

SEDIMEN SUSPENSI PADA KONDISI ALIRAN SERAGAM DALAM SALURAN TERBUKA

Lutjito

Staf Pengajar Fakultas Teknik UNY

ABSTRACT

The sediment suspension phenomena have a close something to do with the watering field, the complexity of the existence of silt particles and clay in a fluida which are continuously interact and the turbulence which was happened has a specific characteristic.

The problems on the sediment suspension flow on the open channel were approached with experimental method, i.e. by conducting a direct measurement of the sediment recirculating flume in Hydrology and Hydraulics Laboratory in PAU UGM. To measure the concentration profile of sediment suspension carriage, it is used optical silt measuring instruments type Foslim-probe tools, while to measure the flow speed profile, it is used electromagnetic flowmeter probe set type VM-201H tools and vector calculate equipment type DV-101 tools.

From the measurement of 10 series of uniform flow suspended sediment, it shows that the integration constant value, Br, from logarithmic rule tends to be smaller compared with the integration constant value, Br for pure water, i.e. $Br = 9.110 \pm 0.734$. the integration constant value is affected by the sediment suspension concentration level which is showed by the fact that the raising concentration will cause the reduction of Br value. From the result of the computation, it shows that the coles wake parameter P for the suspended uniform flow is $P = 0.085$ with the constant value of Von Karman $k = 0.40$ constant. It shows that the sediment suspension effect will cause the value of P will be more opened, it is agree with the result gained by Coleman (1986) which was said that the sediment suspension will cause the greater P value.

Keywords: sediment suspension, uniform flow, open channel

Pendahuluan

Fenomena mengenai transpor sedimen, dapat terjadi pada berbagai macam saluran baik pada saluran terbuka maupun pada saluran tertutup merupakan peristiwa yang sangat komplek. Aliran sedimen suspensi banyak terjadi pada saluran alam dimana dasar saluran atau dasar sungai banyak mengandung aluvial. Bila diamati lebih lanjut aliran suspensi banyak menimbulkan warna keruh pada dasar sungai, yang terlihat bergerak

secara random, ada yang menggelinding, menggeser, meloncat maupun melayang. Sedimen suspensi juga sangat berpengaruh pada instalasi penjernihan air minum, pendangkalan saluran irigasi pertanian, pendangkalan pada waduk (*reservoir*).

Transpor muatan sedimen suspensi yang terjadi memerlukan waktu yang relatif lama dalam proses pengendapannya, karena sifatnya yang melayang dalam kurun waktu tertentu akibat efek turbulensi arus aliran, oleh karenanya

keberadaan sedemikian rupa pada aliran sering menimbulkan masalah tersendiri dalam pemanfaatan air sungai, maka perlu adanya pengukuran dan prediksi distribusi sedimen suspensi pada saluran atau sungai untuk tujuan pemanfaatan air sungai, perawatan bendungan, maupun lama waktu operasional waduk.

Untuk mengatasi masalah transpor sedimensuspensi, penelitian ini dalam upaya mengamati sejauh mana pengaruh sedimen suspensi terhadap profil distribusi kecepatan aliran seragam yang terjadi pada saluran terbuka.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui besarnya konsentrasi sedimen suspensi pada beberapa zona tampang sungai adalah sangat penting untuk memprediksi jumlah sedimen suspensi yang ditranspor air pada kedalaman tertentu dan yang terendapkan, maka dapat diketahui pada wilayah mana akumulasi partikel-partikel sedimen suspensi berada, sehingga pemanfaatan air bersedimen dapat lebih efisien.

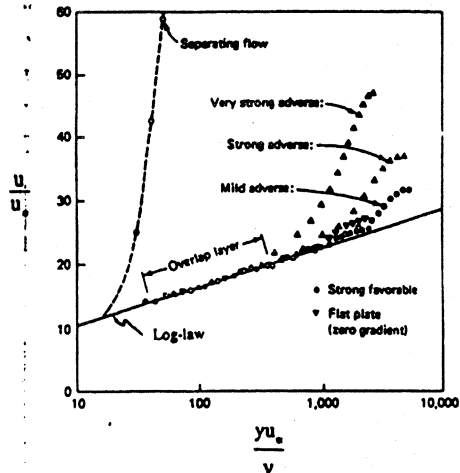
Aliran Seragam Air Jernih

Di dalam aliran seragam dianggap bahwa aliran adalah mantap dan satu dimensi, dengan anggapan satu dimensi berarti kecepatan aliran disetiap tampang lintang adalah sama. Pada umumnya aliran seragam yang terjadi pada saluran terbuka adalah turbulen. Aliran dikatakan seragam apabila:

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0; \frac{\partial p}{\partial s} = 0; \frac{\partial Q}{\partial s} = 0; \frac{\partial D}{\partial s} = 0; \frac{\partial \rho}{\partial s} = 0 \dots\dots (1)$$

Dalam aliran saluran terbuka, dapat dijumpai daerah aliran yang berbeda : yaitu daerah *inner region*, dekat dinding dimana distribusi kecepatan logaritmik

berlaku, dan daerah *outer region*, jauh dari dinding dimana profil kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematis dari hukum logaritmik.



Gambar 1 : Eksistensi hukum logaritmik dalam *pressure-gradient boundary-layer flow* (White, 1974, dalam Kironoto, 1993)

Pada lapisan batas keberadaan hukum logaritmik untuk gradien tekanan tidak sama dengan nol, seperti terlihat pada Gambar 1, ketinggian vertikal daerah logaritmik menurun karena gradien tekanan naik, seluruh kurva mengikuti hukum logaritmik dalam daerah $35 < u \cdot y / V < 350$, sesuai dengan $0.02 < y/\delta < 0.2$, setelah itu kurva akan menyimpang pada daerah *outer region*. Untuk aliran tidak seragam, hukum logaritmik berlaku pada daerah *inner region* $y/\delta < 0.2$ (Kironoto, 1993).

Pengukuran kecepatan yang dilakukan pada daerah *inner region* dibatasi oleh $y/\delta < 0.2$ dapat dirumuskan dengan hukum logaritmik:

$$\frac{u}{u_s} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{k_s} \right) + Br \dots\dots\dots (2)$$

rata titik pada jarak y dari titik referensi, u_* sama dengan kecepatan gesek, k , konstanta universal/Von-Karman ($k=0.4$), Br , konstanta integrasi dari hukum logaritmik dan k_s adalah kekasaran pasir *equivalen* Nikuradse.

Walaupun distribusi kecepatan logaritmik telah lama diasumsikan dapat diterapkan pada seluruh kedalaman aliran, rumus tersebut sebenarnya hanya berlaku di daerah *inner region*, $y/\delta < 0.2$.

Nezu dan Rodi (dalam Kironoto, 1993) menunjukkan bahwa hukum *wake* dapat digunakan untuk memprediksi distribusi kecepatan di daerah *outer region*. Hukum *wake* dapat dilihat sebagai pengembangan dari hukum logaritmik yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{U_\infty - u}{u_*} = -\frac{1}{k} \ln\left(\frac{y}{\delta}\right) + \frac{2\Pi}{k} \cos^2\left(\frac{\pi y}{2\delta}\right) \dots\dots\dots (3)$$

dengan U_∞ sebagai kecepatan aliran bebas, pada aliran saluran terbuka U_∞ diambil sebagai kecepatan rata-rata titik maksimum yang ditunjukkan oleh distribusi kecepatan U_c , dan δ adalah jarak dari titik referensi sampai titik dimana $u = U_c$; Π adalah parameter *wake Coles* yang memasukkan deviasi dari hukum logaritmik.

Aliran Seragam dengan Sedimen Suspensi

Persamaan Rouse (1937, dalam Yang, 1996) yang didasarkan pada distribusi kecepatan logaritmik dan asumsi bahwa koefisien difusi sedimen mempunyai nilai yang sama dengan koefisien transfer momentum, mengusulkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right]^z \dots\dots\dots (4)$$

dengan

$$z = \frac{W_s}{\kappa u_*} \dots\dots\dots (5)$$

dengan C sebagai konsentrasi sedimen pada suatu titik berjarak y dari titik referensi; C_a , konsentrasi referensi yang berjarak a dari titik referensi; D , kedalaman aliran dan z sama dengan parameter Rouse.

Tanaka dan Sugimoto (1958, dalam Garde, 1977) mengusulkan suatu persamaan eksponensial untuk distribusi sedimen suspensi. Dikemukakan bahwa hukum distribusi kecepatan logaritmik Karman-Prandtl yang berasumsi bahwa τ sama dengan τ_0 adalah kurang benar. Oleh sebab itu dengan menggunakan variasi τ dan y aktual dan diperoleh persamaan baru du/dy , sehingga persamaan Rouse dapat diekspresikan dengan

$$\frac{C}{C_a} = \left\{ \left(\frac{\sqrt{D} + \sqrt{D-y}}{\sqrt{D} - \sqrt{D-y}} \right) \left(\frac{\sqrt{D} - \sqrt{D-a}}{\sqrt{D} + \sqrt{D-a}} \right) \right\}^{\frac{w_s}{u_* k}} \dots\dots\dots (6)$$

dengan C sebagai konsentrasi sedimen pada suatu titik berjarak y dari titik referensi; C_a , konsentrasi referensi yang berjarak a dari titik referensi; D , kedalaman aliran; w_s , kecepatan endap partikel suspensi; u_* , kecepatan gesek dan k , konstanta Von-Karman.

Kecepatan Endap Partikel Sedimen Suspensi

Kecepatan endap partikel pada air jernih dari sebutir partikel pasir yang berukuran lebih kecil dari $100 \mu m$ (Stokes-range) dapat diekspresikan (Van Rijn, 1984).

$$W_s = \frac{1}{18} \frac{(s-1)gD_s^2}{\nu} \dots\dots\dots (7)$$

Menggunakan hukum kecepatan dan distribusi sedimen suspensi, Straub (1945, dalam Garde, 1977) menunjukkan bahwa konsentrasi rata-rata sedimen suspensi pada tampang vertikal, \bar{C}_s , dapat

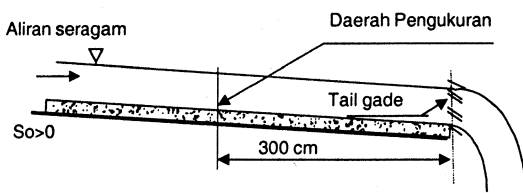
$$\bar{C}_s = \left(\frac{3}{8} C_{0.2D} + \frac{5}{8} C_{0.8D} \right) \dots\dots\dots (8)$$

dihitung dengan: dengan $C_{0.2D}$ adalah konsentrasi sedimen suspensi pada kedalaman $0.2D$; $C_{0.8D}$, konsentrasi sedimen suspensi pada kedalaman $0.8D$ dan D , kedalaman aliran.

Cara Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen, yaitu dengan melakukan pengukuran langsung terhadap fenomena angkutan sedimen suspensi pada *Sediment Recirculating Flume* di laboratorim Hidrologi dan Hidrolika PAU-Illmu Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Variabel-variabel aliran seperti kecepatan, konsentrasi sedimen suspensi, kedalaman aliran dan suhu diukur pada suatu tampang seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Pengukuran dilakukan sedekat mungkin dengan as *flume*, dengan harapan perolehan data pengukuran tersebut tidak terpengaruh oleh dinding samping *flume*.



Gambar 2 Sketsa eksperimen

Parameter yang diukur pada saat melakukan *running* aliran diantaranya berupa: debit aliran (Q), kecepatan aliran (u), konsentrasi sedimen suspensi (C), kedalaman aliran (D), kemiringan dasar saluran (S) dan suhu air (t). Jumlah *running* yang dianalisis dalam penelitian ini adalah sejumlah 10 *running* seadang pengkodean *running* didasarkan pada perbedaan parameter yang digunakan. Untuk jenis aliran seragam (*Uniform*) diberi kode huruf **U**, sedangkan untuk jenis material dasar yang digunakan yaitu pasir sungai Progo diberi kode huruf **P**.

Profil kecepatan yang diukur pada kondisi aliran seragam (*uniform*) untuk beberapa variasi aliran dilakukan setelah kondisi aliran dalam keadaan stabil, artinya tidak terjadi perubahan terutama pada parameter kedalaman aliran selama pengukuran berlangsung. Hasil pengukuran distribusi kecepatan dan distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada arah vertikal dilakukan pada berbagai variasi aliran. Dalam melakukan *runing* aliran terutama dilakukan pada variasi besarnya debit (Q), kemiringan dasar saluran (S) dan kedalaman aliran (D). Dari beberapa variasi aliran seperti tertera pada Tabel 1 diketahui bahwa aliran bersifat sub-kritik ($Fr < 1$) dan turbulen ($Re > 12500$).

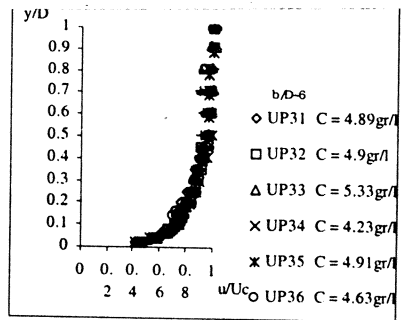
1. Profil kecepatan aliran seragam (*uniform*)

Hasil pengukuran profil kecepatan aliran pada arah vertikal yang dinormalisasi dengan kecepatan maksimum (U_0) dan kedalaman, y , yang dinormalisasi dengan kedalaman aliran, D , diperlihatkan pada gambar 3.

Variasi parameter aliran dilakukan pada variasi besarnya debit (Q), kemiringan dasar saluran (S_0) dan kedalaman

... dan beberapa variasi aliran, seperti tertera pada tabel 1 diketahui bahwa selama melakukan pengukuran adalah aliran bersifat sub-kritik ($Fr < 1$) dan turbulen ($Re > 12500$). Pada Gambar 12 diperlihatkan bentuk profil distribusi kecepatan dengan aspek ratio (b/D)~6.

Tabel 1 : Variabel-variabel pengukuran aliran bermuatan sedimen suspensi



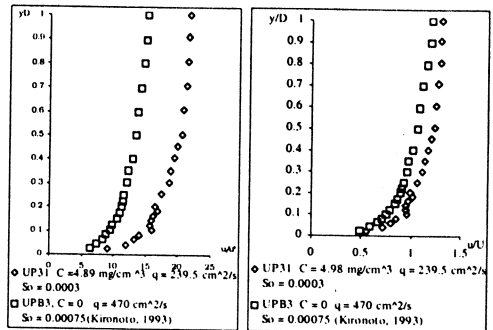
Gambar.3 : Contoh profil distribusi kecepatan aliran seragam bersuspensi

Aliran seragam (*Uniform Flow*)

Run code	x cm	So	D cm	δ cm	t *C	b/D	U cm/s	Uc cm/s	v cm^2/s	Re	Fr	\bar{C} gr/l
UP31	700	0.0003	9.90	9.90	28	6.06	24.190	31.597	0.0084	28543.62	0.245	4.89470
UP32	700	0.0005	9.90	9.90	29	6.06	23.337	29.636	0.0082	28106.61	0.237	4.79967
UP33	700	0.0008	9.80	9.80	28	6.06	22.942	29.395	0.0084	26797.57	0.234	5.32767
UP34	700	0.0003	9.90	9.90	28	6.06	25.478	32.107	0.0084	30063.43	0.259	4.23063
UP35	700	0.0005	10.20	10.20	28	5.88	23.972	30.495	0.0084	29143.55	0.240	4.90910
UP36	700	0.0008	9.90	9.90	29	6.06	24.647	31.999	0.0082	29684.34	0.250	4.62681
UP37	700	0.0003	9.90	9.90	29	6.06	28.731	37.039	0.0082	34603.03	0.292	4.06537
UP38	700	0.0005	9.90	9.90	30	6.06	26.738	36.959	0.0081	32882.76	0.271	4.17062
UP39	700	0.0008	10.00	9.00	30	6.00	28.342	36.026	0.0081	35207.45	0.286	4.33465
UP40	700	0.0008	16.50	15.00	29	3.64	27.093	34.691	0.0082	54383.76	0.213	5.84182

S_o – slope dasar saluran ; t – suhu air ; D – kedalaman aliran ; b/D – aspect ratio ; b – lebar flume (60 cm) ; U – kecepatan rata-rata profil aliran ; ν – viskositas kinematik ; $Re = 4UD/\nu$ – Reynolds number ; $Fr = U/\sqrt{gD}$ – Froude number ; x – jarak titik pengukuran dari flume entrance ; \bar{C} konsentrasi sedimen suspensi rata-rata pengukuran.

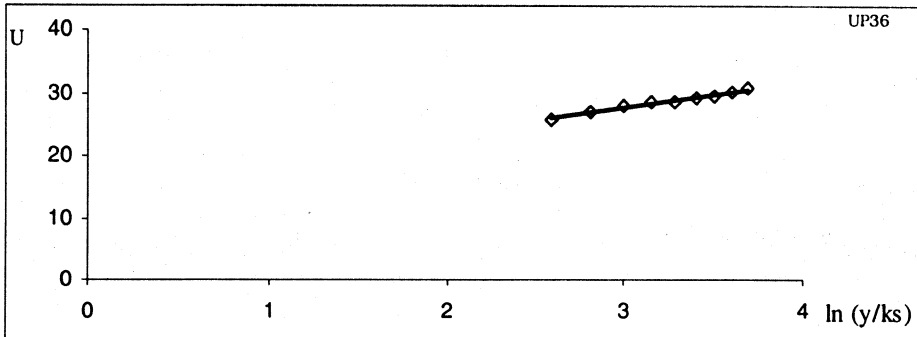
Dari hasil pengukuran profil aliran dengan aspek ratio (b/D) ~ 6 terlihat bahwa distribusi kecepatan cenderung membuka, dan apabila kita bandingkan dengan aliran air jernih akan terlihat bahwa aliran bersedimen suspensi mempunyai profil kecepatan yang lebih besar karena mengecilnya koefisien kekasaran dasar seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 : Contoh profil distribusi kecepatan aliran seragam bersuspensi, UP31, dan aliran seragam jernih UPB3 (Kironoto,1993) dengan b/D~6

2. Distribusi kecepatan daerah *inner region*

Dalam aliran saluran terbuka, dapat dijumpai daerah aliran yang berbeda: yaitu daerah *inner region*, dekat dinding dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku, dan daerah *outer region*, jauh dari dinding dimana profil kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematis dari hukum logaritmik.



Gambar 5 : Perhitungan u , dan Br dengan metode Clauser

Dengan berdasarkan data pengukuran di daerah *inner region* bersama-sama dengan rumus logaritmik, dapat dihitung kecepatan gesek, u^* , dengan metode Clauser. Data kecepatan rata-rata titik u di daerah *inner region* diplotkan terhadap nilai $\ln(y/k_s)$ dimana nilai k_s diambil sama dengan d_{50} , kemudian dengan teknik pencocokan kurva nilai kecepatan gesek u dan nilai konstanta integrasi Br akan diperoleh, dalam perhitungan ini diambil asumsi nilai $k = 0.4$ tetap. Dalam gambar 5 untuk nilai u/k adalah sama dengan kemiringan kurva hasil pencocokan (*fitting curve*) dan Br adalah titik potong kurva dengan

ordinatnya. Untuk lengkapnya hasil perhitungan u^* dan Br dapat dilihat pada Tabel 2. Dari perhitungan ini kita dapatkan nilai Br untuk aliran seragam (*uniform*) bermuatan sedimen suspensi yaitu $Br = 9.110 \pm 0.743$, seperti terlihat pada gambar 6 yang menggambarkan hubungan antara nilai Br dengan u^*k_s/n .

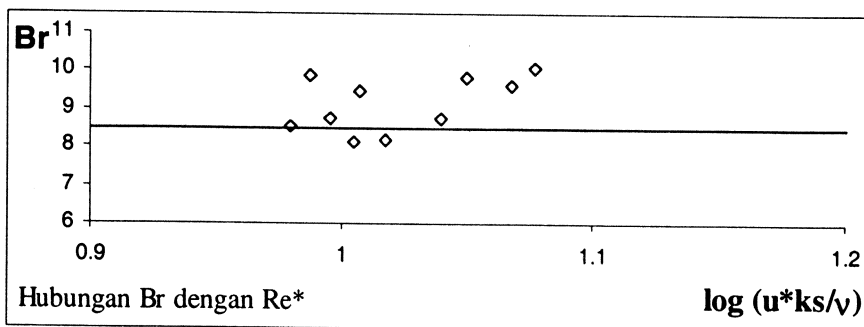
Kalau kita bandingkan gambar 6 dengan gambar 7 terlihat bahwa nilai

konstanta integrasi, Br , untuk aliran seragam sesuai dengan variasi nilai Br untuk air jernih (Kironoto, 1993). Terlihat bahwa untuk aliran yang dipelajari disini, diketahui bahwa $9.5328 < u k_s/n < 11.948$, yang masuk dalam daerah hidrolis transisi menurut Nikuradse ($5 < u k_s/n < 70$), sebagai mana ditunjukkan pada gambar 7.

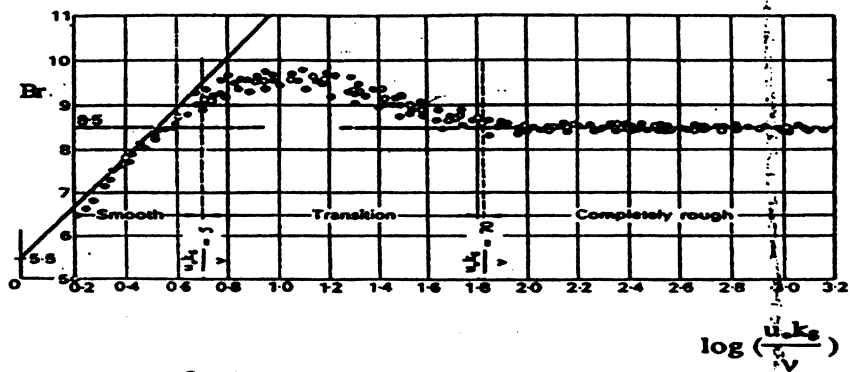
Kalau kita amati hubungan konsentrasi sedimen suspensi dengan nilai konstanta integrasi, Br , seperti ditunjukkan pada gambar 8 tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya peningkatan konsentrasi sedimen suspensi akan berpengaruh terhadap nilai Br yang cenderung menurun.

Tabel 2 : Hasil perhitungan u , dan Br dengan metode Clauser

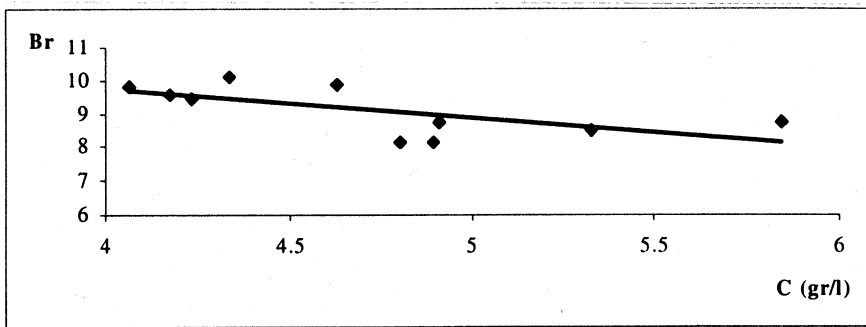
Lapis dasar	Run code	u^* cm/det	Br -	u^*k_s/v
pasir Progo $k_s = 0.06$ cm	US31	1.455	8.15	10.405
	US32	1.385	8.12	10.109
	US33	1.333	8.52	9.5328
	US34	1.420	9.48	10.155
	US35	1.382	8.75	9.8832
	US36	1.329	9.88	9.7007
	US37	1.535	9.83	11.204
	US38	1.567	9.59	11.68
	US39	1.603	10.09	11.948
	US40	1.499	8.72	10.942
	mean		9.110	
	deviasi standart		0.743	



Gambar 6 : Variasi nilai Br dengan angka Reynolds butiran $Re_s = u_s k_s / \nu$



Gambar 7 : Variasi nilai Br dengan $Re_s = u_s k_s / \nu$
(Nikuradse, 1936 dalam Kironoto, 1993)



Gambar 8: Hubungan \bar{C} dengan Br

3. Distribusi kecepatan daerah *outer region*

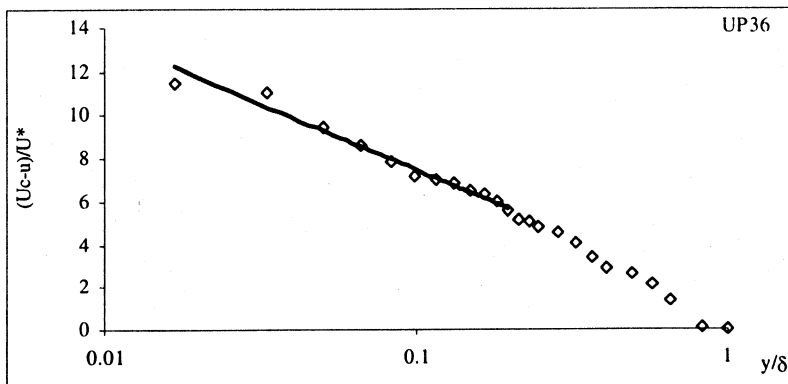
Pada teori lapis batas keberadaan hukum logaritmik untuk gradien tekanan yang tidak sama dengan nol, (lihat pada Gambar 1), ketinggian vertikal daerah logaritmik menurun karena gradien tekanan naik, seluruh kurva mengikuti hukum log dalam daerah $35 < u \cdot y/\nu < 350$, yang sesuai dengan $0.02 < y/\delta < 0.2$, setelah itu kurva akan menyimpang pada daerah *outer region* Untuk aliran tidak seragam, hukum logaritmik berlaku pada daerah inner region $y/\delta < 0.2$. (Kironoto, 1993).

Untuk daerah *outer region* digunakan distribusi kecepatan Coles, dengan menghitung besarnya parameter Coles, data pengukuran $(U_c - u)/u_*$ diplotkan

terhadap nilai y/δ , hasil pengukurannya digambarkan pada gambar 9.

Tabel 3 : Perhitungan nilai Π - Coles wake parameter

Run code	D cm	δ cm	b/D -	U_c cm/det	u^* cm/det	Π
US31	9.90	9.90	6.06	31.597	1.872	-0.126
US32	9.90	9.90	6.06	29.636	1.556	-0.041
US33	9.80	9.80	6.06	29.395	1.436	0.080
US34	9.90	9.90	6.06	32.107	1.532	-0.004
US35	10.20	10.20	5.88	30.495	1.382	0.095
US36	9.90	9.90	6.06	31.999	1.329	0.386
US37	9.90	9.90	6.06	37.039	1.645	0.211
US38	9.90	9.90	6.06	36.959	1.665	0.066
US39	10.00	9.00	6.00	36.026	1.603	0.075
US40	16.50	15.00	3.64	34.691	1.499	0.104
Nilai rata rata Π untuk dasr pasir						0.085



Gambar 9 : Profil kecepatan rata-rata titik terhadap penyimpangan hukum logaritmik

Dari gambar tersebut dapat dicari besarnya nilai Π dan ditampilkan dalam Tabel 3. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa nilai Π untuk aliran seragam bersuspensi yaitu $\Pi = 0.085$, dengan nilai konstanta Von-Karman, $k = 0.40$ tetap, sedangkan besarnya nilai Π untuk aliran seragam air jernih $\Pi = 0.09$ (Kironoto, 1993), disini menunjukkan bahwa pengaruh sedimen suspensi akan menyebabkan nilai Π akan semakin membuka, hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Coleman (1986) yang menyebutkan bahwa sedimen suspensi akan menyebabkan nilai Π yang akan semakin membesar.

4. Konsentrasi sedimen suspensi pada aliran seragam

Pengukuran konsentrasi sedimen suspensi dilakukan bersamaan dengan pengukuran kecepatan aliran pada titik di *centre line* dari flume sehingga diharapkan data yang diperoleh mempunyai karakter aliran yang sama.

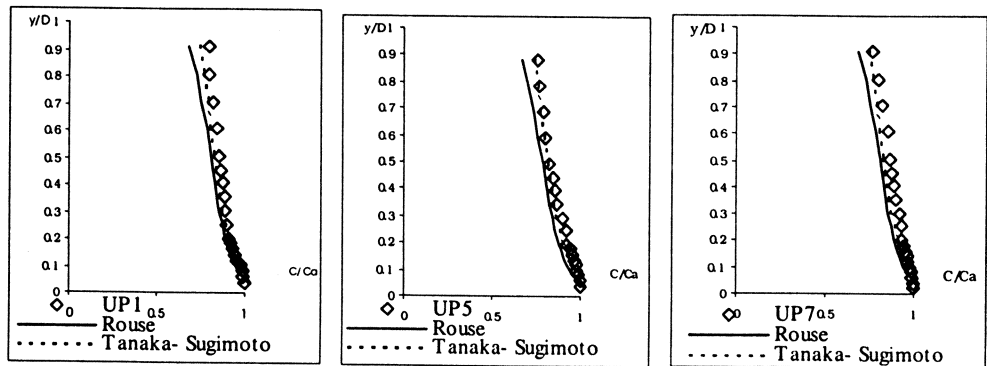
Pada gambar 10 ditunjukkan contoh profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran di laboratorium yang dibandingkan dengan profil distribusi sedimen suspensi menurut Rouse dan Tanaka-Sugimoto yang menunjukkan nilai kedekatan untuk beberapa seri aliran, yang menggambarkan formulasi Tanaka-Sugimoto lebih mendekati hasil pengukuran.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan pembahasan dari aliran sedimen suspensi pada kondisi aliran seragam diperlambat dalam saluran terbuka, dapat disimpulkan beberapa hal penting diantaranya:

1. Aliran yang terjadi menurut grafik Nikuradse masuk pada daerah hidrolis transisi ($5 < u_*' \nu < 70$), bahwa adanya peningkatan konsentrasi sedimen suspensi ada kecenderungan nilai konstanta integrasi, Br menurun.



Gambar 10 : Contoh profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi

besarnya Br untuk aliran seragam bersedimen suspensi $Br = 9.110 \pm 0.743$.

2. Aliran di daerah *outer region* ($0.2 < y/\delta < 1$) Coles wake parameter, Π , memberikan nilai 0.085 yang menunjukkan adanya penyimpangan terhadap hukum logaritmik yang semakin membuka, hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh Coleman (1986).
3. Distribusi konsentrasi sedimen suspensi menurut rumus Tanaka-Sugimoto memberikan hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan distribusi menurut rumus Rouse.

B. Saran

Dari penelitian ini dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut:

- 1) Perlu kajian lebih lanjut untuk jenis aliran dan jenis material dasar yang digunakan, sebab hal ini akan memberikan perbedaan dalam penafsiran.
- 2) Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai transport sedimen suspensi pada aliran tidak seragam yang sering terjadi di sungai-sungai, dengan gradasi butiran dasar yang bervariasi.
- 3) Perlu kajian lebih lanjut mengenai transport sedimen suspensi apabila sudah terjadi angkutan sedimen dasar pada aliran tidak seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Coleman, N. L., 1986, "**Effects of Suspended on the Open-Channel Velocity Distribution**", *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 10.
- Galappatti, G., and Vreugdenhil, C. B., 1985, "**A Depth-Integrated Model For Suspended Sediment Transport**", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 23, No. 4.
- Garde, R. J., and Ranga Raju, K. G., 1977, "**Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Streams Problems**", Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Graf, W. H., 1998, "**Fluvial Hydraulics**", John Wiley & Sons Ltd, England.
- Graf, W. H., 1984, "**Hidraulics of Sedimen Transport**", Water Resources Publications, Colorado.
- Kironoto, B. A., 1998, "**Hidrolika Transpor Sedimen**", Diklat kuliah
- Kironoto, B. A., and Graf, W. H., 1995, "**Turbulence Characteristics in Rough Non-Uniform Open-Channel Flow**", *Proc. Instn Civ. Engrs Wat., Marit. & Energy*, 112, dec., 336-348.
- Kironoto, B. A., 1993, "**Turbulence Characteristics of Uniform and Non-Uniform, Rough Open-Channel Flow**", These No 1094, EPFL, Lausanne.
- Lutjito, 2002, "**Sedimen Suspensi Pada Kondisi Aliran Diperlambat Dalam Saluran Terbuka**", Tesis S-2, UGM, Yogyakarta.
- Mardjiko, P., 1987, "**Angkutan sedimen**", PAU, UGM, Yogyakarta.
- Vanoni, V. A., 1977, "**Sedimentation Engineering**", ASCE, New York.
- Van Rijn, L. C., 1984, "**Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport**", *Journal of Hydraulics Engineering*, Vol. 110, No. 11, ASCE.
- Yusuf, R., 1999, "**Pengukuran dan Prediksi Distribusi Sedimen Suspensi Pada Saluran Terbuka**", Tesis S-2, UGM, Yogyakarta.
- Yang, C T, 1996, "**Sediment Transport Theory and Practice**", The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.