

KAJIAN ANGKUTAN SEDIMEN DASAR PENDEKATAN LAJU ANGKUTAN SEDIMEN TAK BERDIMENSI 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

Rivers are the best sites to observe the natural effects of sediment transport. Phenomenon of sediment transport in the flow was much scrutinized by experts and some sediment transport equations have been developed. But the performance of these equations is still controversial. Gomez and Church (1989) evaluated a number of sediment transport equations were developed for flows with a gravel base and find that none who have a good consistent performance. This paper examined the sediment transport with a case study on Krasak river in Yogyakarta. This paper intended to test the accuracy of the count by using a dimensionless sediment transport equations of Einstein (1950) on sediment transport measurements. Based on the relationship between the flow parameters (Ψ) and the transport parameter (Φ) of this study compared to the graph of Einstein (1950), it appeared that some of the research data plot was fairly spread. In the plot of data with $\sigma = 2.00$ to 4.00 , the trend of the data deviated far enough above the curve of Einstein. In the plot of data with $\sigma = 1.35$ to 2.00 and $\sigma = 4.00$ to 5.00 ; trends in the data were slightly above the curve of Einstein. While the data with $\sigma = 1.06$ to 1.35 trends to follow the curve of Einstein. This last data has a coefficient σ closed to uniform.

Kata kunci : persamaan angkutan sedimen tak berdimensi, parameter angkutan, parameter aliran, grafik Einstein

PENDAHULUAN

Sungai adalah lokasi yang paling baik untuk mengamati pengaruh alamiah dari angkutan sedimen. Sungai memperlihatkan variasi yang besar dalam morfologinya dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Pada beberapa lokasi, variasi pada komposisi sedimen memanjang dan melintang sungai dapat berupa pasir halus, pasir kasar, kerikil, maupun batuan. Hal ini menunjukkan bahwa proses angkutan sedimen bergantung pada gradasi, yang meliputi variasi ukuran, kepadatan, bentuk, dan

kebulatan butiran. Ukuran butiran dan variasi gradasi tidak hanya penting bagi perkembangan morfologi sungai secara alamiah, tetapi mempunyai pengaruh yang besar dalam perancangan bangunan sungai.

Persamaan angkutan sedimen dasar pertama kali dipelajari oleh Du Boys (Graf, 1984) pada tahun 1879. Du Boys menganggap bahwa akibat tegangan geser, material sedimen dasar bergerak dalam bentuk lapis per lapis (*series of layers*) sejajar dengan dasar saluran, dimana kecepatan untuk

masing-masing lapis bervariasi, dengan kecepatan maksimum diasumsikan terjadi pada lapisan paling atas, yaitu pada permukaan dasar, dan kecepatan minimum (nol) terjadi pada lapisan paling bawah, yang berada pada kedalaman tertentu di bawah dasar. Kemudian dari sini bermunculan rumus-rumus lain untuk memperkirakan angkutan sedimen dasar, seperti Gilbert (1914), Schoklistch (1950), dan lainnya.

Perkiraan angkutan sedimen dasar dalam aliran adalah pekerjaan yang sulit. Meskipun telah tersedia persamaan angkutan sedimen dasar yang cukup banyak, namun masih ada kontroversi menyangkut performanya (Gomez dan Church, 1989). Gomez dan Church (1989) mengevaluasi beberapa persamaan angkutan sedimen dasar yang dikembangkan untuk aliran dengan dasar kerikil dan menemukan bahwa tidak satupun yang memiliki performa yang konsisten secara baik. Sebagian besar cenderung dapat diterapkan secara terbatas pada kondisi alirannya dan kondisi sedimen yang diwakili dalam data darimana persamaan tersebut diturunkan.

Bathrust (1987) mengembangkan teori Schoklitsch melalui modifikasi memasukkan parameter distribusi ukuran butir tidak seragam. Bathrust dkk. menguji beberapa persamaan debit sedimen dengan menggunakan data angkutan dasar dari model saluran (*flume*) untuk material dasar dengan distribusi ukuran butir seragam dan mendapatkan bahwa persamaan Schoklitsch memberikan gambaran yang paling baik, terutama

untuk debit angkutan dasar yang tinggi. Pada debit-debit angkutan dasar rendah, persamaan memberikan kecenderungan perkiraan terlalu besar bila dibandingkan dengan debit angkutan dasar yang terukur. Selanjutnya Inspasihardjo (1992) dengan menggunakan data lapangan mencoba untuk memasukkan parameter distribusi ukuran butir ke dalam persamaan angkutan sedimen untuk butiran tidak seragam.

Penelitian ini mengkaji angkutan sedimen dasar pada sungai vulkanik dengan studi kasus pada sungai Krasak di Yogyakarta. Penelitian ini bermaksud menguji akurasi hasil hitungan angkutan sedimen dengan menggunakan persamaan angkutan sedimen tak berdimensi dari Einstein (1950) (Hans Albert Einstein, anak dari Albert Einstein) pada angkutan sedimen hasil pengukuran. Pemilihan persamaan dari Einstein (1950) sebagai pembanding karena menurut Chien (1955), persamaan dari Einstein (1950) dianggap merupakan persamaan yang paling komplis bila dibandingkan dengan persamaan-persamaan lainnya.

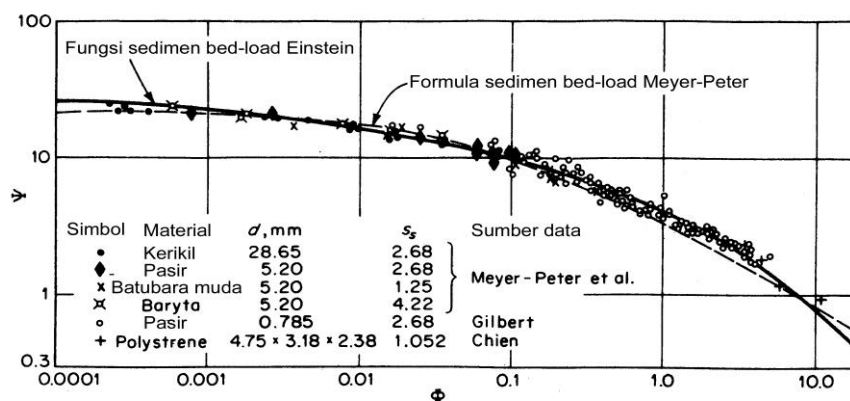
Einstein (1950) mengusulkan suatu pendekatan parameter laju angkutan tak berdimensi berupa parameter aliran dan parameter angkutan sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{Q_{s0} R_b V}{q \left(g d_{50}^3 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \right)^{0,5}} \quad (1)$$

$$\Psi = \frac{1}{\tau_*} = \frac{g d_{50} (\rho_s - \rho)}{\gamma R_b S_0} \quad (2)$$

dimana S_o : kemiringan dasar saluran, R_b : jari-jari hidraulik, Q : debit aliran, V : kecepatan aliran, d_{50} : diameter median, τ_* : tegangan gesek tak berdimensi, q_{s0} : debit angkutan sedimen per m' , Ψ : parameter intensitas aliran, Φ : parameter angkutan sedimen. Secara grafis, persamaan di atas untuk beberapa data penelitian dapat ditunjukkan dalam Gambar 1 di bawah.

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan wawasan dan dapat memberikan masukan pada ilmu pengetahuan dimana proses angkutan sedimen merupakan salah satu fenomena alam yang sangat penting kaitannya dengan usaha pengelolaan sungai. Variasi pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi parameter ketidakseragaman butiran, debit aliran, serta besarnya kemiringan dasar saluran.



(Sumber, Kironoto, 2001)

Gambar 1 Grafik Einstein (1950) hubungan antara Ψ dan Φ

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan studi eksperimental secara langsung mengenai fenomena angkutan sedimen *bed load* yang terjadi pada *sediment transport flume* di laboratorium. Untuk mendapatkan data muatan sedimen *bed load* dan gradasi butiran *bed load*, maka dilakukan beberapa variasi kemiringan dasar saluran dan variasi debit aliran. Untuk variasi kemiringan dasar saluran data yang dipergunakan disesuaikan dengan kondisi pengambilan sampel material yang dipergunakan, 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 kemiringan dasar, 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*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Hidrologi dan Hidraulika Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada. Alat-alat yang digunakan berupa **Sediment transport flume** dengan dimensi panjang = 10 meter, lebar = 0.6 meter dan tinggi = 0.8 meter. Dinding *flume* tembus pandang yang terbuat dari kaca yang di letakkan pada struktur rangka kaku dan dasar *flume* yang terbuat dari *stainless steel*.

Pada penelitian ini lintasan yang digunakan adalah sistem terbuka dengan maksud akan lebih mempermudah penempatan alat penangkap sedimen agar mudah terapung. Sistem pompa sekunder dipilih dengan pertimbangan bahwa sirkulasi aliran yang dipergunakan dalam tiap kali pengambilan data dilakukan dengan aliran sedimen yang kontinyu.

Bahan yang Dipergunakan dalam Penelitian

Bahan utama yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam, yaitu air dan material sedimen alami. Air yang digunakan adalah air yang jernih dan tidak mengandung beban sedimen. Air berfungsi sebagai bahan simulasi yang akan memicu terjadinya angkutan sedimen. Sedangkan material yang digunakan adalah material alam yang diperoleh dari Sungai Krasak dengan tiga variasi material, yaitu material dasar 1 dengan $d_{50} = 10,2$ mm, material dasar 2

dengan $d_{50} = 0,9$ mm dan material dasar 3 dengan $d_{50} = 0,7$ mm.

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis parameter utama aliran dan parameter angkutan sedimen dalam penelitian ini menggunakan pendekatan parameter laju angkutan tak berdimensi sebagaimana didefinisikan oleh Einstein (1950) dan parameter tegangan geser tak berdimensi (parameter Shields) seperti pada persamaan (1) sampai persamaan (2) di atas.

Analisis pada penelitian ini juga menggunakan beberapa data sekunder dari hasil penelitian-penelitian terdahulu sehingga dapat diperoleh range data yang lebih bervariasi dengan nilai parameter-parameter hitungan yang lebih luas. Pemilihan data sekunder berdasarkan kepada nilai kemiringan/slope (S_o), diameter referensi butiran (d_{50}) dan koefisien ketidakseragaman/ parameter gradasi butiran (σ).

Hasil penelitian yang digunakan sebagai data sekunder antara lain data lapangan dari Bardan (1997), Lukito (1997), Kironoto (2001), Suszka (1988); data dari hasil penelitian Gilbert (1914), Casey (1935), dan USWES (1935). Kemudian data dari Recking (2006), Bogardi (1939), Cao (1985), Casey (1935), Gilbert (1914), Graf & Suszka (1987), Mavis (1937), dan MPM (1948), serta data dari Brownlie (1981).

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen dasar untuk data penelitian ini dan data sekunder kemudian dilakukan penggambaran grafik hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ berdasarkan nilai koefisien ketidakseragaman σ .

Parameter utama aliran dan angkutan sedimen dalam penelitian ini

ditunjukkan pada Tabel 1. Beberapa parameter tambahan yang dibutuhkan untuk kajian angkutan sedimen juga diberikan pada tabel tersebut, baik untuk material dasar Krasak 1, Krasak 2 maupun Krasak 3. Berdasarkan perolehan data pada tabel tersebut, kemudian digambarkan grafik hubungan antara parameter-parameter yang ada.

Tabel 1. Parameter utama aliran dan angkutan sedimen

Running	h	S0	d50	Qn	τ^*	Ψ	qS0	Φ
	m			m ³ /dt	N/m ²		m ³ /det/m	
KRASAK 1								
k1s1q1	0.025	0.01	0.88375	0.008693	0.163702	6.108678	2.72E-05	0.247734
k1s1q2	0.04	0.01	0.778492	0.010599	0.300668	3.325928	1.36E-05	0.151395
k1s1q3	0.05	0.01	1.782239	0.015364	0.163268	6.124894	6.8E-05	0.217034
k1s1q4	0.055	0.01	0.981888	0.01727	0.325688	3.070423	2.84E-05	0.221209
k1s1q5	0.07	0.01	1.509052	0.0268	0.267034	3.74484	6.25E-05	0.253314
k1s2q1	0.03	0.015	1.668465	0.006787	0.159348	6.275564	5.5E-06	0.019688
k1s2q2	0.035	0.015	1.20944	0.011552	0.254068	3.935953	9.82E-06	0.05639
k1s2q3	0.05	0.015	1.802622	0.018223	0.242666	4.120888	3.45E-05	0.108511
k1s2q4	0.055	0.015	1.853936	0.022035	0.258537	3.867913	7.94E-05	0.238601
k1s2q5	0.062	0.015	2.587638	0.025847	0.208428	4.797816	5.63E-05	0.102325
k1s3q1	0.023	0.02	1.610499	0.006787	0.168399	5.938264	8.35E-06	0.031433
k1s3q2	0.034	0.02	1.393403	0.008693	0.288525	3.465905	1.68E-05	0.078841
k1s3q3	0.045	0.02	1.494322	0.014411	0.354425	2.821472	3.25E-05	0.136515
k1s3q4	0.051	0.02	3.516148	0.020129	0.169684	5.893292	7.77E-05	0.090017
k1s3q5	0.06	0.02	4.836053	0.025847	0.144686	6.91151	0.000143	0.102183
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
KRASAK 3								
k3s1q1	0.076	0.0007	0.64622	0.019176	0.039473	25.33386	3.75E-06	0.045986
k3s1q2	0.082	0.0007	0.746549	0.022035	0.036287	27.55841	3.24E-06	0.03134

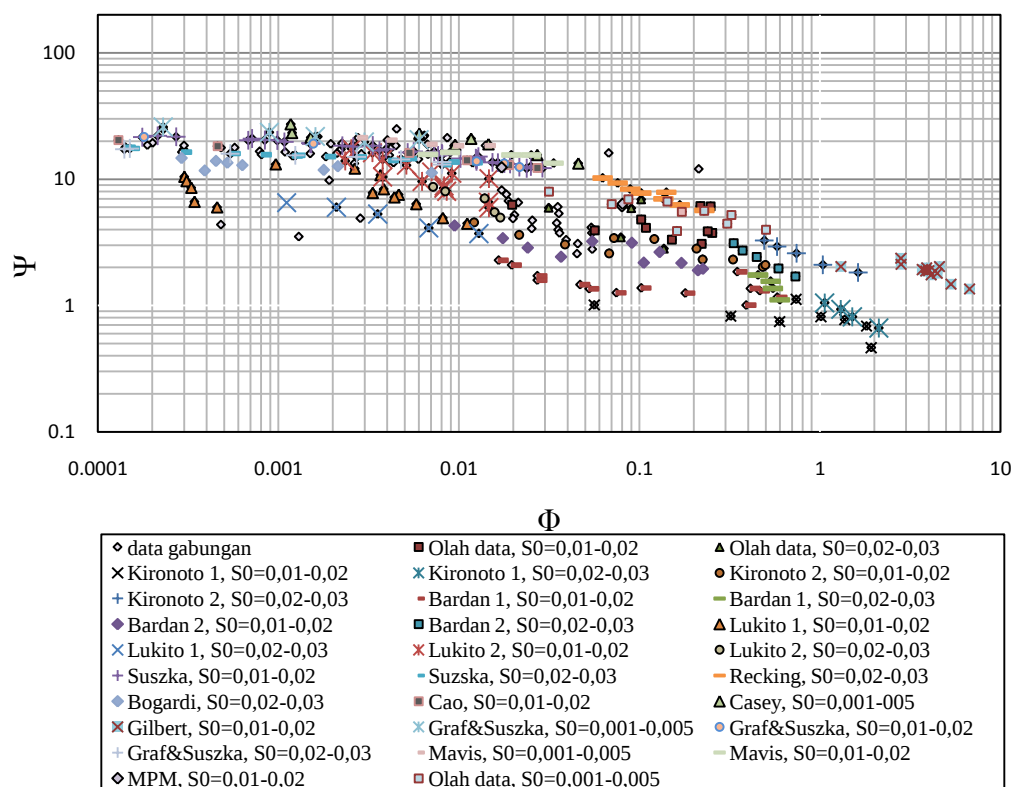
k3s1q3	0.095	0.0007	0.80681	0.027753	0.037619	26.58221	7.7E-06	0.063918
k3s1q4	0.102	0.0007	0.743014	0.030612	0.043095	23.20436	8.12E-06	0.075314
k3s1q5	0.11	0.0007	0.928183	0.034424	0.036478	27.41393	1.08E-05	0.070021
k3s2q1	0.082	0.0005	0.586897	0.019176	0.03297	30.33095	3.2E-06	0.043522
k3s2q2	0.09	0.0005	0.760335	0.022035	0.027359	36.55122	3.6E-06	0.032558
k3s2q3	0.097	0.0005	0.781374	0.027753	0.028187	35.47744	6.29E-06	0.050071
k3s2q4	0.105	0.0005	0.83144	0.030612	0.028108	35.57714	6.74E-06	0.048304
k3s2q5	0.11	0.0005	0.753755	0.034424	0.032085	31.16706	8.74E-06	0.068915
k3s3q1	0.081	0.0003	0.599055	0.019176	0.019194	52.09907	1.55E-06	0.017211
k3s3q2	0.087	0.0003	0.705481	0.022035	0.017235	58.023	2.37E-06	0.019441
k3s3q3	0.1	0.0003	0.764803	0.027753	0.017679	56.56308	4.57E-06	0.030142
k3s3q4	0.105	0.0003	0.73066	0.030612	0.019191	52.108	5.73E-06	0.037975
k3s4q1	0.083	0.00015	0.505927	0.019176	0.011583	86.32997	1.47E-06	0.013026
k3s4q2	0.087	0.00015	0.674726	0.022035	0.00901	110.9872	1.58E-06	0.007107
k3s4q3	0.097	0.00015	0.708974	0.027753	0.00932	107.3007	6.2E-06	0.014422
k3s4q4	0.105	0.00015	0.761407	0.030612	0.009208	108.6015	7.25E-06	0.013076
k3s4q5	0.11	0.00015	0.750455	0.035377	0.009668	103.4354	6.79E-06	0.001125

dimana kode $k_i s_i q_i$ adalah k : Krasak , s : slope data ke i , q : debit aliran, 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, τ : tegangan gesek, τ_* : tegangan gesek tak berdimensi, Re_* : angka Reynolds butiran, q_{s0} : debit angkutan sedimen per m^2 , Ψ : parameter intensitas aliran, Φ : parameter angkutan sedimen.

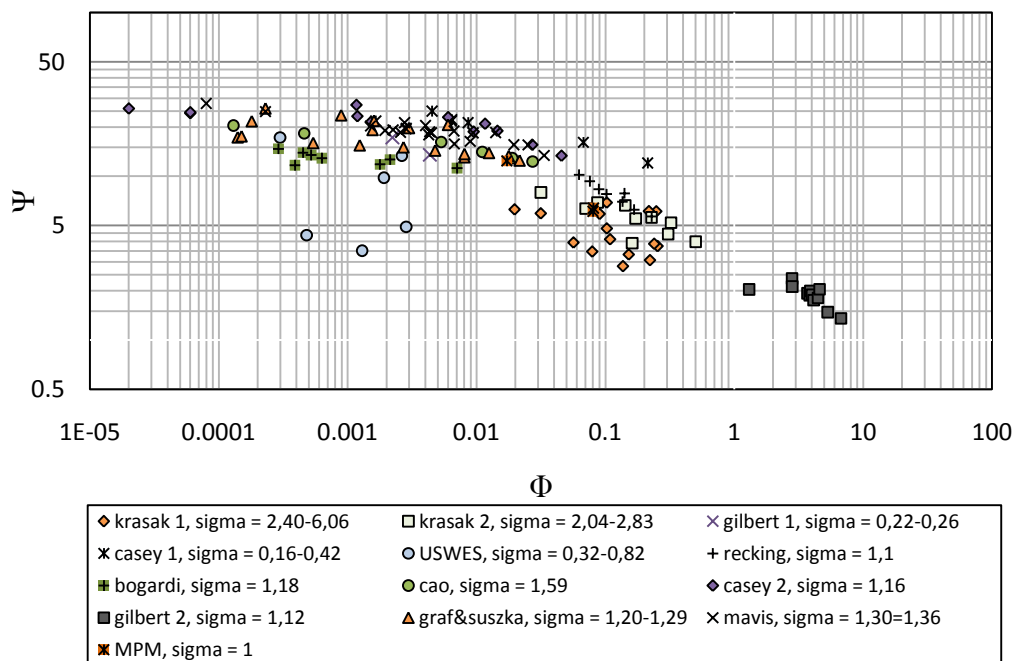
Profil sebaran data untuk penelitian ini dan data-data sekunder di atas dapat ditampilkan seperti Gambar 3. Dari data-data tersebut kemudian dicari hubungan antara parameter angkutan dan parameter aliran

berdasarkan faktor ketidakseragaman butiran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, 5, 6 dan Gambar 7.

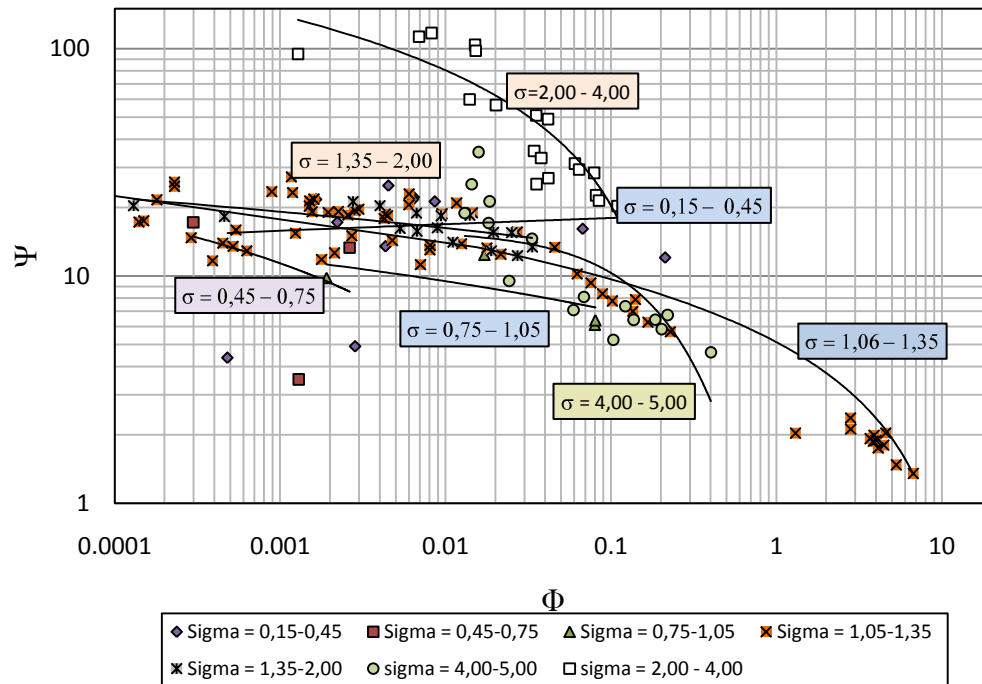
Pada Gambar 4, 5, 6 dan 7 tampak bahwa semakin tinggi ketidakseragaman butiran (ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai σ), maka tren penyebaran data semakin naik (nilai parameter aliran Ψ) semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa pada material tidak seragam untuk menggerakkan butiran dengan ketidakseragaman yang makin tinggi akan dibutuhkan daya aliran yang makin besar. Data-data dengan $\sigma < 1$ (material seragam) berada di bawah garis plotting data dengan $\sigma = 1,06 - 1,35$.



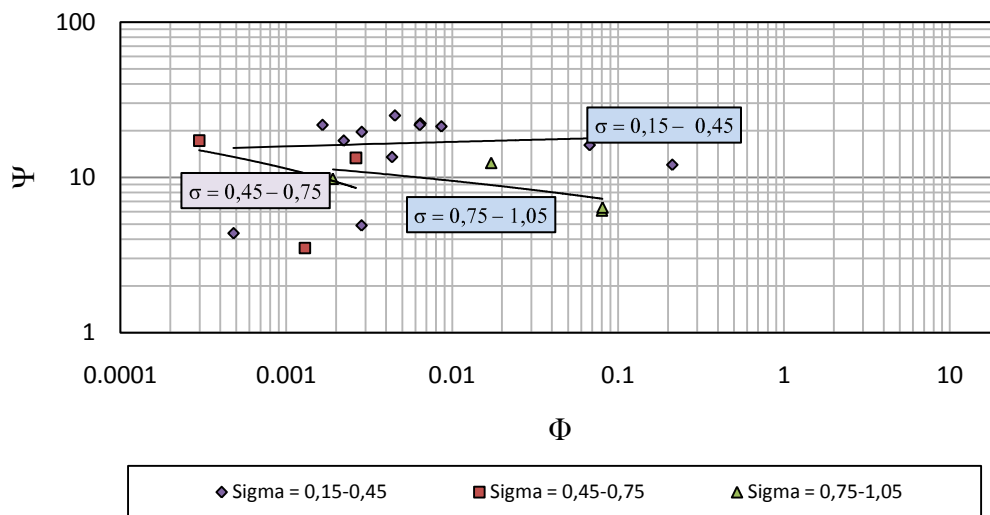
Gambar 3. Profil sebaran data hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ untuk beberapa data penelitian



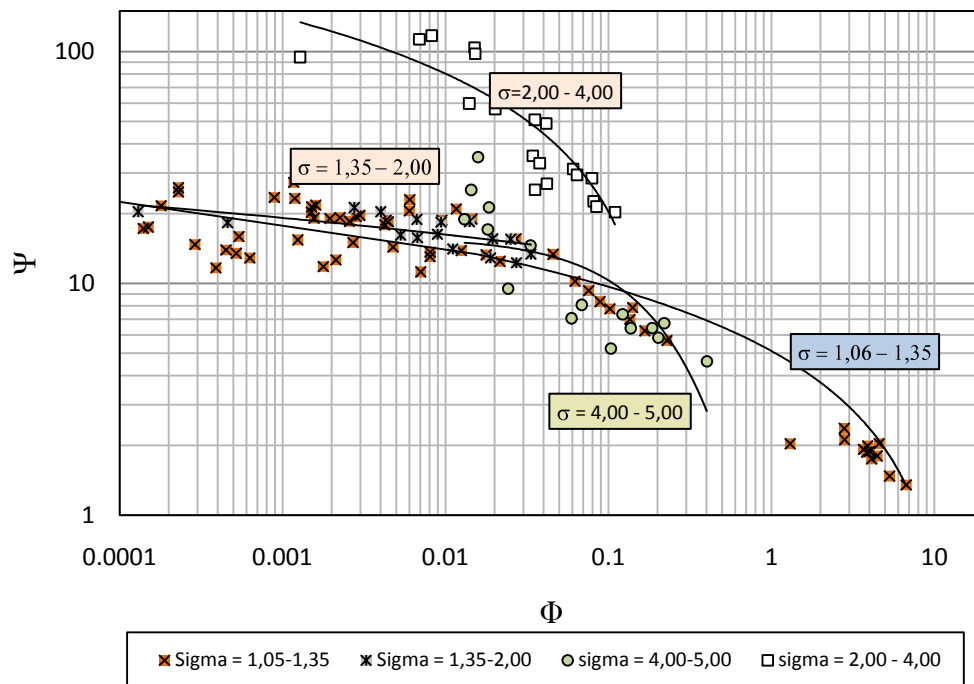
Gambar 4. Profil sebaran data hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ berdasarkan parameter ketidakseragaman σ



Gambar 5. Grafik hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ berdasarkan parameter ketidakteraturan σ



Gambar 6. Grafik hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ berdasarkan σ untuk sedimen seragam

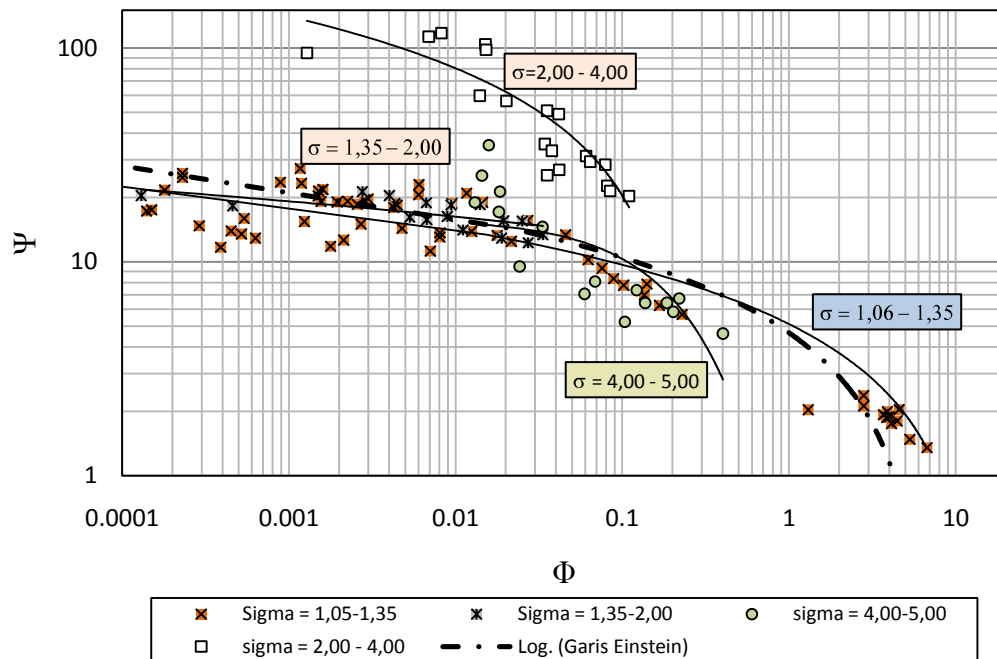


Gambar 7. Grafik hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ berdasarkan σ untuk sedimen tidak seragam

Untuk mengetahui pengaruh dari ketidakseragaman dalam hubungan antara parameter aliran dan parameter angkutan seperti dijabarkan di atas, maka hasil plotting gambar di atas diperbandingkan dengan fungsi-fungsi hubungan Ψ dan Φ dari Einstein seperti yang ditunjukkan sebagai garis dan strip dalam Gambar 8.

Persamaan Einstein (1950) yang diplotkan pada Gambar 8 sebagai garis dan strip merupakan persamaan untuk material sedimen seragam. Bila dibandingkan terhadap Gambar 7 yang mewakili sedimen tidak seragam, maka

tampak bahwa beberapa plotting data pada Gambar 8 cukup menyebar. Pada plotting data dengan $\sigma = 2,00 - 4,00$ (data Krasak 3); tampak bahwa tren data menyimpang cukup jauh di atas garis fungsi Einstein. Pada plotting data dengan $\sigma = 1,35 - 2,00$ dan $\sigma = 4,00 - 5,00$; tren data berada sedikit di atas garis fungsi Einstein. Sedangkan data dengan $\sigma = 1,06 - 1,35$; tren data cenderung mengikuti garis fungsi Einstein. Data yang terakhir ini memiliki koefisien σ yang mendekati seragam.



Gambar 8. Grafik hubungan antara parameter aliran Ψ dan parameter angkutan Φ dibandingkan dengan garis fungsi sedimen bedload Einstein

SIMPULAN

Berdasarkan hubungan antara parameter aliran (Ψ) dan parameter angkutan (Φ) hasil penelitian ini dibandingkan terhadap grafik Einstein (1950), tampak bahwa beberapa plotting data penelitian ini cukup menyebar. Pada plotting data dengan $\sigma = 2,00 - 4,00$ (data Krasak 3), tren data menyimpang cukup jauh di atas garis fungsi (kurva) Einstein. Pada plotting data dengan $\sigma = 1,35 - 2,00$ dan $\sigma = 4,00 - 5,00$; tren data berada sedikit di atas garis fungsi (kurva) Einstein. Sedangkan data dengan $\sigma = 1,06 - 1,35$; tren data cenderung mengikuti garis fungsi (kurva) Einstein. Data yang terakhir ini memiliki koefisien σ yang mendekati seragam. Berdasarkan hasil penelitian ini tampak bahwa persamaan angkutan tak berdimensi

dari Einstein (1950) yang dikembangkan dari data-data sungai di Amerika juga sesuai untuk diterapkan pada analisa sungai-sungai di Indonesia, khususnya untuk angkutan sedimen dasar yang cenderung seragam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini diolah dari sebagian data 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 Yulistiyo 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
- Bardan, M., 1997, *Awal Gerak Butiran Sedimen Pada Saluran Curam Dengan Material Dasar Tak Seragam*, Tesis, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Program Pascasarjana, UGM, Yogyakarta
- Bathurst, J.C., 1987, *Critical Condition for Bed Material Movement in Steep, Boulders Bed Stream*, Pages 309-318, in *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim*, AIHS, Corvallis
- Bogardi, J. et C.H. Yen, 1939, *Tractation of Pebbles by Flowing Water*, State University of Iowa
- Brownlie, W.R., 1981, *Prediction of Flow Depth and Sediment Discharge in Open Channels*, PhD Thesis, California Institue of Technology, Pasadena, California
- Cao, H.J., 1985, *Resistance Hidraulique d'un Lit a Gravier Mobile a Pente Raide, Etude Experimentale*, PhD Thesis EPFL, Lausanne
- Casey, H.J., 1935, *Uber Geschiebebewegung, Prevss. Verssuchsanst fur Wasserbau und Schiffbau*, Berlin, 19, 86 pp.
- 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, Barkeley
- Church, M. A., D. G. McLean, and J. F. Wolcott (1987), *River bed gravels: Sampling and analysis*, in *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, edited by C. R. Thorne, J. C. Bathurst, and R. D. Hey, pp. 43–88, John Wiley, Hoboken, N. J.
- Einstein, H.A., 1950, *The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows*, USDA Soil Conservation Service, Washington DC
- Gilbert, G.K., 1914, *The Transportation of Debris by Running Water*, USGS
- 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., 1984, *Hydraulics of Sediment Transport*, Water Resources Publications, Littleton Colorado, USA
- Graf, W.H., et L. Suszka, 1987, *Sediment Transport in Steep Channel*, Journal of

- Hydroscience and Hydraulic Engineering, 5, 1, 11-26
- Inpasihardjo. K., 1992, Pengaruh Distribusi ukuran Butir Sedimen Terhadap Penentuan Diameter Referensi, Forum Teknik Sipil No.I pp 30-36, 2 Juli 1992, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta
- Junaidi, 2008, *Aspek Ketidakseragaman Butiran Pada Angkutan Sedimen Dasar*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM, Yogyakarta
- Kironoto, B.A., 2001, *Kajian Angkutan Sedimen Pada Saluran Curam Dengan Material Dasar Halus*, Forum Teknik Sipil No. X, pp 13 - 21, Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta
- Lukito, Y., 1997, *Analisa Debit Kritis Pada Angkutan Bed Load Untuk Fraksi Butiran Tidak Seragam*, Tugas Akhir, Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta
- Mavis, F.T., T. Liu et E. Soucek, 1937, *The Transportation of Delritus by Flowing Water*, II
- Meyer-Peter, E., et R-Muller, 1948, *Formula for Bed-Load Transport*, Pages 39-64 in IAHSR, Stockholm
- Recking, A., 2006, *An Experimental Study of Grain Sorting Effects on Bedload*, PhD Thesis, Desember 13, 2006, Institut National Des Sciences Appliquees De Lyon
- Schoklitsch, A. (1950), *Handbuch des wasserbaues*, Springer-Verlag, New York.
- Suszka, L., 1988, *Sediment Transport at Steady and Unsteady Flow, A Laboratory Study*, PhD Thesis, EPFL, Lausanne
- USWES, 1935, *Study of River-Bed Material and Their Use with Special Reference to the Lower Mississippi River*, Pap. 17, 161 pp., Vicksburg, Mississippi