

**PENGARUH ANGKUTAN SEDIMEN DASAR (*BED LOAD*)
TERHADAP DISTRIBUSI KECEPATAN GESEK
ARAH TRANSVERSAL PADA ALIRAN SERAGAM
SALURAN TERBUKA**

Bambang Agus Kironoto

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

In sediment transport problems, such as the initial motion of sediment particles, scouring process, degradation process, etc., the information about the wall shear velocity, u_ , is often needed. How the wall shear velocity variates in transversal direction, as the function of slopes and discharges, either for flows with and without bed load transport will be studied.*

The wall shear velocities, u_ , are evaluated using the Clauser's method, which is based on the velocity distribution data, due to the simplicity and the accuracy of the method. Hundred and twenty five velocity distributions data with five different slopes and five different discharges are used to study the wall shear velocity in transversal direction.*

The results of analysis show that the Clauser's method still remains valid, and can be used to determine the wall shear velocity in transversal direction, as long as the velocity distributions data in the near wall region still follow the logarithmic velocity distribution. Closer to the wall, the shear velocity becomes to decrease, which is not influenced by the existence of bed load transport, as well as by the variations of slopes and discharges variations.

KEYWORDS : shear velocity, velocity distributions, Clauser's method

PENDAHULUAN

Pada pekerjaan-pekerjaan keteknikan dari berbagai aspek teknik hidro seperti misalnya pekerjaan perancangan bangunan-bangunan pengendalian sungai, pengendalian banjir, perencanaan saluran stabil, bangunan-bangunan sungai, informasi tentang angkutan sedimen seringkali sangat dibutuhkan. Salah satu parameter aliran yang sering dikaitkan dengan proses angkutan sedimen adalah parameter kecepatan gesek pada dasar, u_* (atau tegangan gesek pada dasar, τ_0). Dengan diketahuinya kecepatan gesek atau tegangan gesek pada suatu sungai, fenomena angkutan sedimen seperti misalnya awal gerak sedimen, proses erosi, pengendapan sedimen, dan lain-lain, dapat lebih dipahami.

Metode Clauser merupakan salah satu metode untuk menentukan kecepatan gesek pada suatu aliran. Metode Clauser didasarkan pada data pengukuran distribusi kecepatan bersama-sama dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik. Metode ini banyak digunakan dengan pertimbangan kemudahan penggunaannya dan tingkat ketelitiannya yang cukup tinggi. Dari beberapa penelitian terdahulu, diketahui bahwa metode Clauser dapat memberikan tingkat

ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan metode yang didasarkan pada penerapan persamaan energi (Cardoso, et al., 1989, dan Kironoto dan Graf, 1994).

Aliran pada sungai, secara umum membawa sejumlah sedimen, baik sedimen suspensi (*suspended load*) maupun sedimen dasar (*bed load*). Adanya perubahan angkutan sedimen dasar (*bed load*) akan disertai dengan perubahan konsentrasi sedimen suspensi. Konsentrasi sedimen suspensi (dan distribusi kecepatan) diketahui berubah dari tengah ke arah tepi saluran. Coleman (1981) dan Zainuddin dan Kironoto (2003), melaporkan bahwa adanya sedimen suspensi dapat mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, yang akan mempengaruhi besaran kecepatan gesek yang ditimbulkannya. Adanya *bed load* yang diketahui mempengaruhi kandungan konsentrasi sedimen suspensi, dan juga mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, diperkirakan juga mempengaruhi besarnya kecepatan gesek. Sehubungan dengan itu, dalam tulisan ini akan dipelajari seberapa besar pengaruh angkutan sedimen dasar (*bed load*) terhadap kecepatan gesek pada arah transversal, dari tengah saluran ke arah di tepi, termasuk pengaruh kemiringan dasar saluran dan debit aliran terhadap distribusi kecepatan gesek.

LANDASAN TEORI

1. Distribusi kecepatan

Pada aliran saluran terbuka, distribusi kecepatan seringkali dibedakan sebagai distribusi kecepatan di daerah *inner region*, yang berada di dekat dasar dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku, dan di daerah *outer region*, yang berada jauh dari dasar dimana distribusi kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematis terhadap hukum logaritmik (Nezu dan Rodi, 1986; Kironoto dan Graf, 1994).

Rumus distribusi kecepatan logaritmik (*the law of the wall*) di daerah *inner region*, yang dibatasi oleh $y/D < 0.2$ dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{y}{k_s} \right) + Br \quad (1)$$

dimana u adalah kecepatan rata-rata titik pada jarak y dari titik referensi; D adalah kedalaman aliran; u_* , kecepatan geser; κ , konstanta *universal* Von-Karman ($\kappa = 0.4$); Br , konstanta integrasi, dan k_s adalah kekasaran dasar *equivalen* Nikuradse. Untuk aliran seragam, nilai Br di tengah saluran (aliran 2D) adalah, $Br \approx 8.5 \pm 15\%$ (Reynolds, 1974).

2. Metode Clauser

Metoda Clauser adalah merupakan suatu metoda dimana kecepatan gesek, u_* , dapat diperoleh dari data pengukuran distribusi kecepatan bersama-sama dengan hukum distribusi kecepatan logaritmik oleh Prandtl (Cardoso, et al., 1989, dan Kironoto dan Graf, 1994). Cara ini sering dipergunakan, karena disamping ketelitiannya yang cukup tinggi, juga relatif mudah untuk diterapkan. Hanya saja untuk dapat menggunakan metode ini diperlukan data pengukuran distribusi kecepatan (khususnya di dekat dasar; *inner region data*) dan informasi bahwa hukum logaritmik (Persamaan 1) masih berlaku di daerah dekat dasar (*inner region*). Jadi tingkat ketelitian dari metode ini tergantung pada berlaku tidaknya hukum logaritmik, disamping ketelitian dari data pengukuran kecepatan yang diperoleh di dekat dasar.

Pada metoda Clauser, kecepatan rata-rata titik dari data pengukuran distribusi kecepatan di daerah *inner region*, sebagai ordinat, diplotkan dengan nilai $\ln(y/k_s)$ sebagai absisnya. Bilamana plot data pengukuran distribusi kecepatan membentuk korelasi (*trend*) linear, dapat diartikan bahwa data distribusi kecepatan di daerah *inner region* masih mengikuti hukum logaritmik, dan metode Clauser dapat digunakan. Dengan metode pencocokan kurva (regresi linear), dapat diperoleh nilai u_* dan Br (dengan menggunakan nilai konstanta Karman, $\kappa = 0.4$). Dengan demikian, selain dapat diperoleh nilai kecepatan gesek, u_* , metode Clauser juga dapat memberikan nilai konstanta integrasi numerik dari persamaan distribusi kecepatan, Br .

Untuk aliran seragam, banyak sekali penelitian eksperimental [Nezu dan Rodi (1986), Kironoto dan Graf (1994), Coleman (1981)] yang membuktikan bahwa hukum kecepatan logaritmik berlaku pada aliran dalam saluran terbuka, khususnya pada daerah yang berada di dekat dasar / *inner region* ($y < 0.2 D$, dimana D adalah kedalaman aliran). Di daerah jauh dari dasar, data distribusi kecepatan biasanya sedikit menyimpang terhadap persamaan distribusi kecepatan logaritmik; hal ini tidak menjadikan masalah, karena metode Clauser hanya menggunakan data distribusi kecepatan di daerah dekat dasar (Kironoto, 1992).

DATA UNTUK ANALISIS

Data yang dipergunakan dalam tulisan ini merupakan data pengukuran yang telah diperoleh sebelumnya oleh Kironoto, dkk (2004). Sebanyak 25 *running* data aliran yang terdiri dari 125 data pengukuran distribusi kecepatan, yang meliputi distribusi kecepatan pada aliran seragam bersedimen suspensi tanpa *bed load* (50 distribusi kecepatan), dan dengan *bed load* (75 distribusi kecepatan), digunakan dalam analisis tulisan ini. Parameter utama dari data aliran yang digunakan diberikan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Parameter utama data aliran yang dipergunakan

Run	Q	So	D	b/D	R	$\nu \times 10^{-3}$	U	$Re \times 10^{-5}$	Fr	qb'
	(lt/dt)	(-)	(cm)	(-)	(cm)	(cm^2/dt)	(cm/dt)	(-)	(-)	(gr/dt)
RQ1S1	15.02	0.0005	12	5	8.57	8.45	20.861	0.85	0.192	-
RQ1S2		0.001	10.7	5.61	7.89	8.45	23.395	0.87	0.228	-
RQ1S3		0.0015	10.4	5.77	7.72	8.45	24.071	0.88	0.238	-
RQ1S4		0.002	10	6	7.5	7.89	25.033	0.95	0.253	-
RQ1S5		0.0025	9.2	6.52	7.04	8.24	27.21	0.93	0.286	-
RQ2S1	18.14	0.0005	12.8	4.69	8.97	7.89	23.62	1.07	0.211	-
RQ2S2		0.001	12.1	4.96	8.62	8.45	24.986	1.02	0.229	-
RQ2S3		0.0015	11.2	5.36	8.16	7.89	26.994	1.12	0.258	-
RQ2S4		0.002	10.7	5.61	7.89	8.24	28.255	1.08	0.276	-
RQ2S5		0.0025	9.5	6.32	7.22	8.04	31.824	1.14	0.33	-
MQ3S1	23.33	0.0005	15.5	3.87	10.22	8.24	25.086	1.24	0.203	0.006
MQ3S2		0.001	15.1	3.97	10.04	7.75	25.751	1.34	0.212	0.014
MQ3S3		0.0015	14.6	4.11	9.821	8.45	26.632	1.24	0.223	0.021
MQ3S4		0.002	14.1	4.26	9.592	7.75	27.577	1.37	0.235	0.031
MQ3S5		0.0025	13.7	4.38	9.405	8.24	28.382	1.30	0.245	0.036
MQ4S1	26.45	0.0005	15.8	3.8	10.35	8.45	27.901	1.37	0.224	0.015
MQ4S2		0.001	15.4	3.9	10.18	8.04	28.625	1.45	0.233	0.022
MQ4S3		0.0015	15.2	3.95	10.09	8.24	29.002	1.42	0.238	0.026
MQ4S4		0.002	14.7	4.08	9.866	7.9	29.989	1.50	0.25	0.036
MQ4S5		0.0025	14.3	4.2	9.684	8.04	30.827	1.49	0.26	0.041
MQ5S1	29.57	0.0005	16.8	3.57	10.77	8.24	29.335	1.53	0.229	0.017
MQ5S2		0.001	16.5	3.64	10.65	8.24	29.869	1.54	0.235	0.028
MQ5S3		0.0015	16	3.75	10.43	7.9	30.802	1.63	0.246	0.029
MQ5S4		0.002	15.7	3.82	10.31	8.45	31.391	1.53	0.253	0.044
MQ5S5		0.0025	15.3	3.92	10.13	7.9	32.211	1.65	0.263	0.054

Keterangan :

Q = debit aliran terukur ; S_o = kemiringan dasar saluran ; D = kedalaman aliran ; b/D = aspect ratio ; b = lebar flume/saluran (=60 cm); ν = viskositas kinematik ; R = jari-jari hidraulis ($A/(2D + B)$) ; $Re = 4RU/\nu$ – angka Reynolds ; $Fr = U/(gD)^{0.5}$; U = kecepatan rata-rata (vertikal) aliran; qb' = angkutan sedimen dasar (*bedload*) /satuan waktu

Data pengukuran tersebut diperoleh di laboratorium, pada *sediment-recirculating flume* yang ada di PS-IT UGM, dengan 5 variasi debit aliran dan 5 variasi kemiringan dasar; dimensi saluran adalah, panjang 10 m, lebar 0.6 m dan tinggi 1.0 m; dasar saluran berupa material pasir halus, dengan nilai kekasaran dasar, $k_s = 0.072$ cm. Untuk setiap *running* aliran, misal RUN RQ1S1, dilakukan 5 pengukuran distribusi kecepatan, dari tengah saluran ke arah tepi, yaitu pada 1/2B,

1/4B, 1/8B, 1/16B dan 1/30B. Dengan demikian, untuk setiap *running* aliran, ada 5 data pengukuran distribusi kecepatan. Pengukuran distribusi kecepatan dilakukan dengan *electromagnetic currentmeter*.

Untuk setiap *running* aliran, data mempunyai kode yang terdiri dari lima digit berupa huruf dan angka. Kode huruf pertama, **R** dan **M**, menggambarkan bahwa aliran diperoleh pada kondisi tanpa *bed load* (*rest*) dan dengan *bed load* (*move*). Kode digit kedua menunjukkan debit (**Q**), dengan variasi debitnya diberikan dengan angka dibelakangnya. Kode digit ke-empat adalah variasi kemiringan dasar (*slope*) yang diberikan kode **S** dan ditambahkan angka sebagai kode urutan variasinya.

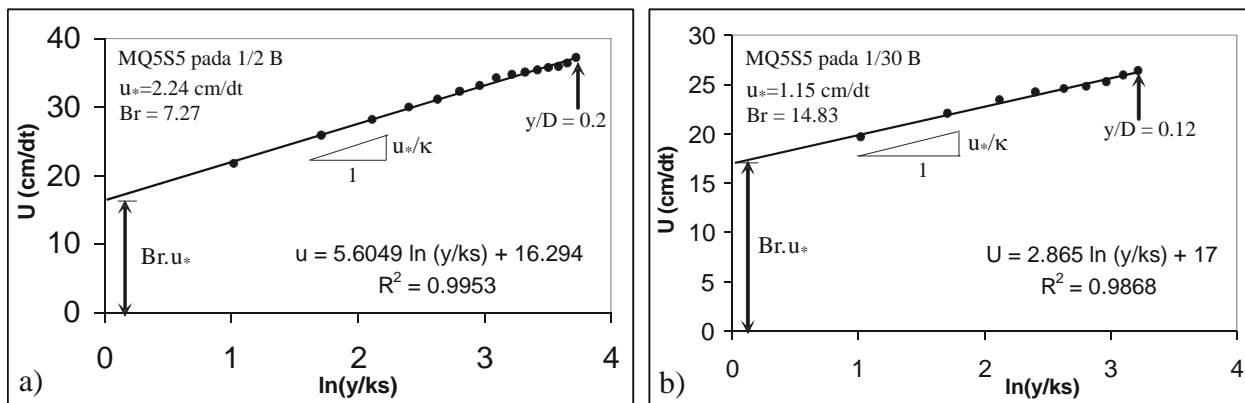
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Validitas Metode Clauser

Untuk menentukan kecepatan gesek dasar, u_* , dengan metode Clauser digunakan data pengukuran distribusi kecepatan yang berada di daerah dekat dasar (*inner region*), yaitu pada $y/D \leq 0.2$, bersama-sama dengan persamaan distribusi kecepatan logaritmik (Persamaan 1). Persamaan distribusi kecepatan logaritmik tersebut akan memberikan suatu korelasi (persamaan) linear, bila u digambarkan sebagai fungsi $\ln(y/k_s)$, dan memberikan kemiringan garis, $m = u_*/\kappa$, serta harga konstan, *Cte*. Dengan mengambil nilai $\kappa = 0,4$, dapat diperoleh nilai u_* .

Untuk data pengukuran di tengah saluran, telah dibuktikan [Nezu dan Rodi (1986), Kironoto (1992)], bahwa Persamaan (1) masih berlaku sampai dengan kedalaman, $y/D \leq 0.2$. Sementara itu untuk data distribusi kecepatan di tepi saluran (arah transversal), belum diketahui pasti sampai sejauh mana hukum logaritmik masih dapat digunakan. Jadi dalam hal ini, perlu dilakukan pengecekan sampai pada kedalaman (y/D) berapa persamaan logaritmik masih berlaku (*valid*). Menurut Cardoso, et al (1989), metode Clauser masih dapat digunakan dengan baik, meskipun data di daerah *inner region* hanya sampai dengan nilai $y/D \approx 0.1$.

Sebagai langkah awal untuk mengetahui apakah metode Clauser masih dapat digunakan atau tidak, untuk menentukan kecepatan gesek di tepi saluran, pada Gambar 1 diperlihatkan *plot* data u versus $\ln(y/k_s)$ untuk data di tengah dan di tepi saluran.



Gambar 1. Cara penentuan kecepatan gesek, u_* dan Br dengan metode Clauser.
 a). data di tengah saluran (pada $z/B = 1/2$); b). data di tepi saluran (pada $z/B = 1/30$)

Sebagaimana terlihat pada Gambar 1, plot data u versus $\ln(y/ks)$, baik untuk data di tengah maupun di tepi saluran, data masih memberikan suatu korelasi (hubungan) linear sampai dengan $y/D \approx 0.2$ untuk data di tengah saluran, dan $y/D \approx 0.12$ untuk data di tepi saluran, yang berarti bahwa data pengukuran distribusi kecepatan di tengah dan di tepi saluran masih mengikuti hukum distribusi kecepatan logaritmik; dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode Clauser masih dapat digunakan.

2. Kecepatan Gesek, u_* , dan Konstanta Integrasi, Br

Pada Tabel 2 disajikan hasil perhitungan nilai-nilai u_* dan Br, baik untuk data aliran tanpa angkutan sedimen dasar (*bed load*) maupun data aliran dengan *bed load*. Tabel 2 memperlihatkan bahwa semakin mendekati dinding saluran, nilai kecepatan gesek, u_* , semakin mengecil. Sebaliknya, nilai konstanta integrasi *log-law*, Br (rata-rata nilai Br) mengalami peningkatan bahkan melampaui nilai batas rentang yang disyaratkan untuk data di tengah saluran, yaitu $8,5 (\pm 10\%)$ (Reynolds, 1974).

Dari hasil analisis terdahulu (Gambar 1) diketahui bahwa persamaan logaritmik masih berlaku untuk data kecepatan di tepi saluran ($z/B = 1/30$); ke arah tepi saluran nilai u_* semakin kecil. Pengurangan nilai u_* ke arah tepi saluran disamping disebabkan karena semakin kecilnya nilai kecepatan rata-rata (vertikal) aliran, juga disebabkan karena semakin kecilnya nilai gradien kecepatan, du/dy (Kironoto, 1992) untuk data kecepatan di dekat dasar saluran (*inner region*). Pengurangan nilai u_* ini akan mengakibatkan kenaikan nilai Br (lihat nilai konstanta dalam persamaan regresi pada Gambar 1, yang nilainya sama dengan $Br.u_*$). Hal serupa juga ditunjukkan untuk *running* aliran dengan *bed load*, dimana ke arah tepi saluran, nilai kecepatan gesek, u_* , semakin mengecil, sedangkan nilai Br semakin membesar. Dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa nilai $Br = 8.5$ yang disampaikan oleh Nikuradse (Reynolds, 1974) hanya berlaku untuk aliran di tengah yang mempunyai karakteristik seperti aliran 2D (2-dimensi); sedangkan untuk aliran di tepi saluran, yang mempunyai karakteristik sebagai aliran 3D, nilai Br cenderung lebih besar dari nilai Br seperti yang dilaporkan di literatur.

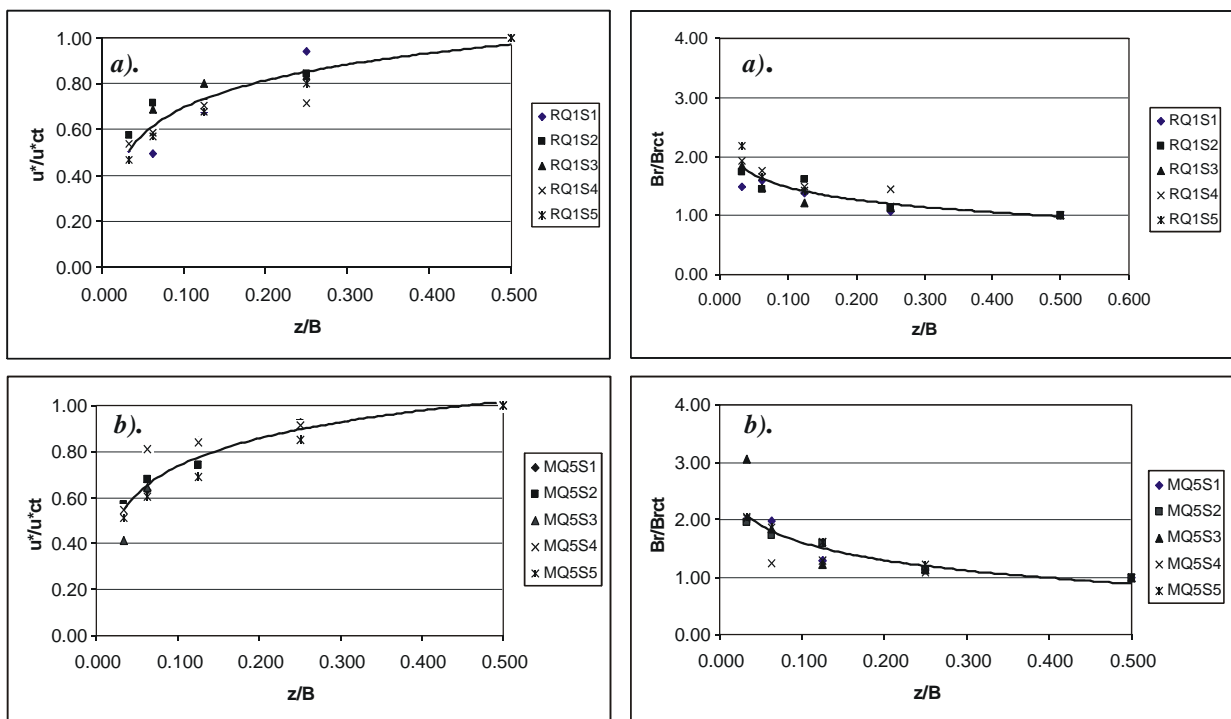
Untuk mengetahui lebih lanjut pengaruh parameter aliran dan sedimen, seperti pengaruh variasi debit aliran, kemiringan dasar saluran, dan adanya transpor sedimen dasar (*bed load*) terhadap distribusi kecepatan gesek dan konstanta integrasi dari persamaan distribusi kecepatan logaritmik, pada Gambar 2 s/d Gambar 4 ditunjukkan distribusi nilai kecepatan gesek dan konstanta integrasi persamaan distribusi kecepatan logaritmik, pada arah transversal, yang dinyatakan dalam nilai tak berdimensi, u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{*ct} , dimana u_{*ct} dan Br_{*ct} , berturut-turut adalah nilai kecepatan gesek dan konstanta integrasi di tengah saluran.

Tabel 2. Hasil hitungan u^* dan Br (aliran tanpa *bed load* dan dengan *bed load*)

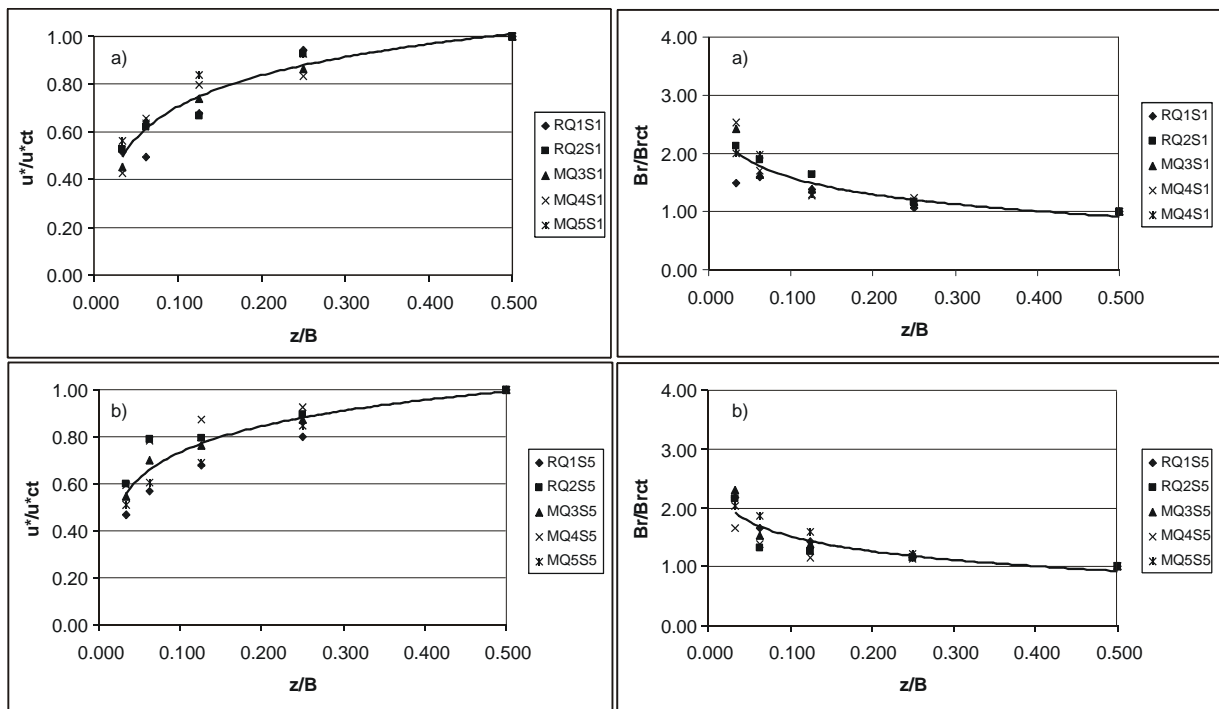
Kode Run	u^* (cm/dt)					Br				
	1/2B	1/4B	1/8B	1/16B	1/30B	1/2B	1/4B	1/8B	1/16B	1/30B
RQ1S1	1.19	1.12	0.80	0.59	0.61	9.03	9.65	12.48	14.42	13.44
RQ1S2	1.41	1.19	1.01	1.01	0.81	8.87	10.11	14.24	12.86	15.41
RQ1S3	1.43	1.19	1.14	0.98	0.76	9.13	10.23	11.17	13.44	16.79
RQ1S4	1.46	1.05	1.03	0.86	0.79	8.99	13.05	13.46	15.88	17.38
RQ1S5	1.70	1.36	1.15	0.97	0.79	8.89	10.16	12.59	14.79	19.37
RQ2S1	1.30	1.20	0.87	0.81	0.69	8.72	10.26	14.24	16.48	18.63
RQ2S2	1.44	1.28	1.17	0.92	0.75	8.67	9.514	11.74	14.81	18.28
RQ2S3	1.57	1.20	1.13	0.92	0.78	8.76	11.26	14.59	17.18	18.23
RQ2S4	1.66	1.29	1.20	1.09	0.81	8.62	10.68	12.09	13.23	17.89
RQ2S5	1.65	1.47	1.31	1.30	0.99	8.83	10.23	11.09	11.64	18.96
Rata-rata Br (tanpa <i>bed load</i>)						8.85	10.51	12.77	14.47	17.44
MQ3S1	1.49	1.29	1.11	0.97	0.68	8.79	10.36	12.18	14.35	21.25
MQ3S2	1.46	1.37	1.06	1.05	0.81	8.69	10.11	13.64	14.10	14.65
MQ3S3	1.55	1.28	1.16	0.95	0.85	8.70	12.31	12.23	16.87	16.78
MQ3S4	1.55	1.40	1.11	1.02	0.77	8.60	9.96	12.88	13.27	18.62
MQ3S5	1.69	1.48	1.29	1.18	0.92	8.57	10.35	11.88	13.12	19.83
MQ4S1	1.71	1.43	1.37	1.12	0.73	8.56	10.57	10.87	14.48	21.74
MQ4S2	1.72	1.48	1.35	1.32	1.03	8.53	10.25	11.10	11.54	12.92
MQ4S3	1.81	1.51	1.41	1.08	0.87	7.48	9.84	11.18	16.42	20.34
MQ4S4	1.78	1.49	1.38	1.26	0.94	8.60	9.95	10.34	11.80	16.40
MQ4S5	1.78	1.65	1.55	1.39	1.06	8.49	9.52	9.71	11.70	14.07
MQ5S1	1.77	1.63	1.48	1.12	0.99	8.32	9.40	10.80	16.39	16.72
MQ5S2	1.84	1.69	1.37	1.24	1.04	8.15	9.13	12.90	14.04	15.99
MQ5S3	1.98	1.79	1.67	1.28	0.81	7.91	8.91	9.72	14.62	24.18
MQ5S4	2.04	1.87	1.72	1.65	1.11	7.66	8.31	9.80	9.58	15.53
MQ5S5	2.24	1.90	1.55	1.36	1.15	7.27	8.85	11.62	13.61	14.83
Rata-rata Br (dengan <i>bed load</i>)						8.29	9.85	11.39	13.73	17.59

Untuk melihat seberapa besar pengaruh kemiringan dasar saluran, pada Gambar 2 ditunjukkan contoh tipikal *plot* distribusi nilai u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{*ct} dengan z/B , untuk data dengan debit aliran kecil (RUN RQ1S1 - RQ1S5), dan data dengan debit aliran besar (RUN MQ5S1-MQ5S5). Seperti ditunjukkan pada gambar bahwa pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap nilai u^*/u_{*ct} (dan Br/Br_{*ct}) tidak begitu jelas. Dengan kata lain, dapat disimpulkan bahwa kemiringan dasar saluran tidak terlihat pengaruhnya terhadap distribusi u^*/u_{*ct} (dan Br/Br_{*ct}) pada arah transversal; paling tidak untuk *range* data kemiringan dasar saluran yang digunakan dalam tulisan ini, yaitu $S1 = 0.0005$ s/d $S5 = 0.0025$.

Untuk melihat seberapa besar pengaruh variasi debit aliran, pada Gambar 3 ditunjukkan contoh tipik *plot* distribusi nilai u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{*ct} dengan z/B , baik untuk data dengan kemiringan dasar kecil (RUN RQ1S1 – MQ5S1), maupun data dengan kemiringan dasar besar (RUN RQ1S5- MQ5S5).



Gambar 2. Pengaruh kemiringan dasar terhadap distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{*ct} arah transversal (a). kondisi debit kecil dan b). kondisi debit besar)



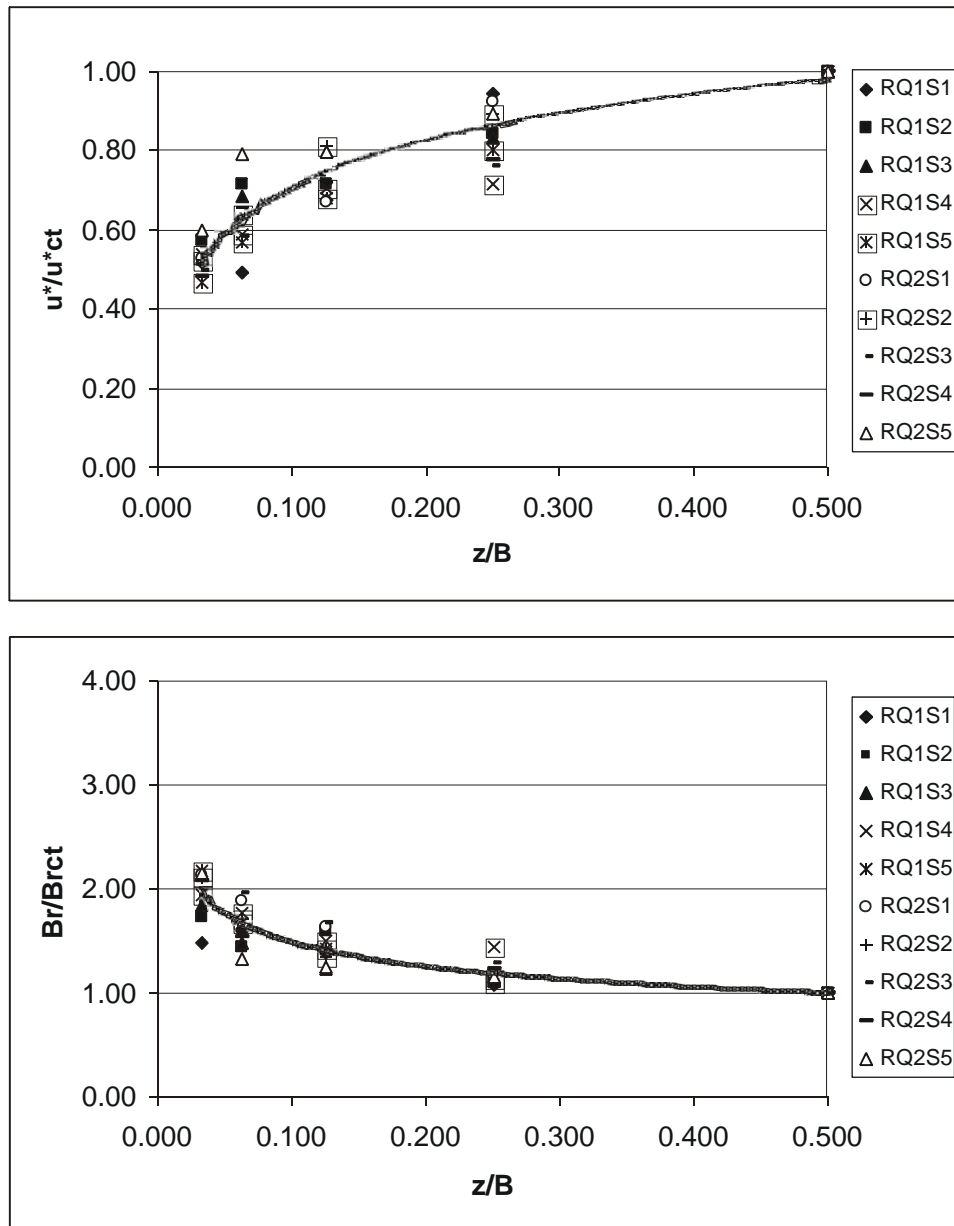
Gambar 3. Pengaruh debit aliran terhadap distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{ct} arah transversal (a). kemiringan dasar kecil dan b). kemiringan dasar besar)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, bahwa pengaruh variasi debit aliran terhadap nilai u^*/u_{*ct} (dan Br/Br_{ct}) juga tidak begitu tampak. Variasi debit aliran tidak terlihat pengaruhnya terhadap distribusi u^*/u_{*ct} (dan Br/Br_{ct}), baik untuk data dengan kemiringan dasar saluran kecil, maupun untuk data dengan kemiringan dasar saluran besar, paling tidak untuk *range* variasi data debit seperti yang digunakan dalam tulisan ini, yaitu $Q_1 = 15.02$ lt/dt s/d $Q_5 = 29.57$ lt/dt.

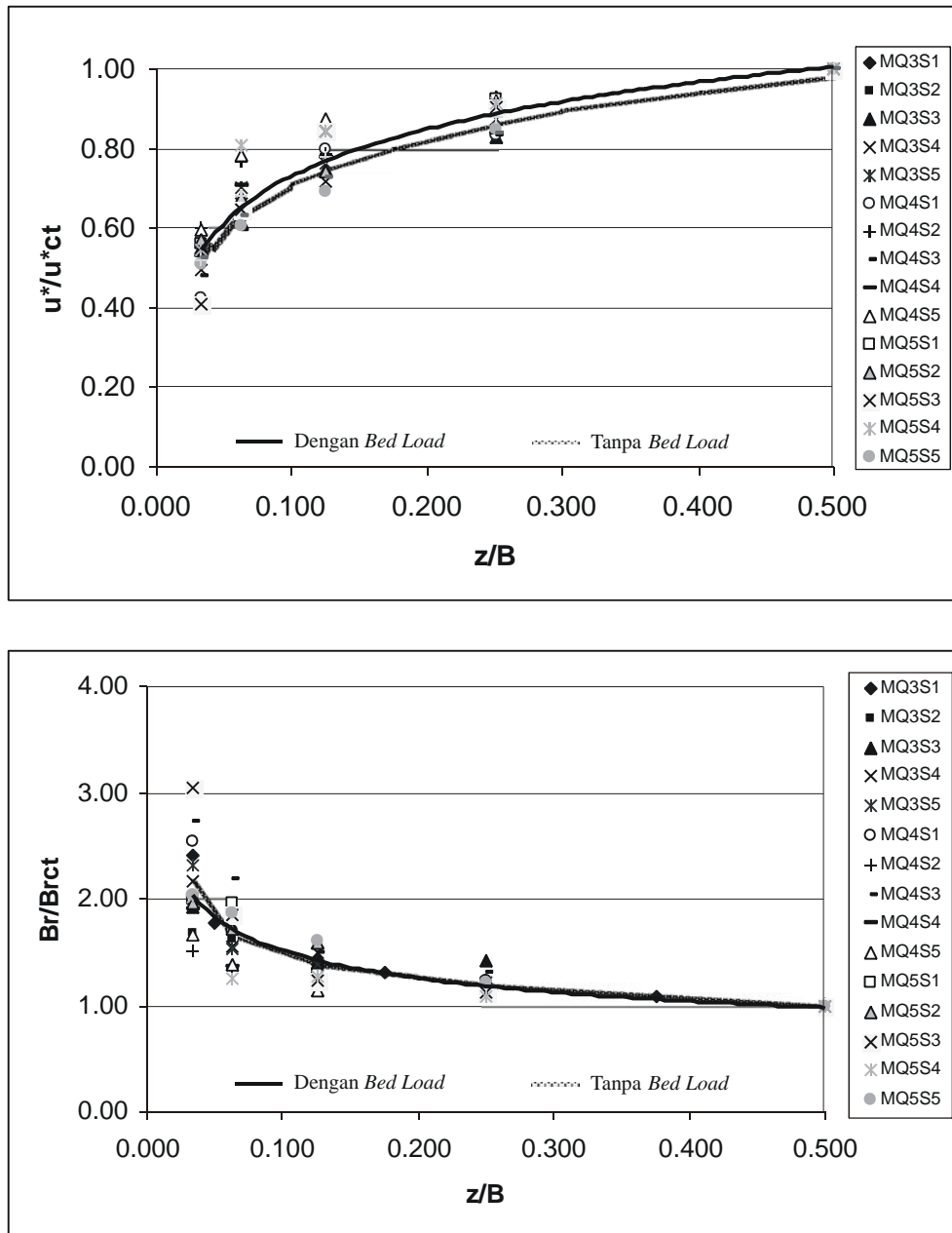
Pada Gambar 4 dan 5, berturut-turut diberikan *plot* data u^*/u_{*ct} (dan Br/Br_{ct}) dengan z/B , untuk data aliran tanpa sedimen *bed load* dan dengan sedimen *bed load*. Mengingat bahwa debit aliran dan kemiringan dasar saluran diketahui tidak mempengaruhi distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{ct} pada arah transversal (Gambar 2 dan 3), maka seluruh data aliran dicoba dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu kelompok data aliran tanpa angkutan sedimen *bed load* seperti diberikan pada Gambar 4, dan data aliran dengan angkutan sedimen *bed load* seperti diberikan pada Gambar 5.

Untuk memperjelas seberapa besar pengaruh angkutan sedimen dasar (*bed load*) terhadap distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{ct} , pada Gambar 5, disamping diperlihatkan data (dan kurva regresi) untuk aliran dengan sedimen dasar (*bed load*), juga diperlihatkan kurva regresi untuk data aliran tanpa angkutan sedimen dasar, dimana meskipun ada sedikit perbedaan kurva regresi dari dua kelompok data, namun perbedaan yang ada tidak begitu signifikan; dengan kata lain dapat dikatakan bahwa adanya angkutan sedimen dasar (*bed load*) tidak berpengaruh terhadap

distribusi (u^*/u_{*ct}) dan (Br/Br_{ct}) arah transversal; paling tidak untuk *range* data yang digunakan dalam tulisan ini.



Gambar 4. Distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{ct} arah transversal (data tanpa *bed load*)



Gambar 5. Distribusi u^*/u_{*ct} dan Br/Br_{ct} arah transversal (data dengan *bed load*)

Untuk data aliran tanpa angkutan sedimen dasar (*bed load*), persamaan regresi dari u_* dan Br adalah :

$$\frac{u_*}{u_{*ct}} = 0.17 \ln\left(\frac{z}{B}\right) + 1.10 \tag{2a}$$

$$\frac{Br}{Br_{ct}} = 0.85 \left(\frac{z}{B}\right)^{-0.25} \tag{3a}$$

dengan nilai koefisien korelasi, masing-masing, adalah, $R^2 = 0.990$ dan $R^2 = 0.996$.

Sedangkan untuk data aliran dengan *bed load*, persamaan regresi dari u_* dan Br adalah :

$$\frac{u_*}{u_{*ct}} = 0.17 \ln \left(\frac{z}{B} \right) + 1.12 \quad (2b)$$

$$\frac{Br}{Br_{ct}} = 0.81 \left(\frac{z}{B} \right)^{-0.27} \quad (3b)$$

dengan nilai koefisien korelasi, masing-masing, adalah, $R^2 = 0.988$ dan $R^2 = 0.986$.

Dengan pertimbangan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara data dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar (*bed load*), persamaan regresi untuk u_* dan Br dilakukan untuk seluruh data, dan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{u_*}{u_{*ct}} = 0.17 \ln \left(\frac{z}{B} \right) + 1.11 \quad (4)$$

$$\frac{Br}{Br_{ct}} = 0.83 \left(\frac{z}{B} \right)^{-0.26} \quad (5)$$

Dengan memasukkan definisi kecepatan gesek, u_{*ct} , dan nilai Br_{ct} di tengah saluran (yang mempunyai karakteristik seperti aliran 2 Dimensi), sebagai

$u_{*ct} = (g h S_f)^{1/2}$ dan $Br_{ct} = 8.5$, persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{u_{*(z/B)}}{(g h S_o)^{1/2}} = 0.17 \ln \left(\frac{z}{B} \right) + 1.11 \quad (6)$$

$$Br_{(z/B)} = 7.06 \left(\frac{z}{B} \right)^{-0.26} \quad (7)$$

Pada persamaan-persamaan tersebut di atas, u_* adalah kecepatan gesek pada posisi z/B , yang selanjutnya dituliskan sebagai $u_{*(z/B)}$, sedangkan Br adalah konstanta integrasi dari persamaan distribusi kecepatan logaritmik pada posisi z/B , yang selanjutnya dituliskan sebagai $Br_{(z/B)}$; dan S_f adalah kemiringan garis energi. Untuk lokasi di tengah saluran, nilai $z/B = 0.5$, sedangkan ke arah tepi saluran, nilai $z/B < 0.5$. Melihat bentuk persamaan (regresi) yang diperoleh, persamaan tersebut di atas tidak berlaku untuk $z/B = 0$, dimana secara matematis, nilai $u_{*(z/B=0)}$ dan $Br_{(z/B=0)}$ tidak terdefiniskan pada $z/B = 0$, sedangkan untuk nilai $z/B = 0.5$, persamaan di atas memberikan nilai $u_{*(z/B=0.5)} = (g h S_f)^{1/2}$ dan $Br_{(z/B=0.5)} = 8.5$. Dalam tulisan ini nilai u_{*ct} tidak dihitung dengan persamaan energi, $(g h S_f)^{1/2}$, karena tidak diperolehnya data kemiringan garis energi, S_f ; karena panjang *flume* yang digunakan untuk pengukuran (Kironoto, dkk, 2004) kurang

panjang (kurang dari 10 m), nilai kemiringan garis energi, S_f , tidak dapat diambil sama dengan nilai kemiringan dasar saluran, S_o .

KESIMPULAN

Penentuan kecepatan geser (dan konstanta integrasi persamaan distribusi kecepatan logaritmik) untuk aliran seragam dengan dan tanpa angkutan sedimen dasar (*bed load*) telah dikaji dalam tulisan ini, dimana sejumlah 125 data pengukuran distribusi kecepatan di laboratorium telah dipergunakan.

Dari hasil analisis data pengukuran distribusi kecepatan di daerah dekat dasar (*inner region*), diketahui bahwa data pengukuran kecepatan masih mengikuti hukum logaritmik, baik untuk data pengukuran di tengah maupun di tepi saluran; hanya saja daerah dimana data pengukuran distribusi kecepatan mengikuti hukum logaritmik cenderung makin berkurang ke arah di tepi saluran ($y/D < 0.2$). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kecepatan gesek, u_* , di tengah maupun di tepi saluran, masih dapat dihitung dengan menggunakan metode Clauser, yaitu dengan persamaan (1) — hukum logaritmik — bersama-sama dengan data pengukuran distribusi kecepatan di daerah dekat dasar.

Ke arah tepi saluran, nilai u_* semakin kecil, sedangkan nilai Br , semakin besar, dan tidak dipengaruhi oleh variasi debit, kemiringan dasar saluran, dan adanya angkutan sedimen dasar (*bed load*).

Persamaan empirik untuk menentukan kecepatan gesek dan konstanta integrasi persamaan logaritmik pada arah transversal, z/B , yaitu, $u_{*(z/B)}$ dan $Br_{(z/B)}$, telah diperoleh dalam tulisan (penelitian), sebagaimana diberikan dalam persamaan 6 dan 7, dimana untuk nilai $z/B = 0.5$, persamaan 6 dan 7 memberikan nilai $u_{*(z/B=0.5)} = (g h S_o)^{1/2}$ dan $Br_{(z/B=0.5)} = 8.5$.

Hasil/kesimpulan yang diperoleh dalam tulisan ini hanya berlaku untuk aliran yang berada dalam *range* data aliran yang dipelajari di sini. Untuk aliran yang berada di luar *range* tersebut, perlu adanya pembuktian lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini didasarkan pada analisis (lebih lanjut) dari data pengukuran yang telah diperoleh oleh Kironoto dkk (2004) sebelumnya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Totoh Andoyono, ST., MT., Fransiska Yustiana, ST., MT., dan Chairul Muharis, ST., MT., yang telah membantu proses penelitian dalam Kironoto dkk (2004), sehingga mempermudah penulis dalam melakukan analisis data lebih lanjut dalam tulisan ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan

kepada Direktorat PPPM, Dirjen Dikti, yang telah memberikan *support* dana penelitian Hibah Bersaing XII/1 Th. Anggaran 2004, dalam Kironoto dkk (2004), sehingga tulisan ini dapat terwujut.

DAFTAR PUSTAKA

- Cardoso, A. H., Graf, W.H. dan Gust, G. (1989). "*Uniform flow in smooth open-channel.*" *J. Hydr. Res.*, IAHR, 27(5), 603–616.
- Coleman, N. L. (1981). "*Velocity profiles with suspended sediment.*" *J. Hydr. Res.*, 19(3), 211–229.
- Kironoto, B. A (1992). "*Turbulence characteristics of uniform and non-uniform, rough open channel flow.*". Doctoral dissertation, No. 1094, Ecole Polytech. Féd., Lausanne, Switzerland.
- Kironoto, B. A. and Graf, W. H. (1994). "*Turbulence characteristics in rough uniform open-channel flow.*", Proc. Inst. Civ. Engrg., 106 (4), UK.
- Kironoto, B.A., Andoyono, T., Yustiana, F, dan Muharis, C., 2004, "*Kajian Metode Pengambilan Sampel Sedimen Suspensi Sebagai Dasar Penentuan Debit Sedimen Pada Saluran Terbuka*", Penelitian Hibah Bersaing XII/1-Th. Anggaran 2004, Lembaga Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nezu, I. and Rodi, W. (1986). "*Open channel flow measurements with a laser Doppler anemometer.*" *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 112(5), 335–355.
- Reynolds, J. A. (1974). *Turbulent flows in engineering.* J. Wiley & s. Ltd., London, Great Britain
- Zainuddin, M., dan Kironoto, BA, 2003, "*Distribusi Sedimen Suspensi Pada Aliran Seragam Dengan dan Tanpa Angkutan Sedimen Dasar*", Journal Teknosains, Jilid 16, No.1, Januari, Berkala Penelitian Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.