

DISTRIBUSI SEDIMEN SUSPENSII PADA ALIRAN SERAGAM DENGAN DAN TANPA ANGKUTAN SEDIMEN DASAR

Distribution of Suspended Sediment on Uniform Flow with and without Bed Load Transport

Zainuddin Muchtar¹, Bambang Agus Kironoto²

Program Studi Teknik Sipil
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Sediment transport in river, either suspended or bed load transport is very important and needed in river works. The Researchs done by many researchers showed that there is an interaction between bed load and suspended sediment, in which the increasing of bed load transport is ussually followed by the increasing of suspended sediment. Based on this, the characteristics of suspended sediment on flow, both with and without bed load transport are studied here.

The study was done by measuring flow velocity and suspended sediment concentration in laboratory, both for uniform flows either with bed load transport and without bed load transport, in the range of aspect ratio (b/D) $2.99 < b/D < 6.74$. Elektromagnetic Currentmeter probe VMT-200 was used for flow velocity measurement and Foslim probe-set 4M 110N was used for suspended sediment concentration measurement.

The result shows that the velocity distribution on flow with bed load transport yields a more opened (fuller) than that without bed load transport. The constant Br value (in the logarithmic velocity distribution) on uniform flow without bed load transport is $8.5 \pm 5 \%$, while for uniform flow with bed load transport, the Br-value tend to rise but still in the range of scattered given by the literature ($8.5 \pm 15 \%$). Distribution of suspended sediment for flow without bed load transport can be approached by using Rouse equation as well as by Tanaka & Sugimoto equation, while for flow with bed load transport, Tanaka & Sugimoto equation tends to have a better prediction than the Rouse equation. Distributions of turbulence intency on flow with and without bed load transport show smaller value than Nezu & Rodi equation and Kironoto equation for clean water, in which the increasing of bed load transport, the turbulence intency tends to decrease. Straub formula (1945) and Atmodjo & Kironoto formula (2001) developed for uniform flow without bed load transport can still be used on flow with bed load transport with the errors 5.1 % and 4.5 %, respectively.

Keyword : velocity distribution, suspended sediment concentration, turbulence intency

¹ Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

PENGANTAR

Persoalan sungai yang menarik untuk diamati adalah proses angkutan sedimen, baik sedimen dasar (*bed load*) maupun sedimen suspensi (*suspended load*) yang merupakan salah satu fenomena alam yang sering dijumpai pada aliran sungai. Dari penelitian yang ada diketahui adanya interaksi antara angkutan sedimen dasar dengan sedimen suspensi, dimana peningkatan angkutan sedimen dasar biasanya diikuti dengan peningkatan angkutan sedimen suspensi. Hal ini dapat diamati secara langsung pada aliran sungai, dimana pada saat debit besar air kelihatan keruh, artinya telah terjadi proses angkutan sedimen dasar yang diikuti dengan meningkatnya angkutan sedimen suspensi.

Untuk memperkirakan perilaku aliran dan angkutan sedimen suspensi akibat adanya perubahan-perubahan seperti tersebut diatas, maka perlu informasi profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada aliran tanpa angkutan sedimen dasar dan profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada aliran dengan angkutan sedimen dasar, sehingga dapat dihitung dengan tepat total angkutan sedimen suspensi pada aliran sungai. Perkiraan angkutan sedimen suspensi merupakan hal yang sangat diperlukan dalam perencanaan, dan pengoperasian berbagai bangunan air, seperti bangunan irigasi, bangunan-bangunan pengambilan air bersih, instalasi pembuangan air limbah.

Ada beberapa peneliti yang mendefenisikan tentang angkutan sedimen suspensi, yaitu Zade (1976, dalam Kironoto, 1997) mendefenisikan angkutan sedimen suspensi terjadi bila perbandingan antara kecepatan rata-rata \bar{U} , dengan kecepatan kritik $U_{cr} \geq 1.3$. Sutherland (1967, dalam Bogardi, 1978) memberikan penjelasan mengenai angkutan sedimen suspensi yaitu dalam aliran turbulen selalu terjadi pusaran-pusaran, dan didekat dasar pusaran tersebut mengalami distorsi yang berakibat meningkatnya kecepatan pusaran sehingga mempengaruhi lapisan permukaan partikel pada dasar.

Data kecepatan hasil pengukuran diolah berdasarkan persamaan yang digunakan oleh Nikuradse (1933, dalam Graf, 1998) untuk aliran turbulen dengan dinding hidraulik kasar, yaitu :

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{\kappa s} \right) + 8,5 \quad (1).$$

Beberapa peneliti mengembangkan teori persamaan untuk mencari distribusi konsentrasi sedimen suspensi dengan asumsi pendekatan, bahwa koefisien transfer momentum, ϵ_m mempunyai nilai yang sama dengan ϵ_s sebagaimana diberikan berikut ini.

Rouse memodifikasi bahwa $\epsilon_m = \beta \cdot \epsilon_s$, dengan $\beta = 1$ untuk sedimen halus, maka $\epsilon_m = \epsilon_s$, dengan menyederhanakan hukum kecepatan Karman's untuk saluran terbuka, maka diperoleh persamaan Rouse (1937 dalam Yang, 1996), yaitu :

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right]^z \quad (2).$$

Tanaka dan Sugimoto (1958, dalam Garde dan Raju, 1977), mengusulkan persamaan eksponensial untuk mencari konsentrasi sedimen suspensi, dengan menggunakan variasi τ dengan y aktual, sehingga persamaan Rouse menjadi :

$$\frac{C}{C_a} = \left\{ \left(\frac{\sqrt{D} + \sqrt{D-y}}{\sqrt{D} - \sqrt{D-y}} \right) \left(\frac{\sqrt{D} - \sqrt{D-a}}{\sqrt{D} + \sqrt{D-a}} \right) \right\}^{\frac{w_s}{u_* \kappa}} \quad (3).$$

Lane dan Kalinske (1941, dalam Yang, 1996) berasumsi $\epsilon_s = \epsilon_m$ dan $\beta = 1$, sehingga diperoleh persamaan distribusi sedimen suspensi berikut ini.

$$\frac{C}{C_a} = e^{-[15w_s(y-a)]/DU}. \quad (4).$$

Konsentrasi sedimen suspensi rata-rata dari hasil pengukuran yang mengitung luasan pada tiap pias, dibandingkan dengan beberapa rumus dari penelitian terdahulu berikut ini. Straub (1945, dalam Garde dan Raju, 1977), mengusulkan bahwa konsentrasi rata-rata sedimen suspensi pada tampang vertikal, \bar{C} , adalah sebagai berikut :

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

Atmodjo dan Kironoto (2001), melakukan penelitian dengan mengembangkan persamaan Straub dalam aliran seragam, yaitu :

$$\bar{C} = \left(\frac{3}{12} C_{0,2D} + \frac{4}{12} C_{0,4D} + \frac{5}{12} C_{0,8D} \right) \quad (6).$$

Nilai rata-rata dari elemen-elemen fluktuasi dari hasil pengukuran dapat dihitung dengan persamaan :

$$U^1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [u_i - u]^2} \quad \text{dan} \quad V^1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [v_i - v]^2} \quad (7).$$

Untuk menentukan distribusi intensitas turbulen pada saluran terbuka dengan aliran seragam, Nezu (1977) memberikan persamaan eksponensial, yaitu :

$$\frac{U^1}{U_*} = D_1 e^{-\lambda_1 (y/D)} \quad \text{dan} \quad \frac{V^1}{U_*} = D_2 e^{-\lambda_2 (y/D)} \quad (8).$$

CARA PENELITIAN

Pengukuran mengenai perilaku angkutan sedimen suspensi. Dilakukan di Laboratorium dengan menggunakan *sediment-recirculating flume*. Pengukuran dilakukan pada as *flume* di suatu tampang yang berjarak 300 cm dari *tail gate* di hilir *flume*, dalam penelitian ini diambil rentang *aspect ratio* (perbandingan lebar terhadap kedalaman aliran, b/D) $2,99 < b/D < 6,74$.

Dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium ada beberapa variasi yang akan dilakukan, yaitu 5 variasi kemiringan (S_0) dan masing-masing S_0 mempunyai 5 variasi debit (Q). Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sediment-recirculating flume merk Armfield* yang merupakan alat utama dalam penelitian ini; *Electromagnetic Currentmeter probe* seri VMT-200-0.8P, digunakan untuk mengukur kecepatan aliran dengan metode pengukuran didasarkan pada sensor getaran yang diakibatkan oleh adanya aliran air; *Foslim probe-set* seri 4M 110N, digunakan untuk mengukur konsentrasi sedimen suspensi dengan metode pengukuran didasarkan pada prinsip penipisan intensitas sinar yang diakibatkan oleh terserapnya cahaya dan peyebaran partikel sedimen suspensi dalam aliran; Seperangkat komputer, digunakan untuk memperoleh data digital hasil pembacaan alat ukur; Alat ukur pendukung lainnya. Sedimen suspensi dalam penelitian ini bersumber dari lapisan pasir setebal ± 10 cm sebagai material dasar, yaitu pasir alam yang ditambang dari sungai Progo di Kabupaten Bantul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu debit aliran, kecepatan rata-rata per titik, konsentrasi sedimen suspensi rata-rata per titik pada tampang vertikal, kemiringan dasar saluran, kedalaman aliran, suhu aliran, ukuran partikel dan rapat massanya. Data selengkapnya mengenai berbagai parameter pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

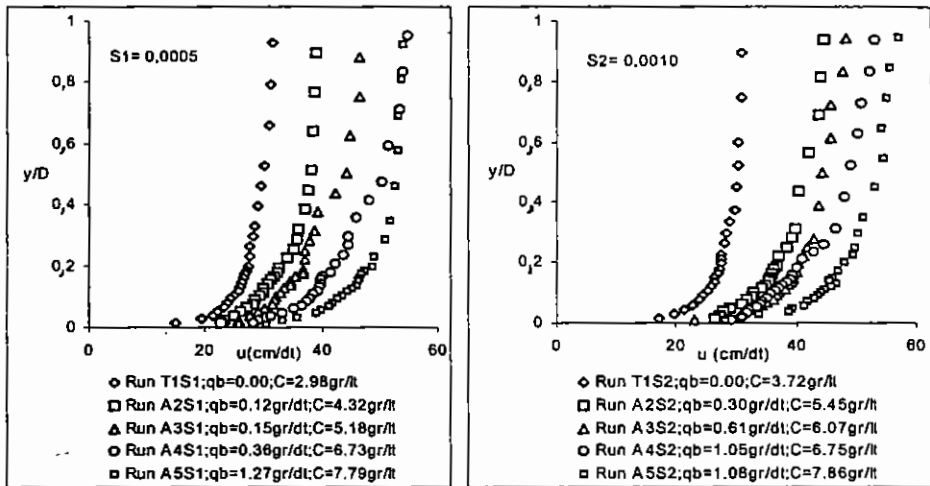
Tabel 1. Parameter utama hasil pengukuran aliran seragam bermuatan suspensi

Kode Runtang	S ₀ (-)	Q (lt/dt)	qb (gr/dt)	D (cm)	R (cm)	v 10 ⁴ (m ² /dt)	b/D (-)	\bar{U} (cm/dt)	U _* (cm/dt)	Re 10 ⁶ (-)	Fr (-)	Br (-)	W _s (cm/dt)	\bar{C} (gr/lt)
T1S1	0,0005	21,26	0,00	15,10	10,04	0,0082	3,97	26,17	1,56	1,94	0,21	8,53	0,0985	2,96
A2S1	0,0005	26,45	0,12	15,60	10,26	0,0082	3,85	31,93	1,63	2,43	0,25	8,48	0,0985	4,32
A3S1	0,0005	29,57	0,15	15,90	10,39	0,0082	3,77	35,67	1,97	2,76	0,28	7,91	0,0985	5,18
A4S1	0,0005	36,84	0,36	16,80	10,77	0,0080	3,57	41,52	2,33	3,44	0,32	8,38	0,1009	6,73
A5S1	0,0005	43,08	1,27	17,30	10,97	0,0080	3,47	45,39	2,62	3,46	1,73	8,14	0,1009	7,79
T1S2	0,0010	21,26	0,00	13,40	9,26	0,0082	4,48	26,49	1,54	1,73	0,23	7,92	0,0985	3,72
A2S2	0,0010	27,88	0,30	16,00	10,43	0,0082	3,75	35,67	2,06	2,78	0,28	8,29	0,0985	5,45
A3S2	0,0010	30,08	0,61	18,00	11,25	0,0082	3,33	38,54	2,17	3,38	0,29	8,25	0,0985	6,07
A4S2	0,0010	35,24	1,05	19,20	11,71	0,0082	3,13	40,06	2,26	3,38	0,26	7,80	0,0985	6,75
A5S2	0,0010	43,47	1,08	20,10	12,04	0,0082	2,99	45,78	2,60	4,48	0,32	8,17	0,0985	7,86
T1S3	0,0015	21,26	0,00	11,10	8,10	0,0082	5,41	30,90	2,05	1,93	0,34	8,32	0,0985	4,09
A2S3	0,0015	24,37	0,09	12,60	8,87	0,0082	4,76	33,66	2,14	2,06	0,30	8,26	0,0985	5,03
A3S3	0,0015	29,57	0,21	13,20	9,17	0,0082	4,55	38,11	2,18	2,45	0,33	8,34	0,0985	5,84
A4S3	0,0015	32,69	0,28	13,50	9,31	0,0080	4,44	38,59	2,20	2,57	0,33	8,26	0,1009	6,28
A5S3	0,0015	41,00	1,49	15,80	10,35	0,0080	3,80	43,71	2,59	3,41	0,35	8,77	0,1009	7,20
T1S4	0,0018	21,26	0,00	9,50	7,22	0,0082	6,32	32,62	2,37	1,78	0,39	8,93	0,0985	4,30
A2S4	0,0018	26,45	0,83	10,60	7,83	0,0080	5,66	34,35	2,76	2,41	0,45	7,43	0,1009	4,40
A3S4	0,0018	31,65	2,66	12,10	8,62	0,0080	4,96	40,64	2,73	2,78	0,42	8,12	0,1009	6,51
A4S4	0,0018	36,84	2,71	12,90	9,02	0,0080	4,65	42,55	2,86	2,71	0,37	8,80	0,1009	7,09
A5S4	0,0018	41,00	3,00	13,80	9,45	0,0080	4,35	44,11	2,49	1,97	0,30	8,01	0,1009	7,61
T1S5	0,0022	21,26	0,00	8,90	6,86	0,0082	6,74	33,97	2,10	1,47	0,36	8,70	0,0985	4,21
A2S5	0,0022	26,45	1,08	10,20	7,61	0,0082	5,88	35,45	2,23	1,76	0,35	8,53	0,0985	5,15
A3S5	0,0022	32,69	2,90	11,60	8,37	0,0080	5,17	46,24	2,97	2,32	0,46	8,70	0,1009	6,93
A4S5	0,0022	35,81	3,08	12,50	8,82	0,0080	4,80	47,83	3,06	2,95	0,43	8,90	0,1009	8,10
A5S5	0,0022	42,04	3,49	13,10	9,12	0,0080	4,58	48,99	3,08	2,91	0,39	8,66	0,1009	8,88

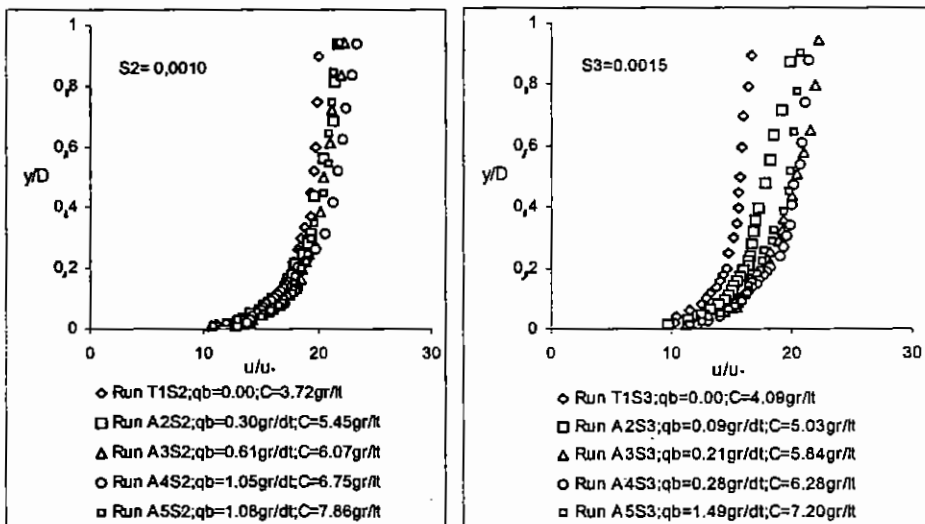
S₀ = Slope dasar saluran, t = Suhu air, D = Kedalaman aliran, R = Jari-jari hidrolis [A/(2D+b)], b/D = Aspect ratio, b = Lebar flume = 60 cm, w_s = Kecepatan jatuh partikel=1/18[(Δ.g . D_s²)/v] D_s = d₅₀ suspensi = 0,0028 cm, Fr = $\bar{U}/(g.D)^{0,5}$, Re = (4 R . \bar{U})/v, Δ = (ρ_s-ρ)/ρ=1,89, g = Percepatan gravitasi, \bar{U} = Kecepatan rata - rata, U_{*} = Kecepatan gesek (Clouser), \bar{C} = Konsentrasi suspensi rata-rata, Q = Debit aliran terukur, qb = Total angkutan sedimen dasar, Br = Konstanta integrasi numerik (log law).

Distribusi Kecepatan

Profil kecepatan yang diukur adalah kondisi aliran seragam dengan gradasi material dasar tidak seragam, pengukuran dilakukan setelah kondisi aliran dalam keadaan stabil, artinya tidak terjadi perubahan kedalaman aliran selama pengukuran sedang berlangsung.



Gambar 1. Perbandingan berbagai distribusi kecepatan pada kondisi dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar



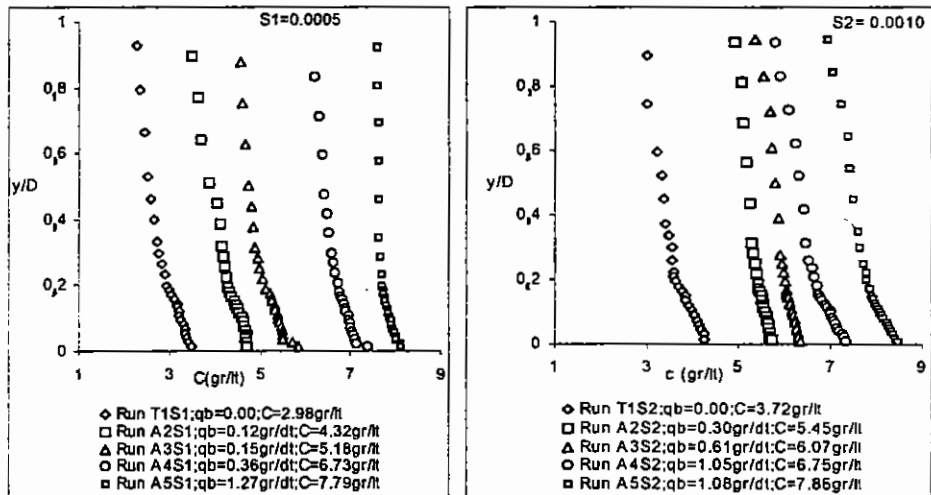
Gambar 2. Profil distribusi kecepatan yang sudah dinormalisasi

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa distribusi kecepatan pada kondisi ada angkutan sedimen dasar menunjukkan bentuk distribusi kecepatannya lebih membuka bila dibandingkan dengan distribusi kecepatan pada kondisi tanpa angkutan sedimen dasar.

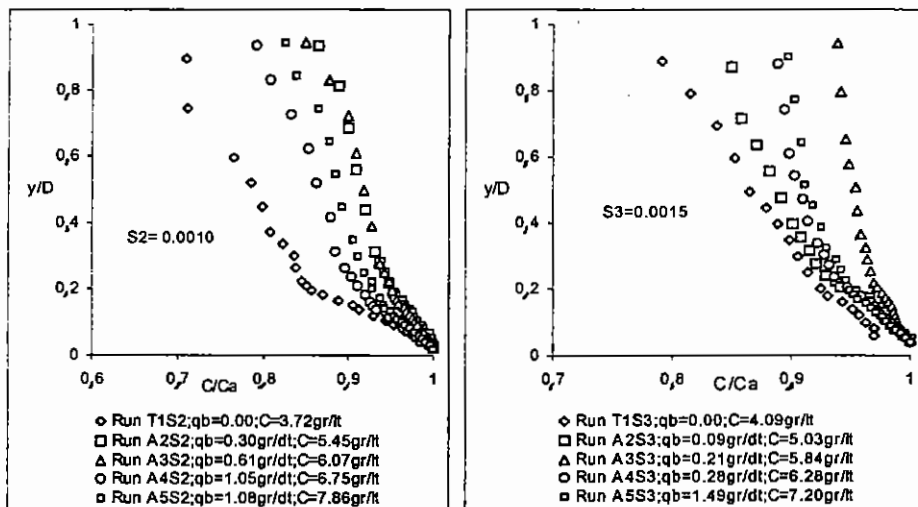
Pada Gambar 2 tampak terlihat bahwa dengan dinormalisasi U -distribusi kecepatan di dekat dasar sampai dengan $y/D \approx 0,2$ hampir berhimpit antara ada angkutan sedimen dan tanpa angkutan sedimen, sedangkan untuk $y/D \approx 0,2 - 1$ ada perubahan yang signifikan bentuk distribusi kecepatan antara ada angkutan sedimen dan tanpa angkutan sedimen, dimana pada kondisi ada angkutan sedimen dasar tampak lebih membuka. Dapat diartikan bahwa dengan meningkatnya kecepatan aliran dapat meningkatkan angkutan sedimen suspensi, dengan meningkatnya angkutan sedimen suspensi ini dapat menyebabkan distribusi kecepatan makin tidak seragam.

Distribusi Sedimen Suspensi

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi sedimen suspensi pada kondisi tanpa angkutan sedimen dasar menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi sedimen suspensi pada kondisi terjadi angkutan sedimen dasar. Pada semua kondisi aliran semakin mendekati dasar saluran konsentrasi sedimen suspensi menunjukkan nilai yang semakin besar.



Gambar 3. Perbandingan berbagai distribusi sedimen suspensi pada kondisi dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar

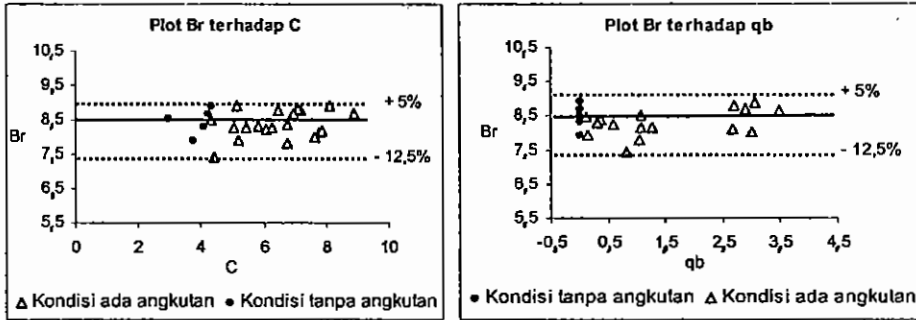


Gambar 4. Profil distribusi sedimen suspensi yang dinormalisasi

Dari Gambar 4 tampak adanya perubahan bentuk distribusi sedimen suspensi, yaitu pada kondisi ada angkutan sedimen dasar bentuk profilnya cenderung makin tegak, artinya dengan meningkatnya kecepatan aliran maka distribusi sedimen suspensi makin seragam. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat ada angkutan sedimen dasar karena kecepatan aliran bertambah, maka material berukuran halus yang terangkut dan menjadi suspensi dapat tersebar secara merata sehingga menyebabkan distribusi sedimen suspensi makin seragam.

Pengaruh \bar{C} dan q_b terhadap nilai Br

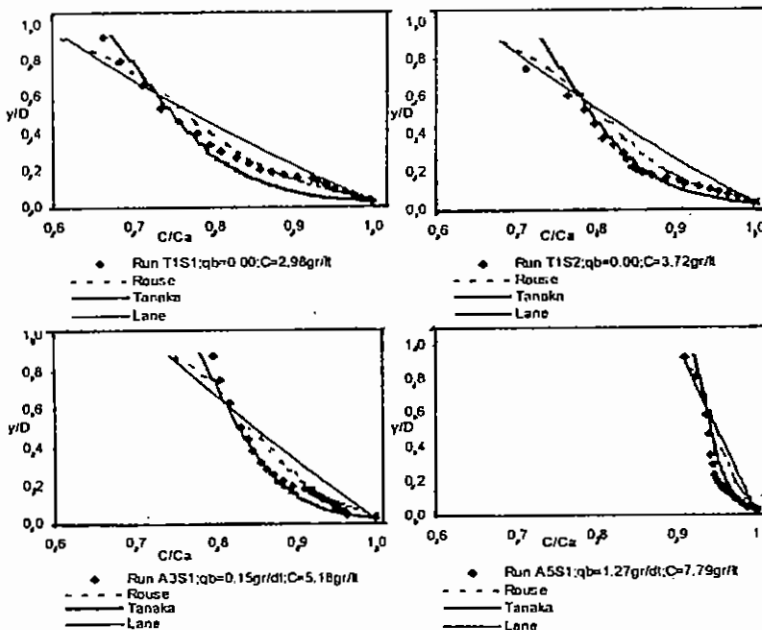
Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pada aliran seragam tanpa angkutan sedimen dasar mempunyai nilai konstanta integrasi log *law*, Br , adalah $8,5 \pm 5 \%$, sedangkan ada angkutan sedimen dasar nilai Br cenderung naik tetapi masih dalam batasan yang diberikan dalam literatur, yaitu $Br \pm 15 \%$ (Reynolds, 1974, dalam Kironoto, 1994).



Gambar 5. Pengaruh nilai Br terhadap \bar{C} dan q_b pada kondisi aliran dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar

Prediksi distribusi sedimen suspensi dengan studi pustaka

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran konsentrasi sedimen suspensi pada kondisi aliran tanpa angkutan sedimen dasar dapat didekati dengan menggunakan persamaan Rouse dan persamaan Tanaka & Sugimoto, sedangkan untuk aliran dengan angkutan sedimen dasar persamaan Tanaka dan Sugimoto memprediksi relatif lebih baik dibandingkan dengan persamaan Rouse (maupun persamaan Lane dan Kalinske).



Gambar 6. Perbandingan distribusi suspensi pada kondisi dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar

Konsentrasi sedimen suspensi rata-rata

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa rumus Straub (1945) dan rumus Atmodjo & Kironoto (2001) yang dikembangkan untuk aliran tanpa sedimen dasar tetap dapat digunakan pada kondisi aliran dengan angkutan sedimen dasar, dimana dengan penyimpangan yang relatif kecil, yaitu sebesar 5,1% dan 4,5%. Untuk pengukuran konsentrasi sedimen suspensi rata-rata yang berdasarkan data permukaan diperoleh persamaan $\bar{C}_{Hitung} = 1,11 C_{Permukaan}$.

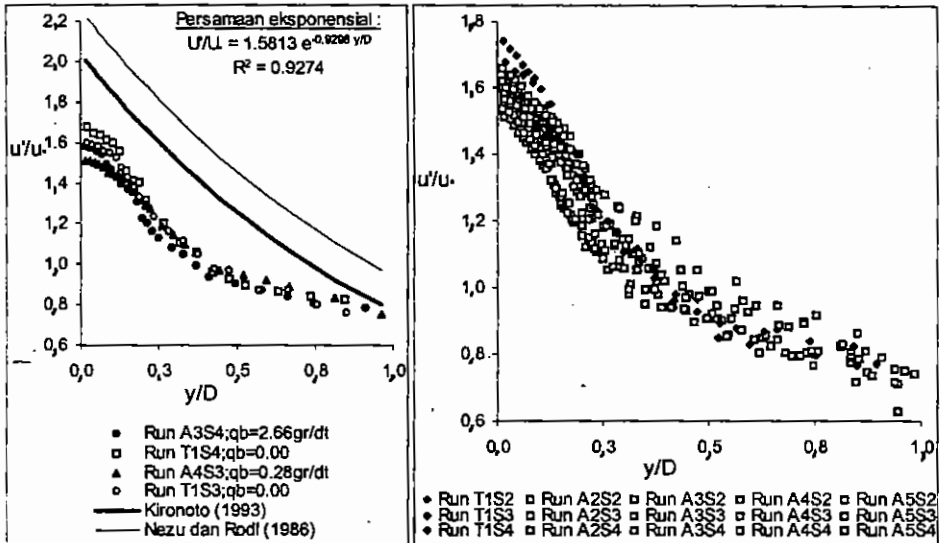
Tabel 2. Perhitungan konsentrasi sedimen suspensi rata-rata

Kode Runtuang	C ₂₀₀ (gr/lit)	C ₄₀₀ (gr/lit)	C ₆₀₀ (gr/lit)	\bar{C} (gr/lit)	C _{teori} (gr/lit)	Error (%)	C _{hitung} (gr/lit)	Error (%)	C _{perm} (gr/lit)	Error (%)	\bar{C}_{hitung} (gr/lit)
T1S1	2,99	2,73	2,35	2,98	2,59	-13,2	2,64	-11,6	2,27	-23,8	2,61
A2S1	4,29	4,11	3,62	4,32	3,87	-10,3	3,95	-8,4	3,49	-19,2	4,01
A3S1	5,13	4,84	4,60	5,18	4,80	-7,3	4,81	-7,0	4,55	-12,0	5,24
A4S1	6,75	6,52	6,29	6,73	6,46	-4,0	6,48	-3,7	5,81	-13,8	6,68
A5S1	7,70	7,63	7,61	7,79	7,64	-1,9	7,64	-2,0	7,57	-2,8	8,70
T1S2	3,78	3,50	3,25	3,72	3,45	-7,1	3,47	-6,7	3,02	-18,8	3,47
A2S2	5,43	5,20	5,12	5,45	5,24	-3,8	5,26	-3,4	4,92	-9,6	5,66
A3S2	6,02	5,87	5,68	6,07	5,81	-4,3	5,83	-4,0	5,37	-11,6	6,17
A4S2	6,73	6,46	6,09	6,75	6,33	-6,3	6,37	-5,6	5,79	-14,3	6,66
A5S2	7,80	7,61	7,26	7,86	7,46	-5,0	7,51	-4,4	6,49	-17,4	7,46
T1S3	4,16	4,00	3,67	4,04	3,85	-3,9	3,90	-4,7	3,56	-12,9	4,10
A2S3	5,08	4,87	4,59	5,03	4,77	-5,2	4,80	-4,6	4,30	-14,5	4,95
A3S3	5,84	5,74	5,66	5,84	5,73	-1,9	5,73	-1,8	5,63	-3,5	6,48
A4S3	6,33	6,07	5,93	6,28	6,08	-3,2	6,08	-3,3	5,73	-8,7	6,59
A5S3	7,17	7,01	6,79	7,20	6,93	-3,7	6,96	-3,3	6,58	-8,7	7,56
T1S4	4,16	4,16	3,97	4,30	4,04	-6,0	4,08	-5,1	3,95	-8,2	4,54
A2S4	5,08	4,33	4,18	4,40	4,52	2,6	4,46	1,2	4,14	-6,0	4,76
A3S4	5,84	6,32	5,86	6,45	5,85	-10,1	6,01	-7,7	5,83	-10,5	6,70
A4S4	7,24	6,80	6,20	7,09	6,59	-7,0	6,66	-6,1	6,19	-12,7	7,11
A5S4	7,61	7,41	7,25	7,61	7,38	-3,0	7,39	-2,9	7,23	-5,0	8,32
T1S5	4,36	4,14	3,80	4,21	4,01	-4,7	4,05	-3,7	3,67	-12,8	4,22
A2S5	5,21	4,95	4,52	5,15	4,78	-7,2	4,83	-6,1	4,45	-13,5	5,12
A3S5	7,02	6,83	6,44	6,93	6,66	-3,9	6,72	-3,1	6,38	-8,0	7,33
A4S5	8,11	7,99	7,90	8,10	7,98	-1,5	7,99	-1,4	7,89	-2,6	9,07
A5S5	8,84	8,53	8,39	8,88	8,56	-3,6	8,55	-3,7	8,38	-5,6	9,64
Rata-rata error	5,1%		4,5%			11%					

Distribusi Intensitas Turbulen

Profil distribusi intensitas turbulen hasil pengukuran menunjukkan bahwa semakin mendekati permukaan nilai intensitas turbulen semakin kecil. Pada kondisi aliran dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar menunjukkan nilai distribusi intensitas turbulen yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai intensitas

turbulen yang diperoleh dari persamaan Nezu, dkk. dan Kironoto untuk air jernih. Makin besar angkutan sedimen dasar, intensitas turbulen cenderung makin turun.



Gambar 7. Intensitas turbulen arah longitudinal

KESIMPULAN

Distribusi kecepatan pada kondisi ada angkutan sedimen dasar menunjukkan bentuk yang lebih membuka bila dibandingkan dengan distribusi kecepatan pada kondisi tanpa angkutan sedimen dasar. Distribusi sedimen suspensi pada aliran ada angkutan sedimen dasar cenderung makin tegak. Konsentrasi sedimen suspensi pada kondisi tanpa angkutan sedimen dasar menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi sedimen suspensi pada aliran ada angkutan sedimen dasar. Besarnya nilai Br dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pada aliran seragam tanpa angkutan sedimen dasar mempunyai nilai konstanta integrasi log law, Br , adalah $8,5 \pm 5\%$, sedangkan ada angkutan sedimen nilai Br cenderung naik tetapi masih dalam batasan yang diberikan dalam literatur ($Br \pm 15\%$). Distribusi sedimen suspensi untuk aliran tanpa angkutan sedimen dasar dapat didekati dengan menggunakan persamaan Rouse dan persamaan Tanaka & Sugimoto), sedangkan untuk aliran dengan

angkutan sedimen dasar persamaan Tanaka & Sugimoto memprediksi relatif lebih baik dibandingkan dengan persamaan Rouse (maupun persamaan Lane & Kalinske). Rumus Straub (1945) dan rumus Atmodjo & Kironoto (2001) yang dikembangkan untuk aliran tanpa sedimen dasar tetap dapat digunakan pada kondisi aliran dengan angkutan sedimen dasar dengan kesalahan berturut-turut, 5,1 % dan 4,5 %. Sedangkan konsentrasi sedimen suspensi rata-rata dengan metode pengambilan sampel di permukaan, diperoleh nilai $\bar{C} = 1,11 C_{\text{Permukaan}}$. Distribusi intensitas turbulen pada aliran dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai intensitas turbulen yang diperoleh dari persamaan Nezu, dkk. dan persamaan Kironoto untuk air jernih. Makin besar angkutan sedimen dasar, intensitas turbulen cenderung makin turun.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmodjo, U.S., 2001, "Distribusi Sedimen Suspensi Pada Aliran Seragam Saat Awal Gerak Butiran Sedimen Dasar", Tesis S-2, UGM, Yogyakarta.
- Bogardi, J., 1978, "*Sediment Transport In Alluvial Streams*", Akademiai Kiado, Budapest, Hungary.
- Garde, R. J., and Ranga Raju, K. G., 1977, "*Mechanics of Sediment Transportations and Alluvial Streams Problems*", Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Graf, W.H., and Altinakar, M.S., 1998, "*Fluvial Hydraulics Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geomtry*", John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England.
- Kironoto, B.A., 1993, "*Turbulence Characteristic of Uniform and Non-Uniform, Rough Open-Channel Flow*", Doctoral Disertation, No. 1094, Ecole Polytechnique Federal, Lausanne, Switzerland.
- Kironoto, B.A., and Graf, W.H., 1994, "*Turbulence Characteristic in Rough Uniform Open-Channel Flow*", *Water Maritime and Energy-Proceedings of The Institution of Civil Engineers*, 106, 333-334.

- Kironoto, B.A., 1997, "**Diktat Kuliah Hidraulika Transport Sedimen**", Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nezu, I. And Rodi, W. (1986), "*Open Channel Flow Measurement with a Laser Doppler Anemometer*", *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 112(5), 335-355.
- Yang, C.T., 1996, "*Sediment Transport Theory and Practice*", McGraw-Hill Company, Inc, New York.