

Efek Angkutan Sedimen *Bed-Load* terhadap Hambatan Aliran di Sungai Baturusa Pulau Bangka

Miskar Maini

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu Desa Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan 35365 Email: miskar.maini@si.itera.ac.id

Mashuri

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu Desa Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan 35365 Email: mashuri@si.itera.ac.id

Junita Eka Susanti

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu Desa Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan 35365 Email: junita.susanti@si.itera.ac.id

Abstrak

Angkutan sedimen pada sungai alami tentunya memberikan dampak terhadap karakteristik pengalirannya. dampak adanya proses transpor sedimen tentu akan berpengaruh terhadap debit aliran yang terjadi di sungai. Debit aliran dipengaruhi terhadap parameter hidraulik, kemiringan dan nilai hambatan yaitu kekasaran dasar sungai. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari studi ini adalah menganalisa efek material angkutan sedimen *bed-load* terhadap hambatan aliran atau koefisien kekasaran. Penelitian ini dilakukan di 10 (sepuluh) cross section pada Sungai Baturusa dengan pengambilan sampel *bed-load* di dasar sungai dan dilakukan pengujian gradasi ukuran butiran partikel sampel material *bed-load* sedangkan parameter kecepatan aliran diukur menggunakan Propeller Currentmeter dan diukur juga dengan metode pelampung dalam pengukuran kecepatan permukaan dengan faktor koreksi 0,85. Hasil analisis koefisien hambatan dengan angkutan sedimen (*bed-load*) menunjukkan nilai koefisien hambatan lebih besar dibandingkan tanpa angkutan sedimen (*no bed-load*), angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Baturusa akan mempengaruhi nilai koefisien hambatan aliran. Sedangkan analisa debit aliran berdasarkan koefisien Manning yang digunakan beberapa metode semuanya memberikan selisih debit yang sangat besar terhadap debit terukur, penentuan nilai Manning memiliki pengaruh yang cukup besar dalam estimasi kecepatan aliran dan debit aliran., selain itu kecepatan aliran, pengaruh Fr dan U/U^* juga memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien kekasaran pada Sungai Baturusa.

Kata-kata Kunci: Hambatan aliran, koefisien kekasaran, manning, sungai Baturusa

Abstract

Sediment transport in natural rivers certainly has an impact on their flow characteristics. The impact of the sediment transport process will certainly affect the flow rate that occurs in the river. Discharge effected hydraulic parameters, slope and resistance coefficient, namely river bed roughness. The objective of this study is to analyze the effect of the *bed-load* on the flow resistance or roughness coefficient. This research was conducted in 10 (ten) cross sections on the Baturusa River by taking *bed-load* samples on the river bed and testing the grading of the particle size of the *bed-load* material samples while the velocity parameters were measured using the Propeller Currentmeter and also measured by the float method in measurement. surface velocity with a correction factor of 0.85. The results of the drag coefficient analysis with sediment transport (*bed-load*) show the value of the drag coefficient is greater than without sediment transport (*no bed-load*), sediment transport that occurs on the Baturusa River will affect the value of the flow resistance coefficient. While the flow analysis based on the Manning coefficient used several methods, all of which provide a very large difference in discharge to the measured discharge, the determination of the Manning value has a large enough influence on the estimation of velocity and flow rate, besides velocity, the effect of Fr and U/U^* also has an influence on the roughness coefficient value on the Baturusa River.

Keywords: Flow resistance, roughness coefficient, manning, Baturusa river

1. Pendahuluan

Pulau Bangka merupakan pulau penghasil timah, dari penambangan timah tersebut maka banyak daerah aliran sungai (DAS) tercemar dari yang berukuran kecil

sampai yang besar termasuk dalam Wilayah Sungai Baturusa, pada umumnya limbah hasil dari tambang timah berupa pasir maupun tanah yang lempung yang biasanya akan masuk ke anak sungai, cekungan bahkan ke sungai utama yang akan mempengaruhi kemiringan

dasar sungai, kedalaman aliran dan pendangkalan sungai tentu akan mempengaruhi debit aliran dan transpor sedimen di Sungai Baturusa. Proses transpor sedimen yang terjadi pada sungai alami atau saluran buatan tentunya memberikan dampak positif dan negatif dalam karakteristik pengalirannya. Dampak negatif dari suatu aliran yang dipengaruhi adanya proses transpor sedimen tentu akan berpengaruh terhadap debit aliran yang terjadi di sungai. Debit aliran dipengaruhi terhadap parameter hidraulik seperti kemiringan sungai dan nilai hambatan yaitu kekasaran dasar sungai. Adapun tujuan yang ingin dicapai dari studi ini adalah menganalisa efek material angkutan sedimen *bed-load* terhadap hambatan aliran atau koefisien kekasaran, nilai koefisien kekasaran di analisa dari parameter hidraulik aliran dan dari parameter ukuran partikel butiran material dasar sungai (*bed-load*) selain itu juga menganalisis pengaruh rasio kecepatan rata-rata dengan kecepatan gesek juga ditinjau terkait tren korelasinya terhadap nilai kekasaran.

2. Tinjauan Pustaka dan Teori

2.2 Debit aliran dan kekasaran manning

Parameter hidraulik merupakan parameter aliran di sungai dan saluran terbuka tentu akan pengaruh terhadap besarnya suatu hambatan aliran yang akan terjadi yang bisa di estimasi dalam perhitungan koefisien kekasaran, kecepatan aliran dan debit aliran. Untuk menghitung debit aliran berdasarkan koefisien kekasaran Manning dari parameter hidraulik yang paling umum pada saluran terbuka disajikan pada **Persamaan (1)**

$$Q = \frac{1}{n_c} A R^{2/3} S_e^{1/2} \quad (1)$$

Dalam hubungan ini, Q adalah debit (m^3/s), n_c adalah koefisien kekasaran Manning, R adalah jari-jari hidrolik (m) dan A adalah luas penampang basah (m^2). Nilai yang diamati dari n_c dengan menggunakan debit yang sesuai dan kemiringan energi (S_e), estimasi nilai Manning dapat di analisis dari parameter hidrolik pada **Persamaan (2)**, sedangkan koefisien Manning berdasarkan parameter ukuran butiran (d_{50}) dari material dasar sungai *bed-load* disajikan pada persamaan yang dikembangkan oleh Strickler (1923) **Persamaan (3)**, Keulegan (1938) **Persamaan (4)**, Raudkivi (1976) **Persamaan (5)**, Grade and Raju (1978) **Persamaan (6)**, dan Bray (1979) **Persamaan (7)** sedangkan untuk estimasi koefisien kekasaran Manning berdasarkan parameter ketinggian kekasaran (k_s) diberikan pada **Persamaan (8)**.

$$n_c = \frac{A^{5/3} S_e^{1/2}}{Q P^{2/3}} \quad (2)$$

$$n_c = \frac{1}{21,1} d_{50}^{1/6} \quad (3)$$

$$n_c = 0,039 d_{50}^{1/6} \quad (4)$$

$$n_c = 0,042 d_{50}^{1/6} \quad (5)$$

$$n_c = 0,039 d_{50}^{1/6} \quad (6)$$

$$n_c = 0,0593 d_{50}^{0,179} \quad (7)$$

$$n_c = \frac{k_s^{1/6}}{7,7g^{1/2}} \quad (8)$$

Dimana, P adalah keliling basah penampang sungai (m), sedangkan k_s adalah tinggi kekasaran (m), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

2.2 Tinggi kekasaran dan faktor gesekan

Tinggi kekasaran, k_s nilai dari kekasaran dasar Nikuradse, dapat dihitung dengan **Persamaan (9)** dalam penelitian lapangan menurut (Kironoto dan Yulistiyo, 2016) dimana untuk menghitung k_s digunakan persamaan distribusi kecepatan dari bentuk persamaan Manning untuk batas yang kasar dengan membandingkannya dengan persamaan logaritmik. Sehingga dengan menyamakan kecepatan aliran pada penampang saluran dari persamaan logaritmik dengan mencari koefisien Chezy (C_c) dari persamaan Manning didapatkan persamaan k_s sebagai berikut :

$$\frac{C_c}{\sqrt{g}} = \sqrt{\frac{8}{f}} = 5,6 \log \left(\frac{R}{k_s} \right) + 6,25 \quad (9)$$

Recking dkk, (2008) mengklasifikasikan transpor sedimen *bed-load* jika tegangan geser tak berdimensi (θ) dalam kondisi batas $\theta \geq 2,6 < \theta_c$ transpor sedimen signifikan akan terjadi di dasar saluran dan mempengaruhi karakteristik aliran, termasuk hambatan aliran dan koefisien gesekan dasar saluran, Recking dkk (2008) dalam penelitian yang dilakukan mengasumsikan angkutan sedimen *bed-load* tetap terjadi disepanjang aliran (*movable bed*). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa bagian dasar saluran kasar yang bervariasi dan dimensi saluran akan mempengaruhi hambatan aliran. Recking dkk (2008) juga menyimpulkan bahwa parameter kekasaran (Z) dari aliran dengan dasar bergerak *bed-load* 2,5 kali lebih besar dari aliran tanpa *bed-load*. Recking dkk (2008) juga menyimpulkan bahwa dengan peningkatan kemiringan saluran dari 1% hingga 9%, koefisien gesekan dasar bergerak juga meningkat. Semua aliran kasar secara hidrolik ($Re^* > 70$) Re^* adalah kekasaran bilangan Reynolds tak berdimensi, sedangkan aliran turbulen ($Re > 2.000$) Re merupakan bilangan Reynolds dan aliran superkritis ($Fr > 1$). Faktor gesekan f dari U/U^* :

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{U}{U^*} = \frac{U}{\sqrt{g R S_e}} \quad (10)$$

Dimana U adalah kecepatan rata-rata penampang (m/s), U^* adalah kecepatan gesek (m/s), $U^* = \sqrt{g R S_e}$, Fr

adalah Froude Number, $Fr = \frac{U}{\sqrt{g h}}$

2.3 Angkutan sedimen dan koefisien hambatan

Angkutan sedimen dasar dapat diketahui melalui perhitungan tegangan geser tak berdimensi (θ) dan debit tak berdimensi dari *bed-load* (ϕ) adalah dihitung menggunakan **Persamaan (11)** dan **(12)**.

$$\theta = \frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho)d_{50}} = \frac{S_e}{(s-1)} \frac{R}{d_{50}} \quad (11)$$

$$\Phi = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} \quad (12)$$

Dimana τ_0 = tegangan geser dasar (N/m^2); ρ_s = rapat massa sedimen (kg/m^3); ρ = rapat massa air (kg/m^3); $s = \rho_s / \rho$ = rapat massa relatif; dan q_b ($\text{m}^3/\text{s/m}$) = laju transpor volumetrik per satuan lebar.

Efek angkutan sedimen *bed-load* pada hambatan aliran telah dibuktikan secara eksperimental oleh banyak peneliti (Smart dan Jaeggi, 1983; Rickenmann, 1990; Baiamonte dan Ferro, 1997; Song dkk, 1998; Bergeron dan Carbonneau, 1999; Carbonneau dan Bergeron, 2000; Omid dkk, 2003; Calomino dkk, 2004; Gao dan Abrahams, 2004; Mahdavi dan Omid, 2004; Campbell dkk, 2005). Secara khusus, ditunjukkan bahwa injeksi sedimen ke aliran air jernih secara bertahap meningkatkan resistansi dengan kuantitas yang diinjeksikan hingga mencapai dataran tinggi ketika laju sedimen mendekati kondisi kesetimbangan. Pada kapasitas angkut terlihat bahwa faktor gesekan f meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi sedimen. Pandangan yang diterima secara umum adalah bahwa *bed-load* mengekstraksi momentum dari aliran, yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran dan meningkatkan panjang kekasaran dalam proporsi yang terkait dengan ketebalan lapisan sedimen yang bergerak (Owen, 1964; Dietrich, 1982; Wiberg dan Rubin, 1989). Selain itu, dalam aliran kasar dan turbulen yang jauh dibandingkan dengan kekasaran batas, profil kecepatan logaritmik adalah perkiraan yang sesuai (Nikora dan Smart, 1997), dan hambatan aliran dapat dimodelkan dengan hubungan semiempiris yang diturunkan dari Log-Law, dalam bentuk:

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{U}{U_*} = Br + \frac{1}{K} \ln\left(\frac{R}{ks}\right) \quad (13)$$

dimana f = koefisien hambatan aliran; Br = konstanta integrasi (yang nilainya 6 dalam aliran turbulen yang kasar, ketika *log-law* berlaku); K = koefisien von Karman. Sedangkan profil kecepatan logaritmik dapat dihitung sesuai kondisi aliran dengan *bed-load* dan tanpa *bed-load* menurut (Recking, 2008) pada **Persamaan (14)** dan **Persamaan (15)**.

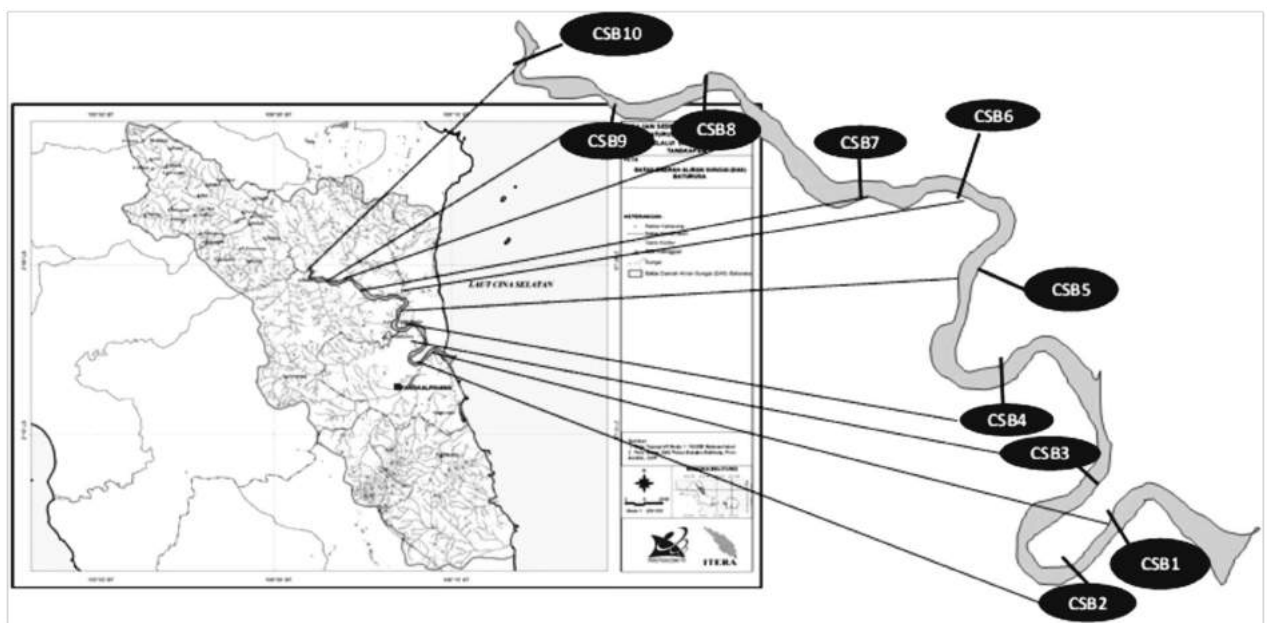
$$\sqrt{\frac{8}{f}} = 3,6 + 3,2 \left(\frac{R}{d_{50}}\right) \text{ tanpa } \textit{bed-load} \quad (14)$$

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = 0,67 + 3,2 \left(\frac{R}{d_{50}}\right) \text{ dengan } \textit{bed-load} \quad (15)$$

3. Metodologi

Penelitian ini dilakukan di 10 lokasi *cross section* pada Sungai Baturusa, di Pulau Bangka, Indonesia dengan penamaan lokasi pengukuran dengan nama CSB1 (*Cross Section Baturusa*) sedangkan angka menyebutkan nomor urut pengukuran dimulai dari hilir sungai pada CSB1 sampai ke hulu CSB10 dapat dilihat pada **Gambar 1**. Penelitian dilakukan dengan pengambilan sampel *bed-load* di dasar sungai Baturusa di setiap *cross section* menggunakan *Crab sampler* dan dilakukan pengujian gradasi ukuran butiran partikel sampel material *bed-load* dan pengambilan sedimen suspensi menggunakan metode *point integrated* disetiap *cross section* diambil 3 titik di tengah penampang dan 2 titik di dekat tepi kiri dan kanan penampang sungai, sedangkan parameter kecepatan aliran diukur menggunakan *Propeller Currentmeter* dan diukur juga dengan metode pelampung dalam pengukuran kecepatan permukaan dengan faktor koreksi 0,85.

Lokasi pengukuran disetiap *cross section* didapatkan hasil pengukuran dengan 10 variasi debit, 10 variasi kemiringan, 10 variasi ukuran partikel sedimen *bed-load* (d_{50}) dengan hasil pengujian di laboratorium secara garis besar hasil pengujian seperti $\rho_{s1} = 2,80$;



Gambar 1. Lokasi pengukuran dan pengambilan sampel di 10 cross section sungai Baturusa Pulau Bangka, Indonesia

$\rho s_2 = 2,70$; $\rho s_3 = 2,69$; $\rho s_4 = 2,68$; $\rho s_5 = 2,66$; $\rho s_6 = 2,70$; $\rho s_7 = 2,67$; $\rho s_8 = 2,66$; $\rho s_9 = 2,67$ dan $\rho s_{10} = 2,69$. Data hasil pengujian di laboratorium disajikan pada **Gambar 2**.

CSB1 50% jenis sedimen yaitu pasir kasar dengan diameter 0,72 mm serta 6,71% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB2 50% sedimen yaitu pasir sangat besar dengan diameter 1,7 mm serta 0,72% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB3 50% sedimen pasir sedang dengan diameter 0,26 mm serta 7,02% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB4 50% sedimen yaitu pasir sedang dengan diameter 0,26 mm serta 0,8% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB5 50% sedimen yaitu pasir sedang dengan diameter 0,29 mm serta 0,59% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB6 50% sedimen yaitu pasir sangat besar dengan diameter 1,43 mm serta 0,93% terdiri atas lumpur dan lempung, CSB7 50% sedimen yaitu pasir sangat besar dengan diameter 1,83 mm serta 0,08 % terdiri atas lumpur dan lempung, CSB8 50% sedimen yaitu kerikil dengan diameter 2,29 mm serta 0,17 % terdiri atas lumpur dan lempung, CSB9 50% sedimen yaitu kerikil dengan diameter 2,29 mm serta 0,54 % terdiri atas lumpur dan lempung dan CSB10 50% sedimen yaitu kerikil dengan diameter 2,96 mm.

4. Hasil dan Pembahasan

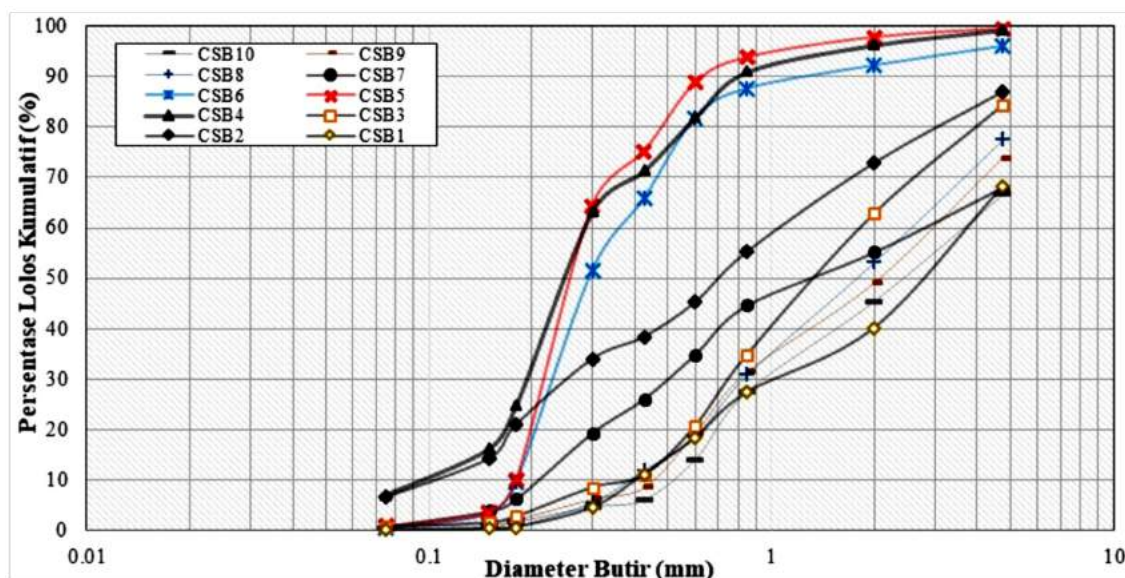
4.1 Parameter data pengukuran

Hasil pengukuran dan perhitungan lapangan dari 10 *cross section* yang diukur dengan pengukuran dilakukan di hari yang berbeda-beda dan didapatkan pula 10 variasi kecepatan aliran dan debit aliran yang disajikan pada **Tabel 1** dan visualisasi sampel sedimen dasar disetiap *cross section* disajikan pada **Tabel 2**.

4.2 Pengaruh koefisien kekasaran terhadap estimasi debit aliran

Pendekatan penentuan Koefisien kekasaran Manning berdasarkan parameter hidraulik dengan berdasarkan ukuran diameter median material dasar sungai memberikan perbedaan hasil yang cukup signifikan terhadap besarnya debit aliran (**Persamaan 1**) di Sungai Baturusa yang disajikan pada **Gambar 3**.

Hasil debit terukur di lapangan dibandingkan dengan estimasi debit aliran dengan pendekatan nilai koefisien kekasaran Manning berdasarkan ukuran butiran material dasar sungai (*bed-load*) terjadi selisih yang cukup signifikan antara debit aliran hasil estimasi



Gambar 2. Kurva distribusi ukuran butir material dasar sungai Baturusa

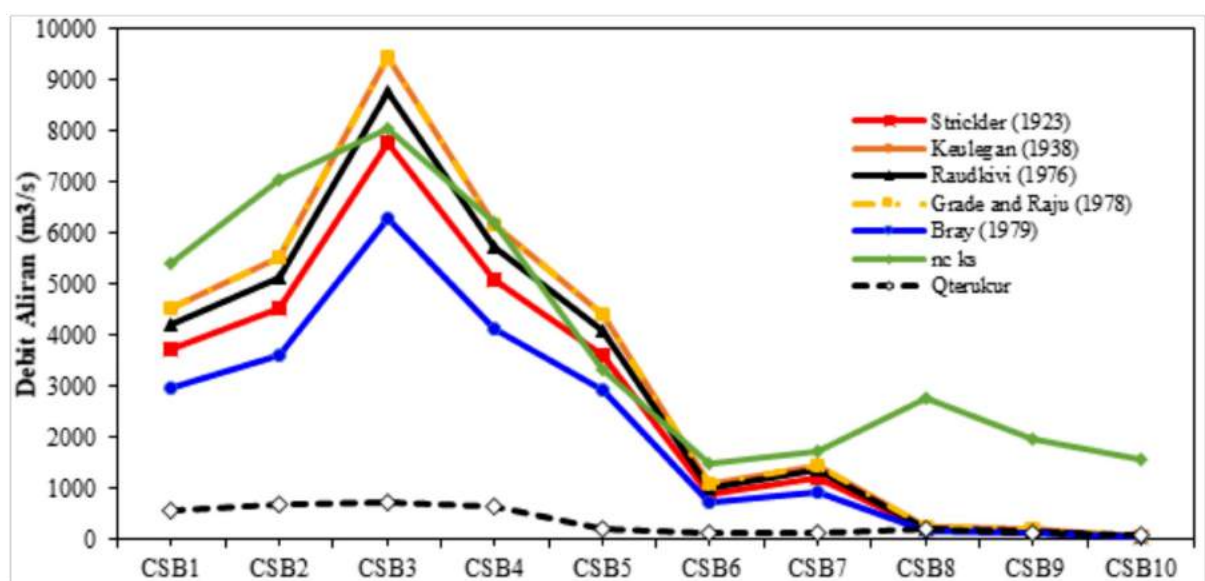
Tabel 1. Parameter data Sungai Baturusa Pulau Bangka

Runtuang	B (m)	d ₅₀ (m)	Se (m/m)	Q (m ³ /s)	U (m/s)	R/d ₅₀ (-)	U/U [*] (-)	H (m)	H/B (-)	Fr (-)	s=ρs/ρ (-)	qb (m ³ /s/m)	θ (-)	Φ (-)
CSB1	218,3	0,00072	0,0044	577,08	0,801	5.896,10	1,875	4,4	0,020	0,122	2,69	0,00427428	15,34	54,62
CSB2	235,6	0,00177	0,005	704,31	0,797	2.707,24	1,644	5,0	0,021	0,114	2,67	0,01021073	8,10	33,82
CSB3	213,1	0,00026	0,0058	741,31	0,800	21.280,24	1,429	5,8	0,027	0,106	2,66	0,00994287	74,29	592,63
CSB4	252,3	0,00027	0,0044	651,09	0,782	15.844,02	1,826	4,4	0,017	0,119	2,67	0,05689641	41,85	3.201,80
CSB5	141,6	0,00030	0,005	212,31	0,400	15.800,55	0,835	5,0	0,035	0,057	2,67	0,033166	47,22	1.611,12
CSB6	137,6	0,00143	0,003	151,13	0,488	2.008,11	1,678	3,0	0,022	0,090	2,66	0,03252785	3,63	148,83
CSB7	144,8	0,00183	0,0034	141,64	0,384	1.770,62	1,166	3,4	0,023	0,066	2,68	0,0402458	3,59	126,34
CSB8	64,88	0,00205	0,0022	195,08	1,822	1.003,43	8,642	2,2	0,034	0,392	2,68	0,09077982	1,31	239,99
CSB9	43,6	0,00229	0,0025	153,31	1,875	979,67	7,996	2,5	0,057	0,379	2,70	0,19208256	1,44	429,58
CSB10	31,16	0,00296	0,0018	75,66	1,799	545,31	10,656	1,8	0,058	0,428	2,80	0,10357836	0,54	153,07

Tabel 2. Sedimen dasar setiap cross section di sungai Baturusa

Lokasi	Sedimen Dasar	Lokasi	Sedimen Dasar	Lokasi	Sedimen Dasar
CSB1		CSB2		CSB3	
CSB4		CSB5		CSB6	
CSB7		CSB8		CSB9	
CSB10					

dengan debit terukur. Debit estimasi yang dihitung dengan berbagai metode menghasilkan debit yang sangat besar dibandingkan dengan debit terukur. Pendekatan menggunakan metode dalam penentuan nilai Manning sangat berpengaruh dalam estimasi kecepatan aliran dan debit aliran. Pendekatan dalam penggunaan nilai koefisien kekasaran Manning belum tentu cocok digunakan dalam pendekatan untuk



Gambar 3. Perbandingan debit aliran terukur dengan estimasi debit aliran pada penggunaan kekasaran manning berdasarkan ukuran diameter material *bed-load* pada Sungai Baturusa

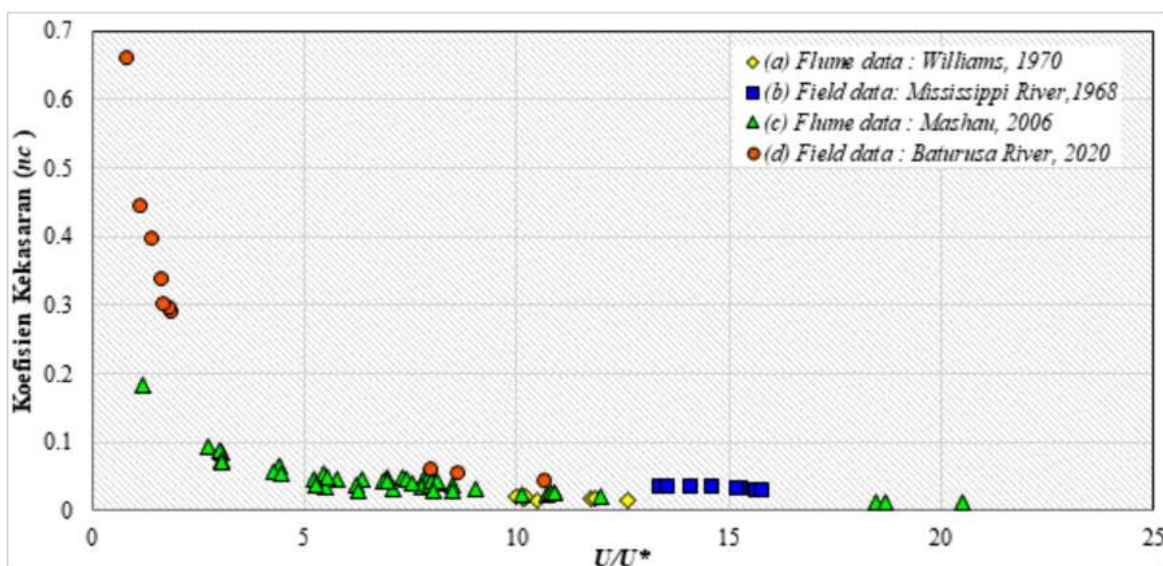
estimasi debit aliran di Sungai alami terutama di Sungai Baturusa

4.3 Pengaruh koefisien kekasaran terhadap kecepatan aliran dan froude number

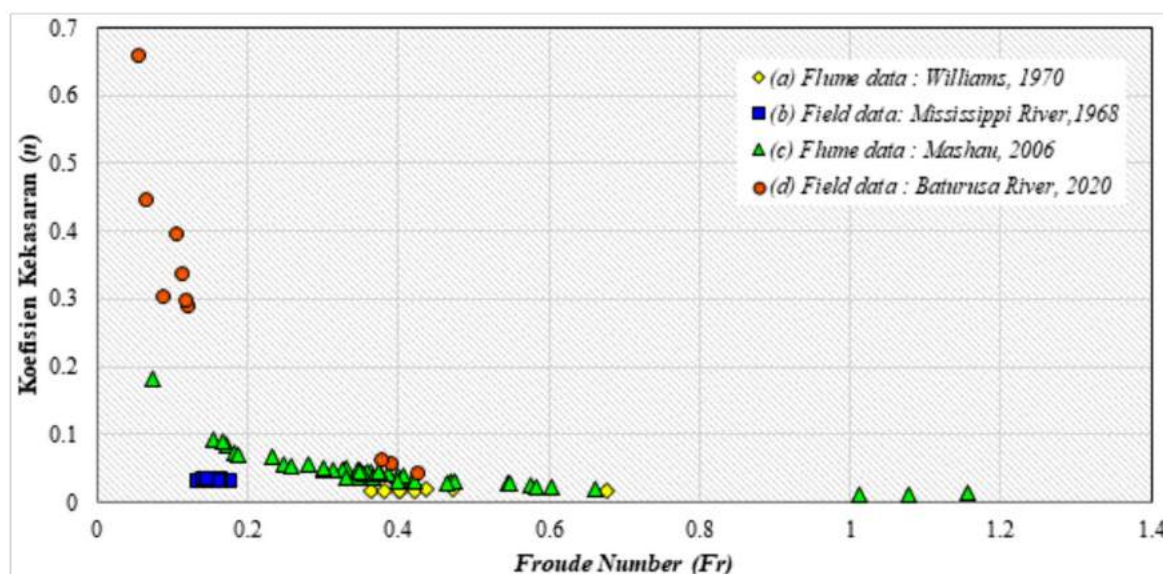
Parameter hidraulik dalam pengukuran langsung di lapangan sangat berpengaruh terhadap nilai hambatan aliran yang diresementasikan dengan nilai koefisien kekasaran yang akan menjadi hambatan aliran, untuk mengetahui tren pengaruh koefisien kekasaran terhadap variabel terhadap kecepatan dan *Froude Number* (Fr) di Sungai Baturusa juga dibandingkan dari penelitian dengan flume (Williams, 1970) dan (Mashau, 2006) sedangkan perbandingan dengan kondisi lapangan dari penelitian lapangan pada Sungai Mississippi, 1968. Hasil analisis koefisien kekasaran Manning versus kecepatan rata-rata terhadap kecepatan

geser (U/U^*) disajikan pada **Gambar 4**. Hasil data penelitian di Sungai Baturusa menunjukkan tren nilai koefisien kekasaran semakin besar maka rasio U/U^* semakin kecil. Hasil tren data ini juga dibandingkan dengan hasil eksperimen model fisik di *Flume* dari data (Masharu, 2006) dan data (Williams, 1970) serta data Sungai Mississippi, 1968 juga memiliki tren yang sama dengan data di Sungai Baturusa yaitu koefisien kekasaran versus rasio U/U^* semakin besar, maka nilai koefisien kekasaran semakin menurun yang menunjukkan bahwa nilai kekasaran sangat mempengaruhi kecepatan aliran di sungai atau saluran.

Hasil analisis koefisien kekasaran Manning versus Fr di Sungai Baturusa disajikan pada **Gambar 5**, tren data menunjukkan bertambahnya nilai Fr maka koefisien kekasaran semakin kecil dan sebaliknya jika nilai Fr besar maka terjadi peningkatan pada nilai koefisien



Gambar 4. Variasi koefisien kekasaran dengan rasio kecepatan rata-rata terhadap kecepatan geser.



Gambar 5. Variasi koefisien kekasaran dengan froude number

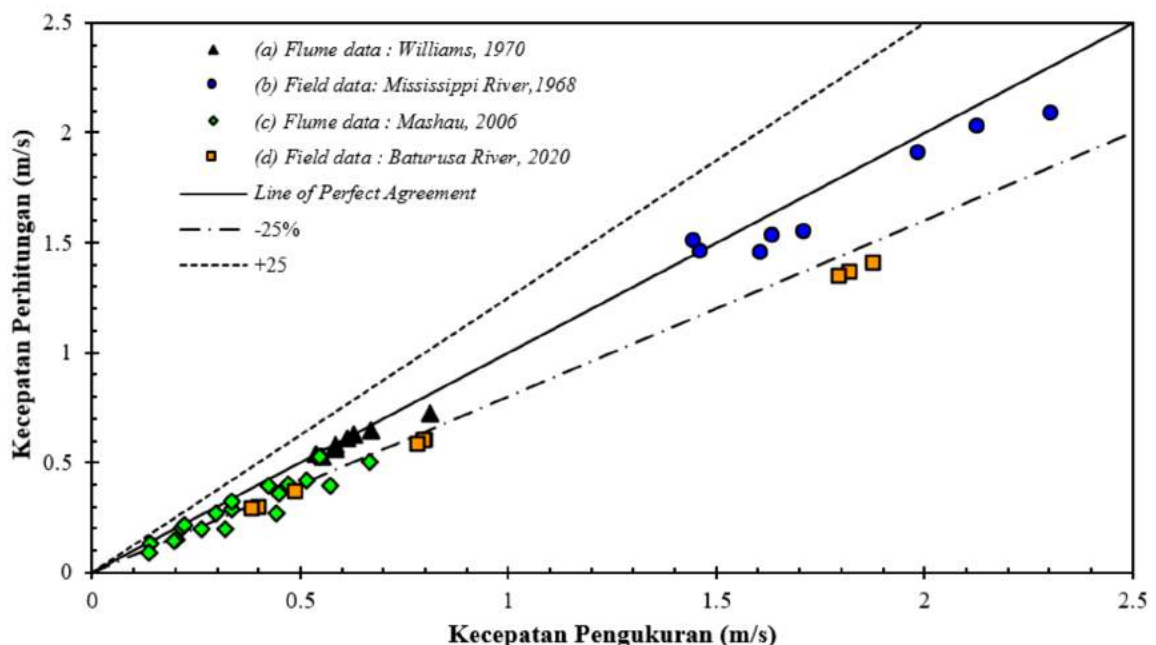
kekasaran. Tren data nilai Fr Sungai Baturusa juga dibandingkan dengan hasil penelitian dari data (Masharu, 2006) dan data (Williams, 1970) serta data Sungai Mississippi, 1968 juga memiliki tren yang sama dengan tren data di Sungai Baturusa. Secara tren nilai koefisien kekasaran akan mempengaruhi nilai Fr yang akan mengklasifikasikan jika nilai $Fr < 1$ maka aliran tersebut dalam kondisi aliran subkritis dimana besarnya nilai koefisien kekasaran meningkat tajam.

Perbandingan antara kecepatan aliran rata-rata yang dievaluasi dengan kondisi data pengukuran lapangan pada Sungai Baturusa seperti pada **Gambar 6** menunjukkan semua hasil perbandingan paling sesuai pada garis error $\pm 25\%$ dengan membandingkan dari empat literatur dan tingkat eror di Sungai Baturusa

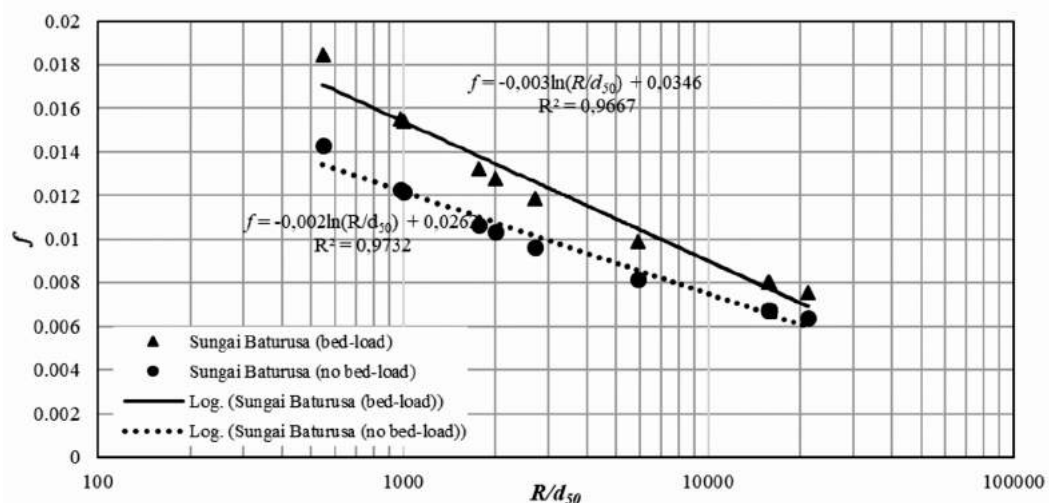
memberikan hasil yang berbeda dengan nilai rata-rata tingkat eror mencapai $\pm 33,33\%$, tingkat eror ini bisa terjadi karena kesalahan dalam pengukuran kecepatan di *cross section* pada Sungai Baturusa menjadi perhatian khusus dalam pelaksanaan pengukuran, kondisi lokasi pengukuran yang terjadi aliran *unsteady* bahkan *nonuniform* akibat kondisi alam pada Sungai Baturusa tentu akan mempengaruhi hasil pengukuran.

4.4 Efek angkutan sedimen terhadap koefisien hambatan

Analisa besarnya nilai koefisien hambatan aliran yang terjadi di Sungai Baturusa dianalisis dengan dua kondisi yaitu kondisi dengan adanya angkutan sedimen *bed-load* dan tanpa angkutan sedimen (n_o *bed-load*) dari



Gambar 6. Perbandingan antara kecepatan aliran pengukuran (U_o) dan kecepatan aliran perhitungan (U_c).



Gambar 7. Perbedaan koefisien hambatan aliran pada Sungai Baturusa dengan adanya angkutan sedimen (*bed-load*) dengan tanpa adanya angkutan sedimen (*no bed-load*)

persamaan yang dikembangkan oleh Recking dkk (2008) yaitu pada **Persamaan (14)** dan **Persamaan (15)** dengan menggunakan parameter rasio jari-jari hidraulik dan ukuran partikel diameter 50% material dasar sungai *bed-load*, hasil perhitungan koefisien hambatan dengan kondisi adanya *bed-load* dan tanpa *bed-load* disajikan pada **Gambar 7**.

Hasil analisa dari **Gambar 7** menunjukkan efek angkutan sedimen *bed-load* pada koefisien hambatan aliran pada Sungai Baturusa di Pulau Bangka pada kapasitas angkut terlihat bahwa faktor koefisien hambatan f meningkat seiring dengan berkurangnya aspek rasio jari-jari hidraulik dengan diameter butiran material dasar sungai. Perbandingan antara koefisien hambatan dengan adanya angkutan sedimen (*bed-load*) menunjukkan nilai koefisien hambatan lebih besar dibandingkan tanpa angkutan sedimen (*no bed-load*), dapat disimpulkan bahwa angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Baturusa akan mempengaruhi nilai koefisien hambatan aliran. Hasil analisa ini secara umum banyak dikemukakan oleh berbagai penelitian dari literatur adalah bahwa *bed-load* mengekstraksi momentum dari aliran, yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran dan meningkatkan panjang kekasaran dalam proporsi yang terkait dengan ketebalan lapisan sedimen yang bergerak (Owen, 1964; Dietrich, 1982; Wiberg dan Rubin, 1989). Selain itu, gerakan partikel butiran sedimen yang dipercepat oleh aliran menghasilkan lapisan kekasaran yang berkembang jauh melampaui bagian atas lapisan, mempengaruhi profil kecepatan rata-rata (Bergeron dan Carbonneau, 1999; Carbonneau dan Bergeron, 2000). Campbell dkk, 2005) menunjukkan bahwa ini sesuai dengan zona produksi energi kinetik turbulen yang intens. Efek angkutan sedimen terhadap hambatan aliran di Sungai Baturusa didapatkan persamaan yang sesuai dengan hubungan antara tingginya koefisien hambatan aliran (f) terhadap rasio jari-jari hidraulik dengan diameter median butiran sedimen (R/d_{50}) dengan adanya *bed-load* dan tanpa *bed-load* pada **Persamaan (16)** dan **Persamaan (17)**.

$$f = -0,0031 \ln \left(\frac{R}{d_{50}} \right) + 0,0346 \quad \text{no bed-load} \quad (16)$$

$$f = -0,002 \ln \left(\frac{R}{d_{50}} \right) + 0,0262 \quad \text{bed-load} \quad (17)$$

5. Kesimpulan

Hasil analisa dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut ini :

1. Koefisien Manning yang digunakan untuk estimasi debit aliran semuanya memberikan selisih debit yang sangat besar terhadap debit terukur, penentuan nilai Manning memiliki pengaruh yang cukup besar dalam estimasi kecepatan aliran dan debit aliran.
2. meningkatnya rasio U/U^* maka nilai hambatan aliran yaitu nilai koefisien kekasaran memiliki tren menurun dan sebaliknya semakin kecil nilai rasio U/U^* juga mengakibatkan koefisien kekasaran semakin besar.
3. Bertambahnya nilai Fr maka koefisien kekasaran berkurang, penurunan ini merupakan penurunan

pada pengukuran lapangan di Sungai Baturusa dibandingkan dengan Sungai Mississippi juga memiliki tren yang sama sedangkan eksperimen di *flume* juga memiliki tren yang sama dengan data lapangan di Sungai Baturusa.

4. Data pengukuran lapangan pada Sungai Baturusa di Pulau Bangka semua hasil perbandingan paling sesuai pada garis eror $\pm 25\%$ dengan membandingkan dari empat literatur dan tingkat eror di Sungai Baturusa memberikan hasil yang berbeda dengan nilai rata-rata tingkat eror mencapai $\pm 33,33\%$.
5. Perbandingan antara koefisien hambatan dengan adanya angkutan sedimen (*bed-load*) menunjukkan nilai koefisien hambatan lebih besar dibandingkan tanpa angkutan sedimen (*no bed-load*), bahwa angkutan sedimen yang terjadi di Sungai Baturusa akan mempengaruhi peningkatan nilai koefisien hambatan aliran.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristek -BRIN yang telah memberikan *support* dana penelitian (Penelitian Simlitabmas skema PDP Tahun 2020) dan Lembaga Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat, dan Penjaminan Mutu Pendidikan (LP3) Institut Teknologi Sumatera, yang telah memberikan *support* pengadministrasian dalam surat menyurat sehingga pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Baiamonte, G., and Ferro, V., 1997. "The influence of roughness geometry and Shields parameter on flow resistance in gravel-bed channels." *Earth Surf. Processes Landforms*, 22, 759–772.
- Bergeron, N. E., and Carbonneau, P., (1999). "The effect of sediment concentration on bedload roughness." *Hydrolog. Process.*, 13, 2583–2589.
- Carbonneau, P., and Bergeron, N. E., 2000. "The effect of bedload transport on mean and turbulent flow properties." *Geomorphology*, 35, 267–278.
- Calomino, F., Gaudio, R., and Miglio, A., 2004. "Effect of bed-load concentration on friction factor in narrow channels." *River flow*, Napple, 279–285.
- Campbell, L., McEwan, I., Nikora, V. I., Pokrajac, D., Gallagher, M., and Manes, C., 2005. "Bed-load effects on hydrodynamics of rough-bed open-channel flows." *J. Hydraul. Eng.*, 131(7), 576–585.
- Cao, H. H., 1985. "Resistance hydraulique d'un lit à gravier mobile à pente raide; étude expérimentale." Ph.D. thesis, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland.

- French, R.H., 1985. Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill.
- Joranova, A.A., Birkhead, A.L., James, C.S., Kleynhans, C.J., 2004. Hydraulics for Determination of the Ecological Reserve for Rivers, WRC Report No. 1174, Pretoria, South Africa.
- Kironoto, B.A. & Yulistiyanto, B., 2016. The Simplified of Suspended Sediment Measurement Method for Predicting Suspended Sediment Load as A Basic of Reservoir Capacity Design as Renewable Energy Resource. *Int. J. of Renewable Energy Res.*, Volume 6.
- Mashau, M.S., 2006. Flow Resistance In Open Channels With Intermediate Scale Roughness: A research report submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment, University of Witwatersrand, in fulfillment of the degree of Master of Science in Engineering, Johannesburg.
- Mahdavi, A., and Omid, M., 2004. "The effect of bed roughness on velocity profile in open channels." *River flow*, Napple, 295300
- Nikora, V. I., and Smart, G. M., 1997. "Turbulence characteristics of the New Zealand gravel-bed rivers." *J. Hydraul. Eng.*, 123_9_, 764–773.
- Nowell, A. R., and Church, M. 1979. "Turbulent flow in a depth-limited boundary layer." *J. Fusion Energy*, 84_C8_, 4816–4824.
- Omid, M., Mahdavi, A., and Narayanan, R., 2003. "Effects of bedload transport on flow resistance in rigid boundary channels." *IAHR, Tessalonic*, 641–646.
- Owen, P. R., 1964. "Saltation of uniform grains in air." *J. Fluid Mech.*, 20_2_, 225–242.
- Raju, K.G.R., Porey, PD. and Alam., 1998. "Resistance of Coarse Sediment Beds," *J. Water and Energy, International*, 55(1), 19-28.
- Raudkivi, A.J., 1967. "Analysis of Resistance in Alluvial Channels," *J. Hydr. Div. ASCE*, 95(5).
- Raudkivi, A.J., 1997. "Ripples on Stream Bed," *J. Hydr. Engrg. ASCE*, 123(1), 58-64.
- Recking, A., Boucinha, V., and Frey, P., 2004. "Experimental study of bed-load grain size sorting near incipient motion on steep slopes." *River flow*, Napple, 253–258.
- Recking, A., Frey, P., Paquier, A., Belleudy, P., Champagne, J.Y., 2008. Bed-load transport flume experiments on steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(9):1302–1310
- Smart, G. M., and Jaeggi, M. N. R., 1983. Sediment transport on steep slopes, *Mitteilungen No. 191, der Versuchsanstalt fuer Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidg. Techn., Hochschule Zuerich, Zurich, Switzerland.*
- Song, T., Chiew, Y. M., and Chin, C. O., 1998. "Effects of bed-load movement on flow friction factor." *J. Hydraul. Eng.*, 124(2), 165–175.
- Song, T., Graf, W. H., and Lemmin, U., 1995. "Uniform flow in open channels with movable gravel bed." *J. Hydraul. Res.*, 32(6), 861–875.
- Thorne, C.R., Zevenbergen, L.W., 1985. Estimating Mean Velocity in Mountain Rivers, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111(4): 612 – 624.
- Wiberg, P., and Rubin, D. M., 1989. "Bed roughness produced by saltating sediment." *J. Fusion Energy*, 94(C4), 5011–5016.
- Williams, G.P., 1970. Flume width and water depth effects in sediment transport experiments, Professional Paper No. 562-H, USGS.

