

KAJIAN HUBUNGAN DEBIT AIR SUNGAI DENGAN DEBIT SEDIMEN TERAPUNG (*SUSPENDED LOAD*) PADA ANAK-ANAK SUNGAI BENGAWAN SOLO BAGIAN HULU

Jaji Abdurrosyid, Ilyas Farhan Oktavianus, Gotot Slamet Mulyono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: ja199@ums.ac.id

Abstrak

Sungai Bengawan Solo, sungai terpanjang di Pulau Jawa yang melewati Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan pengangkutan sedimen setiap hari yang diakibatkan dari penggerusan tepi sungai maupun batuan yang terjadi di sepanjang sungai, berdampak pada pendangkalan sungai sehingga berkurangnya daya tampung air pada aliran sungai. Sampai sekarang, transport sedimen, baik sedimen dasar maupun sedimen terapung sangat penting untuk dikaji karena dapat mengantisipasi pendangkalan maupun gerusan sungai dengan perhitungan analisis. Oleh sebab itu, perlu dilakukan studi penelitian ini dimana berfokus pada perhitungan transport sedimen, terkhusus sedimen terapung dengan Metode Einstein dan Metode Brooks di sembilan anak Sungai Bengawan Solo hulu yaitu Sungai Pepe, Sungai Kembangan, Sungai Samin, Sungai Premulung, Sungai Pusur, Sungai Brambang, Sungai Jlantah, Sungai Dengkeng, Sungai Walikan. Hasil dari perhitungan, diambil salah satu sungai, contoh Sungai Pepe dengan Metode Einstein diperoleh nilai debit sedimen terapung sebesar 0,00781291 kg/dt dan Metode Brooks diperoleh nilai sebesar 0,00948695 kg/dt. Untuk cara lain dapat membandingkan dengan hujan rencana yaitu menggunakan Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu, Snyder, maupun Rasional. Dengan data dasar curah hujan kemudian di analisis dengan salah satu metode Hidrograf Satuan Sintesis kala ulang waktu tertentu yang kemudian di hubungkan dengan nilai debit sesaat ketika pengambilan sampel. Hasil dari analisis ini menghasilkan persamaan yaitu $q_s = 0,0559 Q^{2,7542}$ dimana “ q_s ” adalah nilai debit sedimen terapung dan “ Q ” adalah nilai debit aliran sesaat. Dan untuk pembandingan debit rencana sebagai contoh kala ulang 100 tahun diperoleh persamaan $q_{s\ 100\ th} = 5E-06 Q_{100\ th}^{1,666}$ dimana “ q_s ” adalah nilai debit sedimen terapung dan “ $Q_{100\ th}$ ” adalah nilai debit rencana kala ulang 100 tahun.

Kata kunci: Debit Sesaat; Debit Rencana, Sedimen Terapung, Metode Einstein, Metode Brooks

Pendahuluan

Sungai Bengawan solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa, memiliki banyak sekali manfaat dalam kehidupan sehari-hari. Sungai ini memiliki hulu bagian Wonogiri (Waduk Gajah Mungkur) dan berakhir di hilir bagian Bojonegoro, Tuban, Lamongan, Gresik. Sungai Bengawan Solo mempunyai beberapa anak-anak sungai dari Bendungan Wonogiri sampai dengan Jembatan Jurug yang seringkali mempengaruhi laju angkutan sedimen di Sungai Bengawan Solo (PWS Bengawan Solo, 1990). Dalam hal ini sedimen yang terhanyut dapat menyebabkan ketidakstabilan penampang sungai, salah satunya terjadi penumpukan sedimen di kanan kiri atau tengah penampang sungai yang mengakibatkan elevasi kedalaman pada ruas sungai berubah-ubah, di satu sisi terjadi pendangkalan dan di sisi lain terjadi gerusan sehingga berpotensi pendangkalan dan bahaya banjir (Abdurrosyid, 2003). Maka dari itu, dibuatlah kajian pengambilan sampel sedimen, khususnya sedimen terapung di hulu sungai mulai dari bendungan Gajah Mungkur yang berada di daerah Wonogiri dengan hilir yang dibatasi sampai Jembatan Jurug, Palur, Karanganyar. Dengan pengambilan *sample* data pada tiap anak sungai dari hulu sampai hilir.

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah seberapa besar debit sedimen terapung (*suspended load*) yang terjadi pada anak-anak sungai Bengawan Solo yang dapat berpotensi pengendapan pada sungai itu sendiri.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konsentrasi sedimen pada sungai, mengetahui debit sedimen terapung yang terbawa oleh arus sungai, dan kemudian dapat membuat persamaan hubungan antara debit sungai (anak-anak sungai) dengan debit sedimen terapung.

Dasar Teori

Pengolahan data curah hujan menggunakan tiga metode berupa Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu, HSS Snyder, dan metode rasional. yang masing-masing memiliki persamaan sebagai berikut (Tri Atmojo, 2018, Sihotang, 2019).

a. Metode HSS Nakayasu

$$Q = \frac{A \times R_c}{3,6(0,3 \times T_p + T_{0,3})} \tag{1}$$

b. Metode HSS Snyder

$$q_p = 0,278 \frac{C_p}{T_p} \tag{2}$$

c. Metode Rasional

$$Q = 0,278 \times C \times I_R \times A \tag{3}$$

Untuk analisis sedimen terapung digunakan metode Einstein dan metode Brooks, metode tersebut memiliki persamaan (Abdurrosyid,2003; Afdhaliah, N. Dkk, 2017; Diansari, 2014; Ningsih, 2020) sebagai berikut.

a. Metode Einstein

$$q_s = 11,6 \times U_o \times C_a \times a \left[2.303 \log \left(\frac{30,2 \times D}{\Delta} \right) I_{1+} I_2 \right] \tag{4}$$

b. Metode Brooks

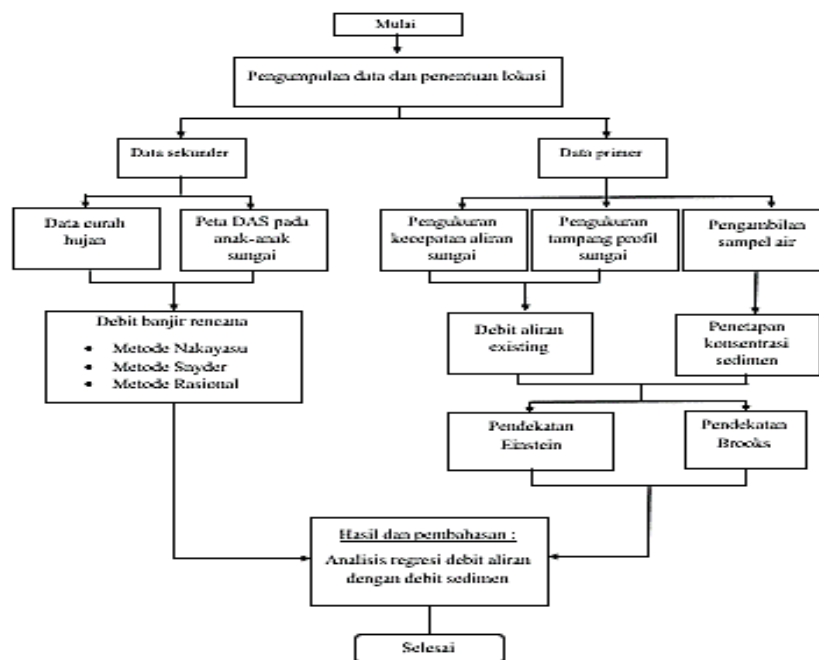
$$\frac{q_s}{q_{cmd}} = \left(Z_1, \frac{KxV}{U_o} \right) \tag{5}$$

Metode

Metode dalam penelitian ini, tahap pertama mengumpulkan data primer yaitu pengambilan sampel dari anak-anak sungai Bengawan Solo yang berupa sedimen terapung (*suspended load*) yang kemudian di uji di laboratorium (Lab Teknik Sipil UMS Surakarta). Pengambilan langsung dilakukan di sembilan anak sungai Bengawan Solo yaitu Kali Pepe, Kali Jlantah, Kali Dengkeng, Kali Walikan, Kali Pусur, Kali Brambang, Kali Kembangan, Kali Premulung, dan Kali Samin. Tahap kedua berupa pengumpulan data sekunder curah hujan dari Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo (KEMEN PUPR Dirjen SDA, Indonesia) dalam jangka waktu sepuluh tahun terakhir.

Kemudian untuk tahap analisis data selanjutnya, yaitu pengolahan data curah hujan menggunakan tiga metode berupa HSS Nakayasu, HSS Snyder, dan metode rasional. Untuk tahap pengolahan data primer yang telah di uji di laboratorium UMS, selanjutnya dilakukan analisis sedimen melayang (*suspended load*) menggunakan metode Einstein dan metode Brooks (Abdurrosyid,2003; Afdhaliah, N. Dkk, 2017; Diansari, 2014; Ningsih, 2020).

Tahap selanjutnya dari penelitian ini yaitu membuat grafik hubungan antara debit air baik debit sesaat maupun debit rencana dengan debit sedimen terapung dan akhirnya dapat ditarik kesimpulan dari analisis data sebelumnya. Untuk kelengkapan sistematika penyelesaian penelitian disajikan dalam bagan alir Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini kemudian dianalisis dengan menggunakan persamaan yang telah dicantumkan pada metode sebelumnya meliputi :

1. Analisis Banjir Rencana

a. Metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Hasil analisis Banjir Rencana pada Kali Pepe dari Periode 1,01-100 tahun (Tri Atmojo, 2018; Ros Rante, 2016; Sihotang, 2019) didapatkan:

Tabel 1. Hasil Hidrograf Banjir Rencana Periode 1,01-100 tahun

No	Periode Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana Maksimum (m^3/dt)	Debit Banjir Rencana Maks. (Pembulatan) (m^3/dt)
1	1,01	169,020	170
2	2	271,457	272
3	5	317,691	318
4	10	343,882	344
5	25	373,433	374
6	50	393,380	394
7	100	411,859	412

b. Metode Hidrograf Satuan Sintesis Snyder

Nilai Banjir Rencana pada Kali Pepe dari Periode 1,01-100 tahun didapatkan (Tri Atmojo, 2018; Ros Rante, 2016; Sihotang, 2019).

Tabel 2. Hasil Hidrograf Banjir Rencana Periode 1,01-100 tahun

No	Periode Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana Maksimum (m^3/dt)	Debit Banjir Rencana Maks. (Pembulatan) (m^3/dt)
1	1,01	647,763	648
2	2	982,137	983
3	5	1149,414	1150
4	10	1244,173	1245
5	25	1351,090	1352
6	50	1423,256	1424
7	100	1490,116	1491

c. Metode Rasional

Nilai Banjir Rencana pada Kali Pepe dari Periode 1,01-100 tahun didapatkan (Tri Atmojo, 2018; Ros Rante, 2016; Sihotang, 2019):

Tabel 3. Hasil Hidrograf Banjir Rencana Periode 1,01-100 tahun

T (kala ulang)	1,01	2	5	10	25	50	100
R_T	61,024	98,009	114,702	124,158	134,828	142,029	148,701
I_R	2,342	3,761	4,402	4,765	5,174	5,450	5,706
Q_T (m^3/dt)	118,552	190,403	222,832	241,203	261,931	275,921	288,883

2. Analisis Sedimen Terapung

Perolehan hasil debit sedimen terapung menggunakan Metode Einstein dan Metode Brooks dapat dilihat pada tabel (Abdurrosyid,2003; Afdhaliah, N. Dkk, 2017; Diansari, 2014; Ningsih, 2020) sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Analisa Debit Sedimen Terapung Metode Einstein, dan Brooks

Uraian	Debit Sedimen Layang (q_s) (ton/hari)	
	Metode Einstein	Metode Brooks
Kali Pepe	0,67503562	0,81967264
Kali Kembangan	1,28687457	0,06239085
Kali Premulung	0,22052431	0,14929711
Kali Puser	0,03936432	0,00452832
Kali Brambang	1,32684034	4,28019364
Kali Jlantah	0,04724861	0,00005514
Kali Dengkeng	0,07072460	0,01646497
Kali Walikan	0,01977990	0,00110147
Kali Samin	2,53284042	2,22921981

3. Analisis Debit Sesaat dengan Debit Sedimen Terapung

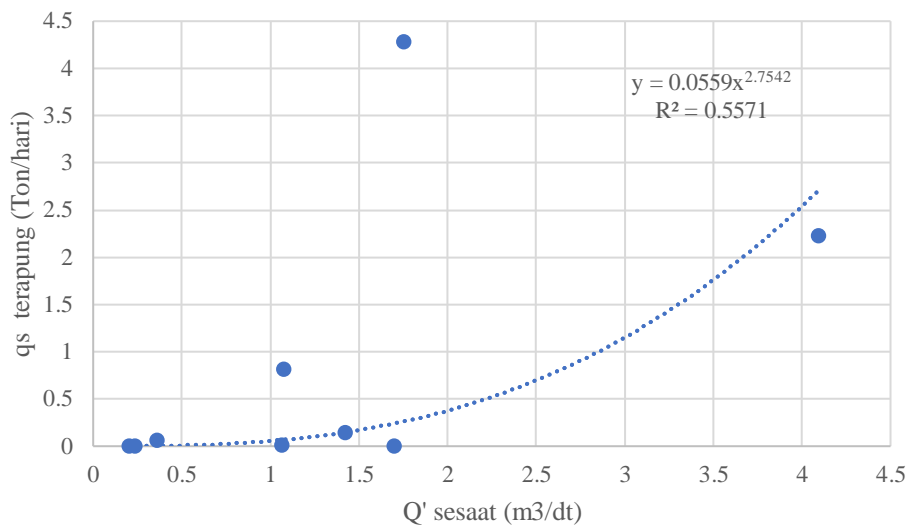
Untuk data antara debit sesaat dengan debit sedimen terapung (Abdurrosyid, 2013) ditunjukkan pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Data Debit Sesaat dengan Debit Sedimen Terapung

Nama Kali	Debit Sesaat (m^3/dt)	Debit Sedimen Terapung (Ton/hari)
Kali Pepe	1,07882882	0,81967264
Kali Kembangan	0,36542600	0,06239085
Kali Premulung	1,42761686	0,14929711
Kali Puser	1,70013502	0,00452832
Kali Brambang	1,75502915	4,28019364
Kali Jlantah	0,23959174	0,00005514
Kali Dengkeng	1,06739028	0,01646497
Kali Walikan	0,20730116	0,00110147
Kali Samin	4,09772965	2,22921981

Berdasarkan table 5 tersebut, maka diperoleh grafik hubungan antara debit sedimen terapung (suspended load) dengan debit aliran sesaat sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan korelasi q_s (debit sedimen terapung, Ton/hari) dengan debit aliran sesaat (Q' , m^3/dt) dengan angka korelasi cukup tinggi yaitu 0,746, adapun persamaannya dalam bentuk persamaan power sebagai berikut

$$q_s = 0,0559 Q'^{2,7542} \quad (6)$$



Gambar 2. Grafik Hubungan Debit Sedimen Terapung dengan Debit Sesaat

Dari grafik diatas, dengan percobaan sebelumnya pada Sungai Power di Arvada, Wyoming diperoleh nilai, $q_s = 0,2 Q'^{1,85}$ (Abdurrosyid, 2013; Siwamba, 2017; Mieras, 2019), sedangkan pada percobaan penelitian kali ini diperoleh nilai $q_s = 0,0559 Q'^{2,7542}$. Pada percobaan ini dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisis dipengaruhi oleh ciri sungai, baik luas DAS, Panjang sungai, kemiringan sungai, dan karakteristik sungai yang beraneka ragam (Bose dan Dey, 2009; Kironoto, et.al., 2019).

Sedang untuk data antara debit rencana dengan debit sedimen terapung ditunjukkan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Data Debit Rencana dengan Debit Sedimen Terapung

Metode	Nama Kali	Debit (m ³ /dt)							Debit Sedimen Layang (Ton/hari)
		Debit Rencana Kala Ulang (m ³ /dt)							
		1,01	2	5	10	25	50	100	
Nakayasu	Kali Pepe	170	272	318	344	374	394	412	0,81967264
	Kali Kembangan	32	51	59	64	69	73	76	0,06239085
	Kali Samin	78	126	147	159	173	182	190	2,22921981
	Kali Pusur	28	44	51	56	60	64	67	0,00452832
	Kali Premulung	204	327	382	414	449	473	496	0,14929711
	Kali Brambang	164	264	309	334	363	382	400	4,28019364
	Kali Jlantah	48	77	90	97	106	111	117	0,00005514
	Kali Dengkeng	456	732	857	928	1007	1061	1111	0,01646497
	Kali Walikan	47	74	87	94	102	108	113	0,00110147

Berdasarkan Tabel 6 tersebut, maka diperoleh grafik hubungan antara debit sedimen terapung (suspended load) dengan debit rencana sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan korelasi q_s (debit sedimen terapung, Ton/hari) dengan debit rencana (Q_r , m³/dt) dengan kala ulang (return period) meliputi 1,01 th, 2 th, 5 th, 10 th, 25 th, 50 th, dan 100 th, adapun persamaannya dalam bentuk persamaan power sebagai berikut:

$$q_s_{1,1th} = 2E-05Q_{1,1th}^{1,6823} \tag{7}$$

$$q_s_{2th} = 1E-05Q_{2th}^{1,6821} \tag{8}$$

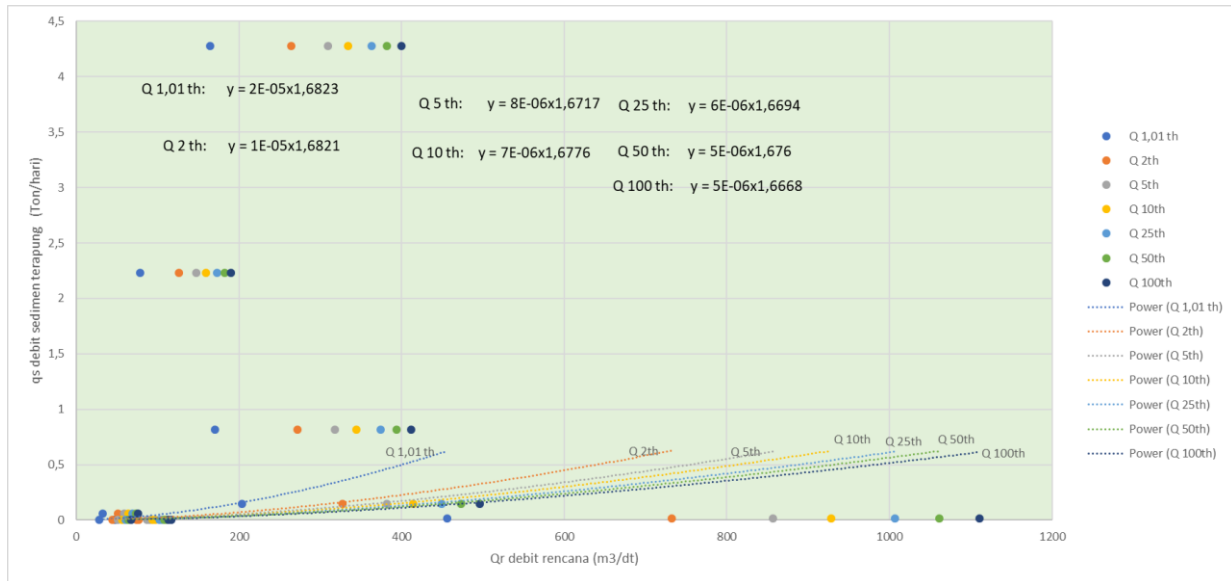
$$q_s_{5th} = 8E-06Q_{5th}^{1,6717} \tag{9}$$

$$q_s_{10th} = 7E-06Q_{10th}^{1,6776} \tag{10}$$

$$q_s_{25th} = 6E-06Q_{25th}^{1,6694} \tag{11}$$

$$q_s \text{ } 50 \text{ th} = 5E-06Q_{50\text{th}}^{1,6760} \tag{12}$$

$$q_s \text{ } 100 \text{ th} = 5E-06Q_{100\text{th}}^{1,666} \tag{13}$$



Gambar 3. Grafik Hubungan Debit Sedimen Terapung Dengan Debit Rencana Kala Ulang

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan serta dari analisis pembahasan didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis perhitungan curah hujan dan sedimen, diperoleh hubungan antara debit sesaat aliran dengan debit sedimen terapung, serta debit rencana (Metode Nakayasu) dengan debit sedimen layang, yang masing-masing dapat menghasilkan grafik dan persamaan korelasi sebagai berikut : $q_s = 0,0559 Q^{2,7542}$
 Dari grafik tersebut, dengan percobaan sebelumnya pada Sungai Power di Arvada, Wyoming diperoleh nilai, $q_s = 0,2 Q^{1,85}$, sedangkan pada percobaan penelitian kali ini diperoleh nilai $q_s = 0,0559 Q^{2,7542}$. Pada percobaan ini dapat disimpulkan bahwa perhitungan analisis dipengaruhi oleh ciri sungai, baik luas DAS, Panjang sungai, kemiringan sungai, dan karakteristik sungai yang beraneka ragam.
2. Hasil analisis debit rencana dengan debit sedimen terapung diperoleh persamaan korelasi q_s (debit sedimen terapung, Ton/hari) dengan debit rencana (Q_r , m^3/dt) dengan kala ulang (return period) meliputi 1,01 th, 2 th, 5 th, 10 th, 25 th, 50 th, dan 100 th, adapun persamaannya dalam bentuk persamaan power sebagai berikut:

$$q_s \text{ } 1,1 \text{ th} = 2E-05Q_{1,1\text{th}}^{1,6823}$$

$$q_s \text{ } 2 \text{ th} = 1E-05Q_{2\text{th}}^{1,6821}$$

$$q_s \text{ } 5 \text{ th} = 8E-06Q_{5\text{th}}^{1,6717}$$

$$q_s \text{ } 10 \text{ th} = 7E-06Q_{10\text{th}}^{1,6776}$$

$$q_s \text{ } 25 \text{ th} = 6E-06Q_{25\text{th}}^{1,6694}$$

$$q_s \text{ } 50 \text{ th} = 5E-06Q_{50\text{th}}^{1,6760}$$

$$q_s \text{ } 100 \text{ th} = 5E-06Q_{100\text{th}}^{1,666}$$

Daftar Notasi

- Q = debit aliran, m^3/dt
- A = luas tangkapan air, m^2 (= ha)
- R_c = hujan satuan, mm
- T_p = waktu puncak, jam
- $T_{0,3}$ = waktu pada $t_{0,3}$, jam
- q_p = debit puncak, m^3/dt
- c_p = konstanta puncak
- C = koefisien aliran
- I_R = intensitas hujan pada periode ulang tertentu, mm/jam
- q_s = debit sedimen terapung (*suspended load*), m^3/dt

Q'	= debit sesaat, m^3/dt
Q_{Tth}	= debit rencana kala ulang T tahun, m^3/dt
U^*	= kecepatan gesek, m/dt
Ca	= konsentrasi sedimen rata-rata, ‰
a	= 2 kali diameter sedimen, m
D	= kedalaman sungai, m
Δ	= kekasaran relative sedimen pada pengaruh viskositas, m
I_1, I_2	= nilai numerik yang tergantung pada rasio kekasaran dan kedalaman
I_R	= intensitas hujan pada periode ulang tertentu, mm/jam
q	= debit aliran persatuan lebar, $m^3/dt/m'$
C_{md}	= konsentrasi sedimen referensi pada $1/2D$, ‰
Z_1	= distribusi konsentrasi sedimen
K	= konstanta Von Karman
V	= kecepatan aliran, m/dt

Daftar Pustaka

- Abdurrosyid, J., (2003), "*Transpor Sedimen (Buku Ajar)*", Universitas Muhammadiyah Surakarta, pp. 80-100
- Afdhaliah, N., Faridah, Munir, A., (2017), "Analisis Perhitungan Debit Muatan Sedimen (*Suspended Load*) pada Daerah Irigasi Lelopancing Kabupaten Maros", *AgriTechno*, Vol. 10, No. 2.
- Anonim (1990), "*Master Plan Pengembangan Sungai Bengawan Solo*", PWS Bengawan Solo, DPU.
- Diansari, R., (2014), "Analisis Perhitungan Muatan Sedimen (*Suspended Load*) pada Muara Sungai Lilin Kabupaten Musi – Banyuasin". *Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 2, No. 2.
- Kironoto, B. A., Yulistiyanto, B., Giarto, B., Kiptiah, M., Tantowi, M. L., (2019), "The Simplified of Suspended Sediment Measurement Method in Natural River (Case study of Kuning River in Yogyakarta, Indonesia)", *Journal of The Civil Engineering FORUM, UGM*, Vol. 5 No. 3, September 2019.
- Mieras, R. S., Puleo, J. A., Anderson, D., Hsu, T. J., Cox, D. T., Calantoni, J., (2019), "Relative Contributions of Bed Load and Suspended Load to Sediment Transport Under Skewed-Asymmetric Waves on a Sandbar Crest", *JGR Oceans*, Vol. 124, Issue 2.
- Ningsih, S., (2020), "*Studi Angkutan Sedimen Layang (Suspended Load) di Estuari Kuala Langsa*", Skripsi, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Samudra, Aceh.
- Rante, N., R., Sumarauw, J. S. F., Wuisan, E.M., (2016). "Analisis Debit Banjir Anak Sungai Tikala pada Tiik Tinjauan Kelurahan Banjar Link. V Kecamatan Tikala dengan Menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS", *TEKNO*, Vol.14, No.65.
- Sihotang, R., Hazmi, M., Rahmawati, D. (2019), "Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu (Studi kasus: Situ Gintung)", *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, Vol.7, No.1.
- Siwamba, T. M., Nurhayati, Nirmala, A., (2017), "*Angkutan Sedimen Layang pada Saluran Terbuka di Parit Tokaya Kota Pontianak*". Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak.
- Bose S. K., Dey, S., (2009), "Suspended load in flows on erodible bed", *International Journal of Sediment Research*, Vol. 24, Issue 3, September 2009, pp. 315-324.
- Triatmojo, B., (2018), "*Hidrologi Terapan*", Beta Offset, Yogyakarta, pp. 50-80.