ5S5	1.20	4.30	4.35	7.50	11.0
Rata-rata	1.071	2.492	2.925	4.149	8.370

Tabel 2 yang merupakan nilai  $\beta$  seluruh hasil perhitungan, dijadikan acuan untuk menentukan koreksi nilai  $\beta$ , seperti disajikan pada gambar berikut:



Gambar 6. Kurva koreksi nilai β.

**Debit Sedimen Suspensi**

Debit sedimen suspensi dihitung berdasarkan data perkalian antara nilai kecepatan rata-rata dan konsentrasi rata-rata, kemudian dikalikan dengan luas pias tampang titik lokasi

pengukuran. Analisa perhitungan debit sedimen suspensi berdasarkan dari kurva  $(\bar{U} \times \bar{C})$  yang terbentuk dari masing-masing *running*.

Tabel 3. Nilai perhitungan perkalian kecepatan dan konsentrasi rata-rata dan debit sedimen suspensi.

Running	$(\bar{U} \times \bar{C})$ Pada Lokasi Pengukuran Z (gr/dt.cm <sup>2</sup> ):					Q <sub>s</sub> (gr/dt)
	1/2B	1/4B	1/8B	1/16B	1/30B	
MQ3S1	42.038	38.480	35.531	32.453	28.567	33.487
MQ3S2	40.982	38.764	35.779	32.804	29.323	32.574
MQ3S3	42.867	40.417	37.408	34.598	29.932	32.913
MQ3S4	46.478	43.061	39.461	35.177	30.854	33.793
MQ3S5	45.816	46.371	45.251	41.610	36.453	35.313
MQ4S1	49.889	46.665	43.049	39.537	33.173	41.123
MQ4S2	45.073	46.235	44.704	41.388	34.256	39.318
MQ4S3	51.141	48.473	45.705	42.312	37.970	41.300
MQ4S4	56.702	52.050	49.503	45.306	41.272	43.348
MQ4S5	57.997	56.984	54.046	50.101	40.240	45.321
MQ5S1	60.196	59.457	56.006	52.358	46.457	55.392
MQ5S2	60.915	59.426	57.293	52.286	45.116	54.770
MQ5S3	62.203	62.047	59.506	55.266	47.648	55.147
MQ5S4	65.396	64.427	61.322	55.973	48.023	56.057
MQ5S5	67.876	66.109	62.676	57.242	49.757	56.238

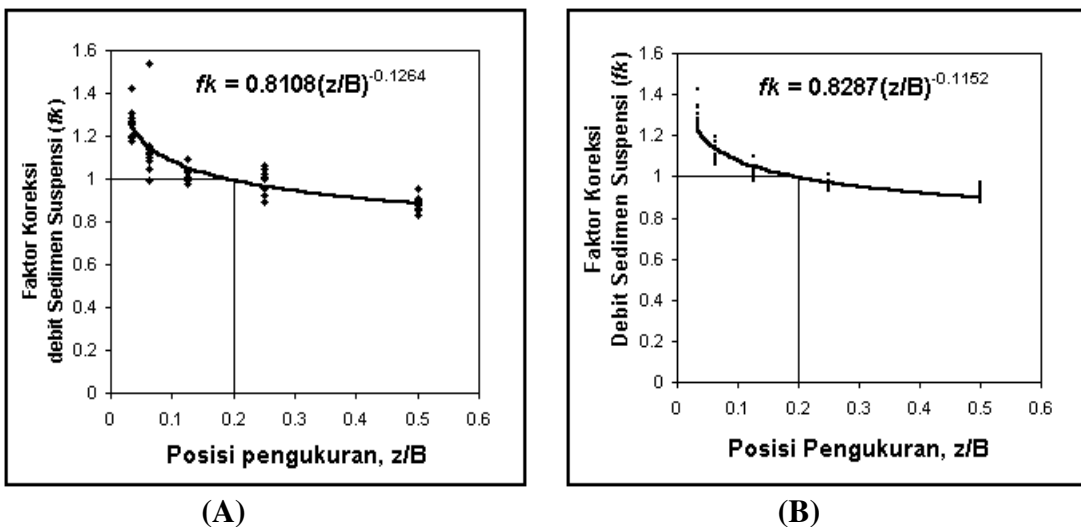
Faktor koreksi debit sedimen suspensi didapatkan dengan cara membuat grafik hubungan antara debit sedimen per satuan lebar rata-

rata dengan debit sedimen per satuan lebar pada masing-masing lokasi pengukuran. Berikut disajikan hasil analisa untuk seluruh *running*.

Tabel 4. Nilai koreksi debit sedimen suspensi rata-rata

Running	$\frac{\overline{U_y x C_y}}{\overline{U_y x C_y}}$ Pada Lokasi Pengukuran, z :					$\frac{\overline{U_y x C_y}}{\overline{U_y x C_y}} = 1$
	1/2B	1/4B	1/8B	1/16B	1/30B	
MQ3S1	0.887	0.969	1.049	1.149	1.305	0.195
MQ3S2	0.907	0.959	1.039	1.133	1.268	0.195
MQ3S3	0.877	0.930	1.005	1.086	1.256	0.155
MQ3S4	0.887	0.958	1.045	1.172	1.337	0.198
MQ3S5	0.969	0.957	0.981	1.067	1.218	0.192
MQ4S1	0.945	1.011	1.095	1.193	1.422	0.280
MQ4S2	0.972	0.947	0.980	1.058	1.279	0.192
MQ4S3	0.907	0.959	1.017	1.098	1.224	0.176
MQ4S4	0.901	0.981	1.032	1.127	1.238	0.190
MQ4S5	0.936	0.953	1.004	1.083	1.349	0.196
MQ5S1	0.944	0.955	1.014	1.085	1.223	0.191
MQ5S2	0.939	0.963	0.998	1.094	1.268	0.194
MQ5S3	0.955	0.957	0.998	1.075	1.247	0.194
MQ5S4	0.940	0.954	1.003	1.098	1.280	0.194
MQ5S5	0.932	0.957	1.010	1.105	1.272	0.194
Rata-rata	0.926651	0.960695	1.018045	1.108388	1.278879	0.196

Grafik faktor koreksi debit sedimen suspensi sebagai fungsi lokasi pengukuran terhadap tepi saluran untuk kondisi aliran dengan angkutan *bed load* diperoleh dari data Tabel 4.



Gambar 7. Grafik faktor koreksi debit sedimen suspensi, (A) kondisi aliran tanpa angkutan sedimen dasar (B) kondisi aliran dengan adanya angkutan sedimen dasar.

Debit sedimen suspensi rata-rata untuk pengambilan sampel sedimen suspensi satu titik pada setiap titik lokasi pengukuran disuatu tampang sungai/saluran arah transversal dapat didekati dengan persamaan :

$$Q_s = fk \cdot \overline{C}_{y|z/B} \cdot \overline{U}_y \cdot B \cdot D$$

dimana *fk* adalah faktor koreksi yang diberikan menurut grafik koreksi debit sedimen suspensi (Gambar 7). Untuk keperluan praktis debit sedimen suspensi rata-rata dapat diukur pada



jarak  $z = 0,196 B \approx 0.2 B$  dari tepi, dengan  $B$  adalah lebar sungai/saluran.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan, dapat dikemukakan kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi kecepatan semakin mendekati dinding semakin tegak, sedangkan distribusi konsentrasi semakin tegak/seragam. Adanya angkutan sedimen dasar bentuk distribusi kecepatan semakin landai (membuka), sedangkan distribusi konsentrasi nilainya semakin besar.

2. Nilai koreksi  $\beta$ , sebagai koreksi perhitungan pengukuran arah transversal didapatkan persamaan

$$Z_1 = \frac{w_o}{\beta_{fk} \kappa U_*}, \text{ dengan } \beta_{fk} = \text{nilai}$$

$\beta$  koreksi pada masing-masing lokasi pengukuran/pengambilan sampel berdasarkan kurva koreksi nilai  $\beta$ .

3. Debit sedimen suspensi rata-rata untuk pengambilan sampel sedimen suspensi satu titik pada setiap titik lokasi pengukuran disuatu tampang sungai/saluran dapat didekati dengan persamaan  $Q_s = f k \cdot \bar{C}_{y|z/B} \cdot \bar{U}_y \cdot B \cdot D$

### KEPUSTAKAAN

- , 1995, "Manual Oslim/Foslim : Optical Silt Measuring Instruments Types Oslim and Foslim", Delf Hydraulic
- Atmodjo, U.S., 2001, "Distribusi Sedimen Suspensi Pada Aliran Seragam Saat Awal Gerak Butiran Sedimen Dasar", Tesis S-2, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Garde, R.J. and Raju, K.G.R., 1977, "Mechanics of Sediment Transportations and Alluvial Stream Problems", 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley Eastern limited, New Delhi.
- Graf, W.H., 1971, "Hydraulics of Sediment Transport", McGraw-Hill Book Company, New York.
- Kironoto, B.A., 1993, "Turbulence Characteristics of Uniform and Non-Uniform, Rough Open-Channel Flow", Doctoral Dissertation N<sup>o</sup>. 1094, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Switzerland.
- Kironoto, B.A., and Graf, W.H., 1994, "Turbulence Characteristics in Rough Uniform Open-Channel Flow", Water Maritime and Energy – Proceedings of The Institution of Civil Engineers, 106,33-344.
- Kironoto, B.A., 1997, "Diktat Kuliah Hidraulika Transpor Sedimen", Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Totoh A, 2006, "*Kajian Sedimen Suspensi Tanpa Angkutan Sedimen Dasar Pada Aliran Seragam*" Jurnal Saintek Vol. IX No. 1 Hal. 22 – 35.

Wells, L.K., and Travis, j., 1997, "*LabVIEW for Everyone, Grapical Programming Made Even Easier*", Prentice Hall PTR, United States of America.

Yang, C.T., 1996, "*Sediment Transport Theory and Practice*", The McGraw-Hill Companies, Inc, United States of America.