

# ANALISIS AKURASI BEBERAPA PERSAMAAN ANGKUTAN SEDIMEN TAK BERDIMENSI TERHADAP PERSAMAAN EINSTEIN (1950)

Junaidi

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang  
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Semarang 50275 Telepon 081325768904  
Email : jun\_tspoli@yahoo.com

## Abstract

*Bottom of the river is always composed of a mixture of sediment in non uniform and the grain size distribution in the phase of the transported sediment is generally smoother than the distribution of basic material due to selective transport. This makes estimates of sediment transport in natural rivers is difficult; although it has provided the basic sediment transport equations are quite a lot, there is still controversy regarding its performance. This paper analyzes the accuracy of the count of the basic sediment transport using a dimensionless transport equations of Julien (2002), Brown (1950), Parker (1979), Engelund et Fredsoe (1976), Graf & Suszka (1987), Meyer-Peter & Mueller (1948), and Recking (2006) compared to Einstein (1950) formula. Methods discrepancy ratio ( $r$ ) is used to demonstrate the suitability of the good (goodness of fit) between the results calculated for comparison. Based on the spread of the data on the graph of a diagonal line (line of perfect agreement) and on the basis of the percentage of data in the range of discrepancy ratio values are given, a matter of sediment transport parameters using the equations of Graf & Suszka give the most close to the matter of using the Einstein equation, compared with six other counts equation.*

**Kata kunci :** persamaan angkutan sedimen tak berdimensi, discrepancy ratio, line of perfect agreement, goodness of fit

## PENDAHULUAN

Dasar sungai selalu tersusun dari campuran sedimen tidak seragam dan distribusi ukuran butir sedimen dalam fase terangkut secara umum lebih halus daripada distribusi material dasar akibat *selective transport* (Almedej, 2002). Hal ini membuat prakiraan angkutan sedimen pada sungai-sungai alamiah menjadi sulit. Gomez dan Church (1989) mengevaluasi beberapa persamaan angkutan sedimen dasar yang dikembangkan untuk aliran dengan dasar kerikil dan menemukan

bahwa tidak satu pun yang memiliki performa yang konsisten secara baik. Sebagian besar cenderung dapat diterapkan secara terbatas pada kondisi alirannya dan kondisi sedimen yang diwakili dalam data dari mana persamaan tersebut diturunkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan suatu perbandingan hasil hitungan angkutan sedimen dasar berdasarkan beberapa persamaan angkutan terhadap persamaan angkutan sedimen tak berdimensi dari Einstein (1950). Persamaan Einstein (1950)

adalah salah satu persamaan angkutan sedimen yang didasarkan pada pendekatan probabilistik yang banyak dikutip dalam buku-buku teks tentang angkutan sedimen dan mekanika sungai alluvial (Graf, 1971; Chang, 1988; Yang, 1996; Chien dan Wan, 1999). Dalam perkembangannya, persamaan Einstein telah dikembangkan lebih lanjut oleh beberapa peneliti untuk menghitung angkutan sedimen, diantaranya adalah Ghani et al (2007) mengembangkan modifikasi persamaan angkutan sedimen dasar Einstein untuk aliran berpasir di Malaysia; Shah-Fairbank et al (2011) mengembangkan perhitungan angkutan sedimen total berdasarkan SEMEP (*The Series Expansion of the Modified Einstein Procedure*) menggunakan pengukuran terintegrasi kedalaman-konsentrasi; dan Holmquist - Johnson et al (2009) mengembangkan BORAMEP (*Bureau of Reclamation Automated Modified Einstein Procedure*), yaitu program untuk perhitungan angkutan sedimen total. Dengan penelitian ini diharapkan akan dapat meningkatkan wawasan dan dapat memberikan masukan pada ilmu pengetahuan menyangkut pemilihan aplikasi persamaan angkutan sedimen di lapangan berdasarkan karakteristik sungai dan tingkat akurasi yang diharapkan dimana proses angkutan sedimen merupakan salah satu fenomena alam yang sangat berpengaruh kaitannya dengan usaha pengelolaan dan pemilihan bangunan kendali sungai.

Untuk menganalisis parameter angkutan sedimen tak berdimensi,

dapat digunakan beberapa pendekatan, diantaranya adalah Einstein (1950), Julien (2002), Brown (1950), Parker (1979), Engelund et Fredsoe (1976), Graf & Suszka (1987), Meyer-Peter & Mueller (1948), dan Recking (2006). Persamaan-persamaannya adalah seperti di bawah ini.

Einstein (1950) :

$$\Phi = \frac{Q_{so} R_b V}{q \left( g d_{50}^3 \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \right)^{0,5}} \quad (1)$$

Julien (2002) :

$$\Phi = \frac{18 * (9,81)^{0,5} * (D)^{1,5} * \theta^2}{(9,81 * (s-1) * D^3)^{0,5}} \quad (2)$$

For  $0,1 < \theta < 1$

Brown (1950) :

$$\Phi = 2,15 * e^{\frac{-0,391}{\theta}} \quad (3)$$

For  $\theta < 0,18$

$$\Phi = 40 * \theta^3$$

For  $0,18 < \theta < 0,52$

Parker (1979) :

$$\Phi = 11,2 * \theta^{1,5} * \left( 1 - \frac{0,03}{\theta} \right)^{4,5} \quad (4)$$

Engelund et Fredsoe (1976) :

$$\Phi = 18,74 * (\theta - 0,05) * (\theta^{0,5} - 0,7 * 0,05^{0,5}) \quad (5)$$

Graf & Suszka (1987) :

$$\Phi = 10,4 * \theta^{1,5} * \left( 1 - \frac{0,045}{\theta} \right)^{2,5} \quad (6)$$

For  $\theta < 0,068$

$$\Phi = 10,4 * \theta^{2,5}$$

For  $\theta > 0,068$

Recking (2006) :

$$\Phi = 14 * \theta^{2,45} \quad (7)$$

MPM (1948) :

$$\Phi = 8 * (\theta - 0,047)^{1,5} \quad (8)$$

dimana  $S_o$  : kemiringan dasar saluran,  $h$  : kedalaman aliran,  $R_b$  : jari-jari hidraulik,  $Q$  : debit aliran,  $V$  : kecepatan aliran,  $u_*$  : kecepatan gesek,

$d_{50}$  : diameter median,  $\tau_*$  : tegangan gesek tak berdimensi,  $q_{s0}$  : debit angkutan sedimen per  $m^3$ ,  $\Phi$  : parameter angkutan sedimen,  $\theta =$  parameter Shield ( $\theta = 1/\Psi$ ) dimana 
$$\Psi = \frac{gd_{50}(\rho_s - \rho)}{\gamma R_b S_o} \quad (9)$$

Metode *discrepancy ratio* ( $r$ ) digunakan untuk menunjukkan kesesuaian yang bagus (*goodness of fit*) antara hasil-hasil terhitung persamaan di atas dengan hasil terhitung dari persamaan Einstein (1950). Nilai *discrepancy ratio* dihitung sebagai berikut (Molinas and Wu, 2001).

$$ri = \frac{C_{tci}}{C_{tmi}} \quad (10)$$

dimana  $ri$  = nilai *discrepancy ratio* data ke  $I$ ,  $C_{tci}$  = hasil hitungan berdasarkan persamaan terbanding, dan  $C_{tmi}$  = hasil hitungan berdasarkan persamaan pembanding. Range nilai  $r$  yang digunakan untuk menguji keakuratan data adalah antara 0,75-1,25; 0,50-1,50; 0,25-1,75; dan 0,50-2,0 (Yang, 2006). Menurut Yang (2006), derajat akurasi data dapat diterima bila jumlah persen data dalam range nilai  $r$  antara 0,5-2,0 lebih besar dari 50%.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan studi eksperimental secara langsung mengenai fenomena angkutan sedimen *bed load* yang terjadi pada *sediment transport flume* di laboratorium. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidrologi dan Hidraulika Pusat Studi Ilmu

Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada. Sumber sedimen *bed load* berasal dari Sungai Krasak Yogyakarta. Dalam mendapatkan data muatan sedimen *bed load* dan gradasi butiran *bed load*, maka dilakukan beberapa variasi kemiringan dasar saluran dan debit aliran. Untuk variasi kemiringan dasar saluran ( $S_o$ ), data yang dipergunakan disesuaikan dengan kondisi pengambilan sampel material yang digunakan, yaitu : material dasar 1 : 0.02, 0.015 dan 0.01; material dasar 2 : 0.005 dan 0.0031; material dasar 3 : 0.0007, 0.0005, 0.0003 dan 0.00015. Untuk masing-masing *slope* dilakukan percobaan dengan variasi debit 5 lt/det sampai dengan 35 lt/det dengan lama waktu percobaan 187 detik sampai 426 detik. Jumlah *running* yang dilakukan sebanyak 40 *running*.

### 1. Persiapan

Material dasar yang dipersiapkan berasal dari Sungai Krasak dalam jumlah yang cukup untuk melakukan percobaan. Sebelum material dasar di isikan kedalam *flume* untuk dilakukan uji aliran, masing-masing material tersebut terlebih dahulu dilakukan analisis gradasi distribusi butiran serta berat jenis (*specific gravity*) sebelum dimasukkan kedalam *flume*. Material yang diujikan di letakkan pada bagian *movable bed* dengan ketebalan lapisan 10 cm. Pada tahap ini peralatan yang harus dipersiapkan meliputi : alat penangkap butiran sedimen beserta kantong kain yang di letakkan di bagian hilir *flume*, anyaman bambu (besek) yang dipergunakan sebagai tempat untuk menjemur material sedimen hasil *running*, *rigid bed* hulu

dan hilir, spons yang diletakkan pada bagian sisi-sisi *rigid bed* terutama pada bagian dinding kaca serta perekat (lakban).

## 2. Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat dilakukan terutama pada alat ukur debit, dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara pembacaan debit pada alat dengan debit yang sesungguhnya atau debit terukur. Dengan dilakukannya kalibrasi, diharapkan hasil pembacaan akan diperoleh data-data yang akurat serta diharapkan dapat mendukung pelaksanaan analisis terhadap hasil penelitian sehingga diperoleh hasil yang optimal.

## 3. Uji Aliran

Uji aliran dimaksudkan untuk menentukan aliran yang memiliki angka Froude kurang dari 1, sehingga dibutuhkan keseimbangan antara besarnya debit aliran dan ketinggian muka air. Pada tahap uji aliran ini juga dimaksudkan untuk menentukan lamanya aliran berkaitan dengan banyak sedikitnya material yang mampu tertampung kedalam alat penangkap sedimen berdasarkan kemiringan dan debit tertentu. Berdasarkan uji aliran akan diperoleh suatu kesimpulan dimana untuk kemiringan yang lebih curam, debit yang lebih besar dibutuhkan waktu yang lebih sedikit dibandingkan dengan debit yang kecil. Untuk kondisi hilir waktu yang diperlukan relatif lebih lama. Lama waktu yang digunakan dalam penelitian ini kurang lebih antara 1 – 7 menit.

## 4. Cara Pengambilan Sampel

a) Sampel material dasar

Material dasar yang dimaksudkan adalah material yang digunakan dalam pengujian aliran, dimana material dasar tersebut divariasikan menjadi tiga macam dan dibedakan berdasarkan nilai  $d_{50}$ . Pengambilan sampel material dasar tersebut dilakukan sebelum disebar ke dalam *flume* dan dilakukan secara random untuk beberapa sampel (2 sampel). Sampel tersebut selanjutnya ditimbang dengan berat 2000 gram dan dilakukan analisa saringan untuk masing-masing material dasar dan hasilnya dirata-ratakan untuk menetapkan gradasi butirannya.

b) Sampel material terangkut

Pengambilan sampel material terangkut dilakukan setelah satu *running* percobaan selesai dilakukan. Material yang terangkut selama proses *running* akan tertampung pada alat penangkap sedimen di bagian hilir *flume* yang dilengkapi dengan kain mori, dan apabila percobaan telah selesai dilakukan kain tersebut dikeluarkan dari alat untuk segera dipindahkan ke dalam besek. Sisa-sisa material terangkut yang masih terdapat pada kain mori dikeluarkan dengan cara pencucian dengan menggunakan bak penampungan guna memisahkan atau mengendapkan butiran sedimen tersebut sehingga mudah untuk dipindahkan ke dalam besek. Setelah semua material terangkut untuk satu proses *running* dipindahkan ke dalam besek, segera dilakukan pengeringan dengan dijemur di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air yang masih terlalu besar, baru kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven. Setelah kering

material terangkut diangin-anginkan sebentar baru kemudian dilakukan analisis gradasi butiran.

### 5. Parameter yang Diukur

Berbagai parameter yang harus diukur antara lain, kemiringan dasar saluran, debit aliran, kedalaman muka air, lama waktu aliran, jumlah angkutan *bed load* selama *running*, distribusi gradasi material angkutan *bed load*, dan suhu aliran pada saat *running*.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji aliran dan analisis angkutan sedimen untuk masing-masing variasi kemiringan dan debit diperoleh parameter aliran dan angkutan sedimen untuk masing-masing butiran seperti pada Tabel 1. Dari hasil uji aliran dapat dilihat aliran

yang terjadi adalah aliran subkritik ( $Fr < 1$ ). Pemilihan data untuk analisa pada Tabel 1 didasarkan kepada nilai kemiringan/slope ( $S_0$ ) dan diameter referensi butiran ( $d_{50}$ ). Berdasarkan persamaan-persamaan yang digunakan dan batas-batas yang dipersyaratkan, maka hitungan dilakukan terhadap sampel sedimen Krasak 2 (10 sampel). Angkutan sedimen data terolah berdasarkan parameter angkutan dari Einstein digunakan sebagai pembandingan terhadap beberapa persamaan angkutan sedimen tak berdimensi dari Julien (2002), Brown (1950), Parker (1979), Engelund et Fredsoe (1976), Graf & Suszka (1987), Meyer-Peter & Mueller (1947), dan Recking (2006). Hasil hitungannya adalah seperti Tabel 2 di bawah.

Tabel 1. Parameter utama aliran dan angkutan sedimen

Running	h	S <sub>0</sub>	d <sub>50</sub>	Q <sub>n</sub>	τ*	Ψ	q <sub>S0</sub>	Φ
	m			m <sup>3</sup> /dt	N/m <sup>2</sup>		m <sup>3</sup> /det/m	
KRASAK 2								
k2s1q1	0.045	0.005	0.815986	0.013458	0.157566	6.346555	6.92E-06	0.070018
k2s1q2	0.05	0.005	0.783945	0.016317	0.180994	5.525042	1.61E-05	0.171664
k2s1q3	0.055	0.005	0.691257	0.018223	0.2255	4.434585	2.38E-05	0.306295
k2s1q4	0.062	0.005	0.677808	0.022988	0.256523	3.898278	1.23E-05	0.161166
k2s1q5	0.07	0.005	0.784714	0.024894	0.251203	3.98084	4.75E-05	0.502432
k2s2q1	0.055	0.0031	0.763507	0.015364	0.125475	7.969733	2.87E-06	0.031558
k2s2q2	0.065	0.0031	0.778125	0.019176	0.144679	6.911854	8.18E-06	0.086888
k2s2q3	0.072	0.0031	0.821112	0.022988	0.150483	6.645255	1.47E-05	0.142632
k2s2q4	0.079	0.0031	0.70416	0.025847	0.191944	5.209866	2.66E-05	0.323545
k2s2q5	0.083	0.0031	0.793509	0.027753	0.178445	5.603976	2.24E-05	0.227968

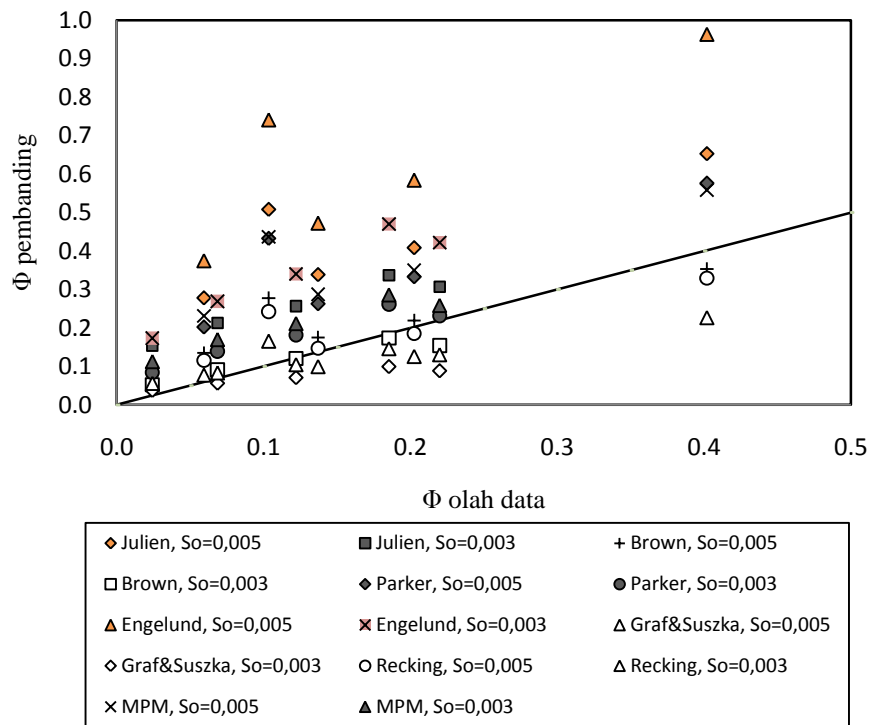
(Sumber : Junaidi, 2008)

dimana kode  $k_i s_i q_i$  adalah k : Krasak , s : slope data ke i, q : debit aliran,  $S_0$  : kemiringan dasar saluran, h : kedalaman aliran, R<sub>b</sub> : jari-jari hidraulik, Q : debit aliran, V : kecepatan aliran,  $u_*$  : kecepatan gesek,

$d_{50}$  : diameter median, τ : tegangan gesek, τ\* : tegangan gesek tak berdimensi,  $q_{s0}$  : debit angkutan sedimen per m<sup>2</sup>, Φ : parameter angkutan sedimen.

Tabel 2. Perbandingan hasil hitungan  $\Phi$  beberapa peneliti terhadap  $\Phi$  Einstein

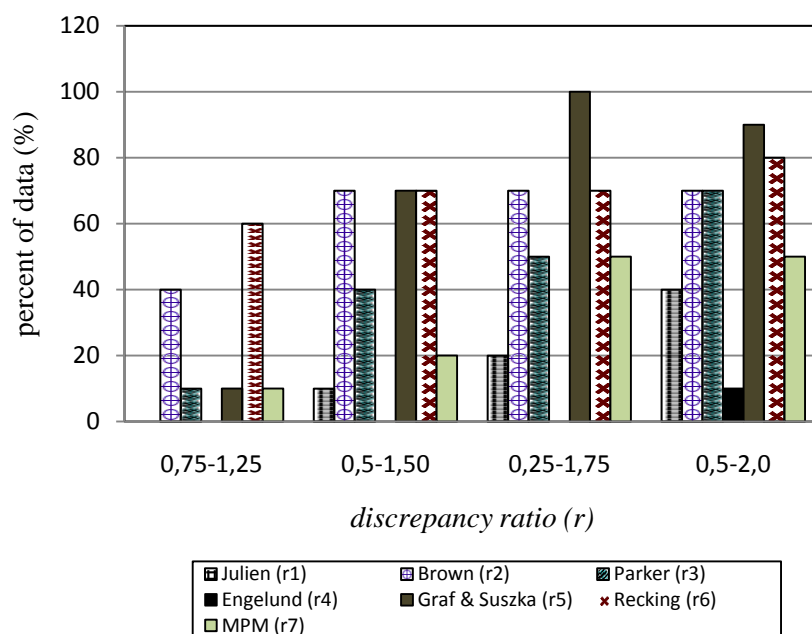
Olah data (Einstein)		Julien		Brown		Parker		Engelund		Graf&Suszka		Recking		MPM	
Running	$\Phi_{en}$	$\Phi_j$	rasio	$\Phi_b$	rasio	$\Phi_p$	rasio	$\Phi_{eg}$	rasio	$\Phi_{gs}$	rasio	$\Phi_r$	rasio	$\Phi_{mpm}$	rasio
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Krasak 2</b>															
K2S1Q1	0,059	0,278	4,677	0,135	2,271	0,203	3,416	0,375	6,309	0,078	1,312	0,116	1,948	0,231	3,895
K2S1Q2	0,137	0,338	2,467	0,175	1,275	0,263	1,920	0,473	3,446	0,100	0,727	0,147	1,074	0,287	2,095
K2S1Q3	0,203	0,408	2,016	0,219	1,081	0,333	1,646	0,584	2,884	0,126	0,623	0,185	0,915	0,350	1,728
K2S1Q4	0,104	0,508	4,909	0,277	2,681	0,433	4,185	0,741	7,158	0,166	1,601	0,242	2,341	0,437	4,222
K2S1Q5	0,402	0,653	1,625	0,353	0,879	0,577	1,435	0,963	2,397	0,227	0,564	0,330	0,820	0,558	1,389
K2S2Q1	0,024	0,154	6,366	0,052	2,159	0,084	3,484	0,174	7,168	0,037	1,541	0,056	2,322	0,112	4,638
K2S2Q2	0,069	0,213	3,103	0,091	1,326	0,139	2,031	0,269	3,923	0,056	0,815	0,084	1,217	0,170	2,473
K2S2Q3	0,122	0,257	2,101	0,121	0,987	0,182	1,490	0,340	2,786	0,071	0,578	0,105	0,859	0,211	1,731
K2S2Q4	0,220	0,307	1,395	0,154	0,702	0,232	1,054	0,422	1,918	0,088	0,401	0,131	0,594	0,258	1,175
K2S2Q5	0,185	0,337	1,817	0,174	0,938	0,262	1,412	0,470	2,536	0,099	0,535	0,147	0,790	0,286	1,542



Gambar 1. Grafik hubungan antara parameter angkutan ( $\Phi$ ) beberapa peneliti dengan parameter angkutan sedimen ( $\Phi$ ) (Einstein)

Tabel 3. *Discrepancy ratio* parameter angkutan ( $\Phi$ ) beberapa peneliti terhadap parameter angkutan ( $\Phi$ ) (Einstein)

Kode	Discrepancy ratio (%)							Jumlah data
	Max	Mean	Min	0,75-1,25	0,5-1,50	0,25-1,75	0,5-2,0	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Julien (r1)	6,366	3,048	1,395	0	10	20	40	10
Brown (r2)	2,681	1,430	0,702	40	70	70	70	10
Parker (r3)	4,185	2,207	1,054	10	40	50	70	10
Engelund (r4)	7,168	4,052	1,918	0	0	0	10	10
Graf&Suszka (r5)	1,601	0,870	0,401	10	70	100	90	10
Recking (r6)	2,341	1,288	0,594	60	70	70	80	10
MPM (r7)	4,638	2,489	1,175	10	20	50	50	10



Gambar 2. *Discrepancy ratio (r)* parameter angkutan  $\Phi$

Ploting data-data dari Tabel 2 untuk kemiringan 0,003 dan 0,005 adalah seperti pada Gambar 1. Pada Gambar 1 tampak bahwa penyebaran titik-titik data cukup variatif di sekitar garis diagonal. Berdasarkan Tabel 3 yang diplot pada Gambar 2 untuk nilai *discrepancy ratio (r)*, penyebaran data Julien mempunyai nilai rerata 3,048; nilai minimum 1,395; dan nilai maksimum 6,366. Pada data Brown, penyebaran data memiliki nilai rerata 1,430; nilai minimum 0,702; dan nilai maksimum 2,681. Sedangkan pada data Parker, penyebaran data memiliki nilai rerata 2,207; nilai minimum 1,054; dan nilai maksimum 4,285. Pada data Engelund and Fredsoe, penyebaran data memiliki nilai 4,052; nilai minimum 1,918; dan nilai maksimum 7,168. Pada data Graf & Suszka, penyebaran data memiliki nilai rerata 0,870; nilai minimum 0,401; dan nilai maksimum 1,601. Pada data

hitungan Recking, penyebaran data memiliki nilai rerata 1,288; nilai minimum 0,594; dan nilai maksimum 2,341. Sementara itu pada data hitungan MPM, penyebaran data memiliki nilai rerata 2,489; nilai minimum 1,175; dan nilai maksimum 4,638.

Dari nilai sebaran data di tersebut tampak bahwa data hitungan Graf & Suszka memiliki nilai *discrepancy ratio* yang paling baik; disusul kemudian data hitungan Recking, Brown, Parker, MPM, Julien, dan Engelund and Fredsoe. Demikian juga bila dilihat dari prosentase data pada beberapa rentang nilai *discrepancy ratio*, data hitungan Graf & Suszka memperlihatkan hasil yang memuaskan dengan nilai 100% pada rentang 1,25 – 1,75; nilai 90 % pada rentang 0,5 – 2,0; nilai 70 % pada rentang 0,5 – 1,5; dan nilai 10 % pada rentan 0,75 – 1,25. Disusul kemudian

data-data hitungan dari Recking, Brown, Parker, MPM, Julien, dan Engelund and Hansen.

Berdasarkan penyebaran data-data pada grafik terhadap garis diagonal (*line of perfect agreement*) maupun berdasarkan besarnya prosentase data pada rentang nilai *discrepancy ratio* yang diberikan, tampak bahwa hitungan parameter angkutan sedimen dengan menggunakan persamaan dari Graf & Suszka memberikan hasil yang paling mendekati hitungan pada olah data yang menggunakan persamaan Einstein, dibandingkan dengan keenam persamaan hitungan lainnya.

#### **SIMPULAN**

Berdasarkan penyebaran data-data pada grafik terhadap garis diagonal (*line of perfect agreement*) maupun berdasarkan besarnya prosentase data pada rentang nilai *discrepancy ratio* yang diberikan, tampak bahwa hitungan parameter angkutan sedimen dengan menggunakan persamaan dari Graf & Suszka memberikan hasil yang paling mendekati hitungan pada olah data yang menggunakan persamaan Einstein, dibandingkan dengan keenam persamaan hitungan lainnya.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Tulisan ini diolah dari data sebagian laporan tesis penulis di Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM (Junaidi, 2008). Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Bambang Agus Kironoto dan Dr. Ir. Bambang Yulistiyanto yang telah

memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian tesis penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada redaksi dan reviewer jurnal ini yang telah memberikan koreksi dan masukan bagi penyempurnaan tulisan ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Almedeij, J.H., 2002, *Bedload Transport in Gravel Bed-Stream Under a Wide Range of Shields Stress*, Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia
- Brown, C.B., 1950, *Sediment Transportation in Engineering Hydraulics*, H.Rouse, New York, Wiley, pp. 769-857
- Chang, H.H., 1988, *Fluvial Processes in River Engineering*, John Willey and Sons, New York, NY
- Chien, N., and Einstein, H.A., 1955, *Effect of Heavy Sediment Concentration Near the Bed on Velocity and Sediment Distribution*, M.R.D. Sediment Series No.8, University of California, Berkeley
- Chien, N. and Wan, Z., 1999, *Mechanics of Sediment Transport*, American Society of Civil Engineers, Reston, Va
- Einstein, H.A., 1950, *The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows*, USDA Soil Conservation Service, Washington DC

- Engelund, F., et J. Fredsoe, 1976, *A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channel*, Nord. Hydrol., 7, 293-306
- Ghani, A.A. et al., (2007), *Development of Modified Einstein Bedload Equation for Sandy Stream in Malaysia*, 2<sup>nd</sup> International Conference on Managing Rivers in the 21<sup>st</sup> Century : Solutions Towards Sustainable River Basins, June 6-8 2007, Sarawak, Malaysia
- Gomez, B., and M. Church (1989), *An assessment of bedload sediment transport formulae for gravel bed rivers*, Water Resour. Res., 25, 1161–1186
- Graf, W.H., 1971, *Hydraulics of Sediment Transport*, McGraw-Hill Book Co.
- Graf, W.H., et L. Suszka, 1987, *Sediment Transport in Steep Channel*, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, 5, 1, 11-26
- Holmquist-Johnson, C.L., and Raff, D., 2009, *Bureau of Reclamation Automated Modified Einstein Procedure (BORAMEP) Program for Computing Total Sediment Load*, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado
- Julien, P.Y., 2002, *River Mechanics*, Cambridge University Press
- Junaidi, 2008, *Aspek Ketidakseragaman Butiran Pada Angkutan Sedimen Dasar*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM Yogyakarta
- Meyer-Peter, E., et R-Muller, 1948, *Formula for Bed-Load Transport*, Pages 39-64 in IAHSR, Stockholm
- Molinas, A., Wu, B., 2001, *Transport of Sediment in Large Sand-Bed Rivers*, Journal of Hydraulic Research, Vol. 39, 2001, No. 2
- Parker, G., 1979, *Hydraulic Geometry of Active Gravel Rivers*, Journal of Hydraulic Engineering, 105, 9, 1185-1201
- Recking, A., 2006, *An Experimental Study of Grain Sorting Effects on Bedload*, PhD Thesis, Desember 13, 2006, Institut National Des Sciences Appliquees De Lyon
- Shah-Fairbank, S.C., et al., (2011), *Total Sediment Load from SEMEP Using Depth - Integrated Concentration Measurements*, Journal of Hydraulic Engineering, pp : 1606-1614, Vol. 137, No. 12, December 1, 2011
- Yang, C.T., 2006, *Erosion and Sedimentation Manual, Chapter 3 : Noncohesive Sediment Transport*, Biro of Reclamation's Sedimentation and River Hydraulics Group, Denver, Colorado