

## **KARATERISTIK DISTRIBUSI SEDIMEN SUSPENSİ PADA SUNGAI ALAMI MENGGUNAKAN PERSAMAAN ROUSE**

**Rahmat Bangun Giarto<sup>1</sup>, Bambang Agus Kironoto<sup>2</sup>, Bambang Yulistiyanto<sup>3</sup>, Totok Sulisty<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup>Program Studi D3 Teknik Sipil, Politeknik Negeri Balikpapan

<sup>2,3</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada

### **Informasi Makalah**

Dikirim, 11 Februari 2020

Direvisi, 15 Maret 2020

Diterima, 22 Maret 2020

### **Kata Kunci:**

Sungai Alami  
Persamaan Rouse  
Sedimen Suspensi

### **Keyword:**

Natural Rivers  
Rouse Equation  
Sediment Suspension

### **INTISARI**

Angkutan sedimen suspensi merupakan permasalahan yang kerap terjadi pada sungai alami dan dapat mengakibatkan pendangkalan pada sungai. Angkutan sedimen suspensi terdiri dari partikel-partikel lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) yang dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas dan kuantitas dalam pemanfaatan air di sungai. Aliran air yang tercampur dengan sedimen, akan mengendapkan sedimen berbutir kasar (*bed load*) terlebih dahulu dibandingkan dengan sedimen berbutir halus (*suspended load*) yang akan terangkut mengikuti aliran sungai. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran kecepatan dan konsentrasi sedimen suspensi arah vertikal dan arah transversal. Pengukuran menggunakan metode *Point Integrated Sampling* (PIS). *Opcon Probe* digunakan untuk mengukur konsentrasi sedimen suspensi sedangkan *propeller currentmeter* digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran. Pada saat pelaksanaan pengamatan kedua alat ukur tersebut dimasukkan ke dalam air yang mengalir pada tampang melintang di sungai. Konsentrasi sedimen suspensi mengalami peningkatan saat mendekati dasar sungai dan mengalami penurunan saat mendekati permukaan sungai. Persamaan *Rouse* dapat digunakan dalam memprediksi distribusi sedimen suspensi pada tengah sungai, sedangkan untuk arah transversal atau posisi tidak di tengah sungai (0,5B) seperti di tepi sungai profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi tidak cukup baik untuk memprediksi distribusi konsentrasi sedimen suspensi dengan persamaan *Rouse*. Diperlukan faktor koreksi  $\beta$  untuk memprediksi distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada tepi sungai dengan nilai faktor koreksi  $\beta > 1$ .

### **ABSTRACT**

Suspension sediment transportation is the problem that frequently occurs in the bottom of natural rivers, and it sometimes causes rivers shallowing. Sediment suspension transport consists of fine-grained silt and clay that can induce in reducing both the quality and quantity of rivers water in terms of its usage. The mixture of water and sediment flow will settle coarse-grained or bed load priorly rather than fined-grained sediment or suspended load that will be transported longer in the rivers water stream. This research was conducted by measurement of stream water velocity, vertical sediment suspension concentration, and measurement in transversal direction. Point Integrated Sampling was employed in the measurement processes. Opcon probe was used to measure suspended sediment concentration; meanwhile, the propeller current meter was used to measure water velocity. In the implementation and observation, both of measurement tools were drowned in the flowing water, in position of the cross section of rivers. Closer to the river's bottom, the sediment suspension concentration is increased; on the contrary, it is decreased in concentration close to the surface. Rouse equation is able to predict the distribution of sediment suspension in the middle of the river, and when the transversal direction or location is not in the middle of the river (0.5B) such as in the river profile side, Rouse equation is not good enough to predict the distribution of sediment suspension concentration. The correction factor ( $\beta$ ) is needed in predicting concentration of sediment suspension in rivers side, where  $\beta > 1$ .

---

**Korespondensi Penulis:**

Rahmat Bangun Giarto  
Program Studi Teknik Sipil  
Politeknik Negeri Balikpapan  
Jl. Jl. Soekarno Hatta KM. 8 76129  
Email: rahmat.bangun@poltekba.ac.id

---

**1. PENDAHULUAN**

Memprediksi angkutan sedimen suspensi merupakan tahapan yang harus dilakukan dalam merencanakan bangunan hidraulik. Angkutan sedimen suspensi merupakan permasalahan yang kerap terjadi pada sungai alami dan dapat mengakibatkan pendangkalan pada sungai. Pendangkalan pada dasar sungai terjadi diakibatkan adanya proses erosi pada bagian hulu sungai yang mengakibatkan terjadinya angkutan sedimen ke hilir sungai [1][2]. Angkutan sedimen suspensi terdiri dari partikel-partikel lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) yang dapat mengakibatkan berkurangnya kualitas dan kuantitas dalam pemanfaatan air di sungai, seperti menurunkan fungsi pemanfaatan air untuk bahan baku air minum, perikanan, dan irigasi serta dapat mempengaruhi fungsi bangunan hidraulik [3] [4].

Aliran air yang tercampur dengan sedimen, akan mengendapkan sedimen berbutir kasar (*bed load*) terlebih dahulu dibandingkan dengan sedimen berbutir halus (*suspended load*) yang akan terangkut mengikuti aliran sungai. Untuk mendapatkan data sedimen suspensi, perlu dilakukan pengukuran/pengambilan sampel langsung di lapangan atau dapat memprediksi sedimen suspensi menggunakan persamaan teoritis yang terdapat di literatur [5].

Persamaan teoritis banyak dijumpai di literatur dan dapat digunakan untuk memprediksi distribusi sedimen suspensi antara lain yakni persamaan Rouse (1937), persamaan Lane dan Kalinske (1941), persamaan Tanaka dan Fugimoto (1958), persamaan Einstein (1955), dan lain-lain (dalam Graf, 1984) [6]. Persamaan Rouse merupakan persamaan yang paling banyak digunakan dalam melakukan analisa distribusi konsentrasi sedimen suspensi dan merupakan salah satu pendahulu dari persamaan-persamaan yang terdapat pada literatur.

Merujuk pada masalah di atas, dilakukan studi kasus pada Sungai Opak dan Sungai Kuning yang merupakan sungai alami yang berhulu di Gunung Merapi [7]. Kajian dilakukan dengan menggunakan data pengukuran konsentrasi sedimen suspensi yang diperoleh sebelumnya oleh Kironoto dan Bangun (2016) pada arah vertikal dan transversal (pengambilan data dilakukan dari tengah sungai ke tepi sungai) dengan persamaan literatur yang digunakan yakni persamaan Rouse [8].

**2. METODA PENELITIAN****2.1. Pendahuluan**

Metoda yang digunakan pada penelitian ini yakni metoda pengukuran kecepatan dan konsentrasi sedimen suspensi arah vertikal dan pengukuran arah transversal. Pengukuran menggunakan metode *Point Integrated Sampling* (PIS) dimana pengukuran pada titik-titik yang telah ditentukan arah vertikal maupun horizontal [9].

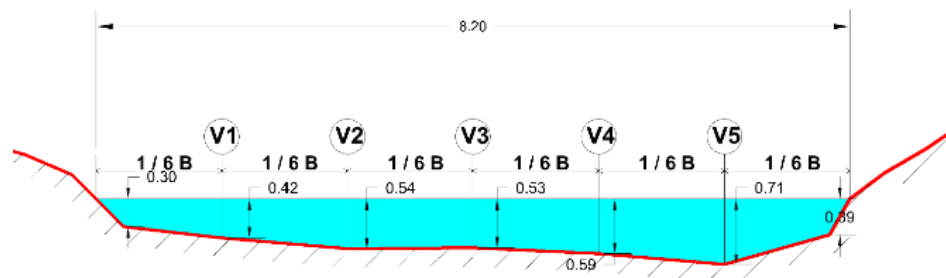
Kegiatan penelitian dilakukan pengukuran pada lima tampang Sungai Opak dan enam tampang Sungai Kuning dengan berbagai variasi kedalaman air, debit saluran, lebar saluran, kekasaran tepi sungai, serta kemiringan sungai. *Opcon Probe* digunakan untuk mengukur konsentrasi sedimen suspensi sedangkan *propeller currentmeter* digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran. Pada saat pelaksanaan pengamatan kedua alat ukur tersebut dimasukkan kedalam air yang mengalir pada tampang melintang di sungai [7]. Penamaan kode pengukuran berdasarkan lokasi dan titik pengukuran dimana O adalah Sungai Opak, K adalah Sungai Kuning, S adalah *cross section* dan V adalah titik pengukuran secara vertikal.

Pengukuran pada satu pias (*cross section*) yang direncanakan yang disajikan pada Gambar 1 sebagai berikut:

1. Arah transversal pada penelitian ini ditentukan jarak-jarak titik pengukuran tampang dari tepi ke tepi dengan jarak  $1/6B$  dengan  $B$  adalah lebar sungai [10].
2. Arah vertikal (kedalaman), pengukuran dimulai dari dasar sungai dengan jarak antara posisi alat dan dasar sungai seminimal mungkin yaitu 4 cm dengan penambahan interval 1 cm daerah *inner region* (diasumsikan  $0,2 D$ ) dan untuk *outer region* ( $0,8 D$ ) dengan interval 10 cm di setiap titik untuk

mendapatkan data kecepatan dan sedimen suspensi dimana D adalah kedalaman pada tiap vertikal [11][12].

3. Waktu pengukuran pada setiap titik selama 30 detik.



Gambar 1. Detail Penampang 5 Sungai Kuning

## 2.2. Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi ditentukan berdasarkan karakteristik sungai alami seperti dinding saluran yang masih alami, saluran yang lurus terhindar dari pengaruh belokan yang akan disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 2. Lokasi Pengukuran Sungai Opak, Koordinat Lokasi 7°46'33.06"S 110°28'30.13"E, Jobohan, Bokoharjo, Kec. Prambanan, Kab. Sleman, Yogyakarta.



Gambar 3. Lokasi Pengukuran Sungai Kuning, Koordinat Lokasi 7°46'57"S 110°26'21"E, Sorogenan II, Purwomartani, Kec. Kalasan, Kab. Sleman, Yogyakarta.

## 2.3. Persamaan Rouse

Persamaan Rouse (1937, dalam Yang, 1996) yang didasarkan pada distribusi kecepatan logaritmik dan asumsi bahwa koefisien difusi sedimen mempunyai nilai yang sama dengan koefisien transfer momentum, mengusulkan persamaan sebagai berikut [13]:

$$\frac{C}{C_a} = \left[ \frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right]^z \text{ dengan } Z = \frac{w_s}{\kappa u_*} \quad (1)$$

dimana,

$C$  = konsentrasi sedimen pada suatu titik berjarak  $y$  dari titik referensi

$C_a$  = konsentrasi referensi yang berjarak  $a$  dari titik referensi

$D$  = kedalaman aliran

$y$  = titik pengukuran vertikal diukur ke permukaan dari dasar (m)

$a$  = level referensi (m)

$Z$  = suatu eksponen dari persamaan distribusi sedimen, disebut sebagai parameter Rouse (*Rouse Number*)

$w_s$  = kecepatan jatuh partikel /endap sedimen suspensi (m/s)

$u_*$  = kecepatan gesek metode clausner

$k$  = konstanta von karman

### 3. HASIL PENELITIAN

#### 3.1. Data Pengukuran

Hasil dari 55 pengukuran kecepatan dan konsentrasi sedimen suspensi pada sungai alami disajikan sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Lapangan

Kode	B (m)	D (m)	$U_y$ (m/s)	$C_y$ (gr/ltr)	Kode	B (m)	D (m)	$U_y$ (m/s)	$C_y$ (gr/ltr)
OS1V1	4	0,46	0,17	0,29	KS1V1	6,2	0,99	0,38	0,46
OS1V2		0,64	0,31	0,29	KS1V2		0,92	0,50	0,46
OS1V3		0,73	0,32	0,30	KS1V3		0,75	0,38	0,46
OS1V4		0,79	0,23	0,29	KS1V4		0,6	0,43	0,46
OS1V5		0,82	0,27	0,28	KS1V5		0,5	0,26	0,46
OS2V1	4	0,45	0,22	0,30	KS2V1	7,9	0,55	0,51	0,45
OS2V2		0,63	0,29	0,32	KS2V2		0,51	0,63	0,45
OS2V3		0,64	0,19	0,33	KS2V3		0,6	0,49	0,45
OS2V4		0,68	0,20	0,34	KS2V4		0,52	0,41	0,40
OS2V5		0,69	0,11	0,29	KS2V5		0,3	0,24	0,41
OS3V1	9	0,57	0,19	0,92	KS3V1	7,7	0,51	0,16	0,50
OS3V2		0,7	0,35	0,93	KS3V2		0,73	0,41	0,50
OS3V3		0,83	0,31	0,95	KS3V3		0,78	0,39	0,49
OS3V4		0,94	0,36	0,92	KS3V4		0,91	0,21	0,49
OS3V5		0,94	0,26	0,90	KS3V5		0,71	0,07	0,47
OS4V1	12,3	0,9	0,36	1,08	KS4V1	6,3	0,36	0,24	0,45
OS4V2		0,87	0,42	1,10	KS4V2		0,63	0,44	0,46
OS4V3		0,87	0,32	1,11	KS4V3		0,74	0,47	0,45
OS4V4		0,58	0,20	1,10	KS4V4		0,84	0,36	0,44
OS4V5		0,6	0,15	1,10	KS4V5		0,8	0,15	0,42
OS5V1	12,5	0,75	0,35	1,15	KS5V1	8,2	0,42	0,22	0,42
OS5V2		0,78	0,36	1,14	KS5V2		0,54	0,30	0,44
OS5V3		0,73	0,36	1,14	KS5V3		0,53	0,35	0,45
OS5V4		0,62	0,25	1,12	KS5V4		0,59	0,38	0,45
OS5V5		0,63	0,21	1,11	KS5V5		0,71	0,30	0,45
					KS6V1	8,6	0,52	0,23	0,46
					KS6V2		0,57	0,32	0,46
					KS6V3		0,52	0,34	0,47
					KS6V4		0,47	0,34	0,46
					KS6V5		0,41	0,26	0,46

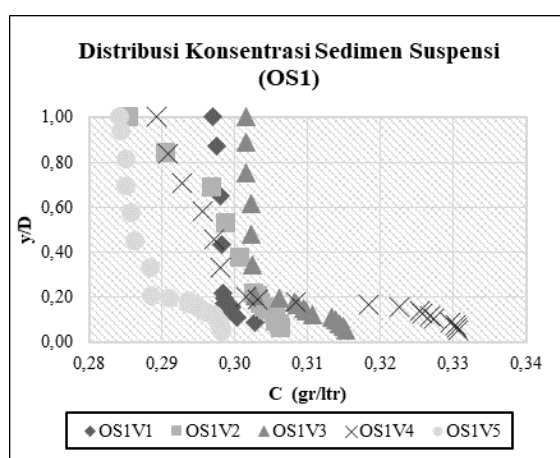
Sumber : Hasil Pengukuran [4]

### 3.2. Konsentrasi Sedimen Suspensi

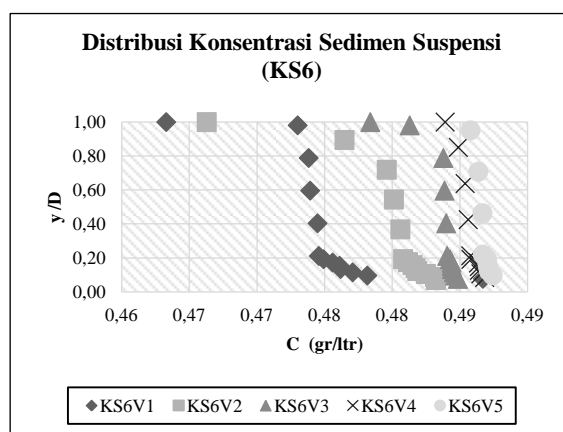
Perolehan hasil pengukuran distribusi sedimen suspensi di Sungai Opak dan Sungai Kuning disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5, konsentrasi sedimen suspensi mengalami peningkatan saat mendekati dasar sungai dan mengalami penurunan saat mendekati permukaan sungai. Hal ini dapat diindikasikan bahwa partikel butiran sedimen suspensi mempunyai kecepatan endap dan adanya pengaruh kecepatan didasar sungai yang mengecil dan mengakibatkan semakin banyak butiran sedimen suspensi berada di dasar sungai, sehingga konsentrasi sedimen suspensi pada bagian dasar semakin besar/pekat.

Perubahan profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi bagian tengah vertikal, yaitu pada kedalaman 0,2D menuju permukaan, data analisis dan pengukuran menunjukkan bahwa profil distribusi berbentuk semakin tegak. Hal ini diindikasikan bahwa kandungan sedimen suspensi semakin seragam, karena pada bagian tengah vertikal daya angkut sedimen suspensi oleh kecepatan aliran merata sampai permukaan sungai.

Hasil analisis konsentrasi sedimen rata-rata pada tiap-tiap *cross section* akan disajikan pada Tabel 2. Debit angkutan (transpor) yang terangkut oleh aliran air melewati tampang basah sungai, yang nilainya berhubungan dengan luas tampang, konsentrasi sedimen suspensi yang dan kecepatan aliran disebut dengan debit sedimen suspensi  $Q_s$  dan disajikan pada Tabel 3.



Gambar 4. Profil Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi pada *cross section* OS1 Sungai Opak.



Gambar 5. Profil Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi pada *cross section* KS6 Sungai Kuning.

Tabel 2. Konsentrasi Sedimen Tiap-tiap *Cross Section*

Lokasi	C (g/ltr)	Lokasi	C (gr/ltr)
OS1	0,29	KS1	0,46
OS2	0,31	KS2	0,43
OS3	0,92	KS3	0,49
OS4	1,10	KS4	0,44

OS5	1,13	KS5	0,44
		KS6	0,46

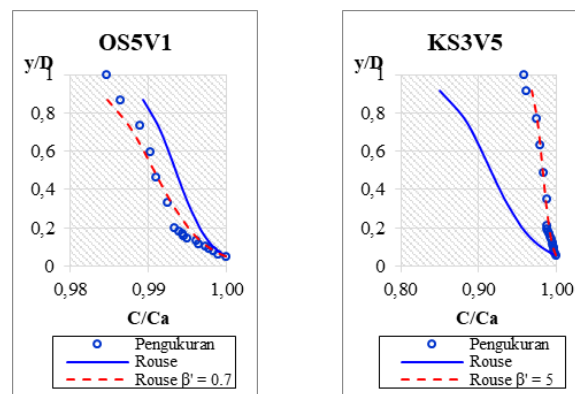
Sumber : Hasil Analisis

Tabel 3. Debit Sedimen Suspensi $Q_s$			
Lokasi	$Q_s$ (gr/s)	Lokasi	$Q_s$ (gr/s)
OS1	172,55	KS1	696,62
OS2	125,87	KS2	587,06
OS3	1558,14	KS3	568,61
OS4	2532,75	KS4	511,97
OS5	2441,23	KS5	512,70
		KS6	481,67

Sumber : Hasil Analisis

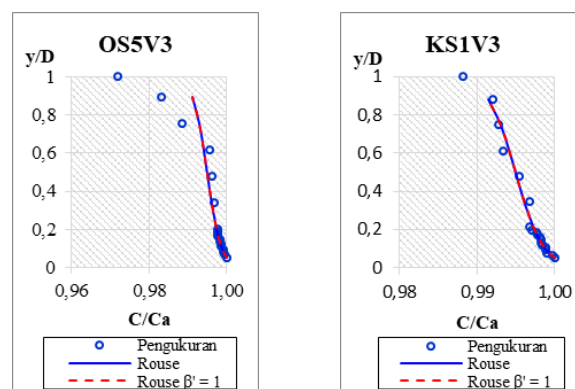
### 3.3. Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Metode Rouse

Hasil perbandingan profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi hasil pengukuran lapangan dengan profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi menggunakan persamaan Rouse dapat memprediksi dengan baik pada posisi di tengah sungai atau 0,5B, baik Sungai Opak ataupun Sungai Kuning. Persamaan Rouse berlaku pada tengah sungai, sedangkan untuk posisi yang lain arah transversal atau posisi tidak di tengah sungai (0,5B) seperti di tepi sungai profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi tidak cukup baik untuk memprediksi distribusi konsentrasi sedimen suspensi dengan persamaan Rouse.



Gambar 6. Profil Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Hasil Pengukuran Tepi Sungai dengan Formulasi Rouse Lokasi Sungai Opak dan Sungai Kuning

Hal ini disebabkan pada tepi sungai terjadi perubahan karakteristik aliran akibat ketidakseragaman dinding tepi sungai, tekstur dinding sungai yang sebagian besar terdiri dari lempung dan pengaruh dari dasar sungai pada bagian tepi yang berbatu sehingga dapat mempengaruhi distribusi konsentrasi sedimen suspensi yang terjadi pada tepi sungai.

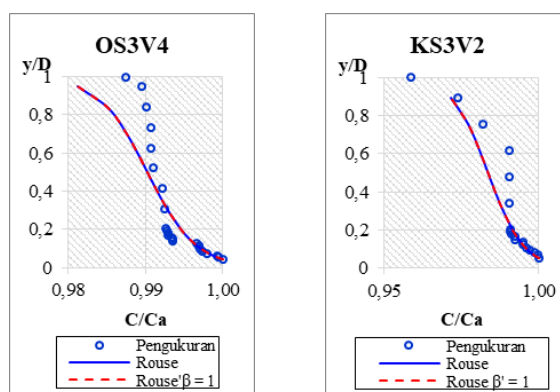


Gambar 7. Profil Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Hasil Pengukuran Tengah Sungai dengan Formulasi Rouse Lokasi Sungai Opak dan Sungai Kuning

### 3.2. Variasi Persamaan Rouse Terhadap Pengukuran

Mengacu pada penelitian yang dilakukan Kironoto, (2008) tentang “Penggunaan Persamaan Rouse untuk Penentuan Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Arah Transversal pada Aliran Seragam Saluran Terbuka” [8] Persamaan Rouse dapat memprediksi dengan baik pada posisi ditengah sungai, karena persamaan ini dikembangkan dengan pendekatan  $\beta = 1$ , Rouse mengasumsikan bahwa  $\varepsilon_s = \varepsilon_m$  yang kemudian dimodifikasi menjadi  $\varepsilon_s = \beta \varepsilon_m$ , dengan suatu faktor perbandingan yaitu  $\beta$ . Menerapkan faktor koreksi untuk parameter Rouse sebagai fungsi,  $\beta' = f(\beta)$ , maka persamaan Rouse dapat digunakan untuk memprediksi profil untuk seluruh penampang, dari tengah ke tepi sungai.

Pengukuran pada tepi sungai dengan kode pengukuran OS5V1 menampilkan hasil perhitungan dengan faktor koreksi Rouse  $\beta' = 0,7$  dan KS3V5 menampilkan hasil perhitungan dengan faktor koreksi Rouse  $\beta' = 5$ . Menggunakan asumsi bahwa kecepatan endap adalah sama dengan sebelum di koreksi  $\beta$  untuk masing tampang sungai dan validasi persamaan Rouse dengan menggunakan faktor koreksi parameter Rouse,  $\beta'$  maka profil konsentrasi sedimen suspensi pada tepi sungai dapat diprediksi dengan baik.



Gambar 8. Profil Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Hasil Pengukuran Tepi Sungai dengan Formulasi Rouse Tanpa Faktor Koreksi  $\beta$  Lokasi Sungai Opak dan Sungai Kuning

Tabel 4. Koefisien Koreksi Parameter Rouse Lokasi Sungai Opak

Kode	$\beta'$ Rouse					
	OS1	OS2	OS3	OS4	OS5	Rata-Rata
V1	2,3	1	5	0,4	0,7	1,88
V2	2	1	0,3	0,5	0,8	0,92
V3	1	1	1	1	1	1,00
V4	0,9	3	1	7	1	2,58
V5	1,5	1,8	0,3	8	3	2,92

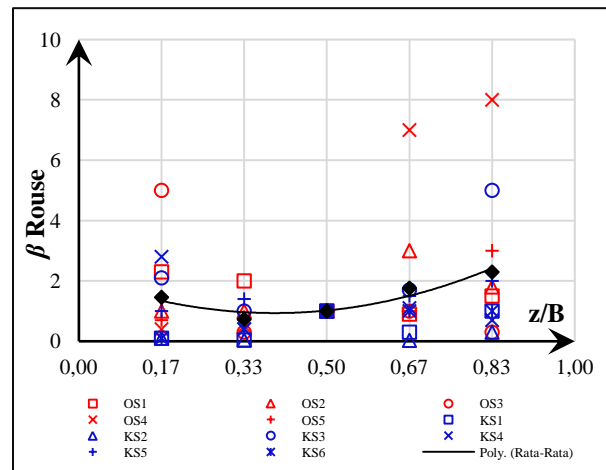
Tabel 5. Koefisien Koreksi Parameter Rouse Lokasi Sungai Kuning

Kode	$\beta'$ Rouse						Rata-Rata
	KS1	KS2	KS3	KS4	KS5	KS6	
V1	0,1	0,1	2,1	2,8	1	0,1	1,03
V2	0,04	0,04	1	0,4	1,4	0,4	0,55
V3	1	1	1	1	1	1	1,00
V4	0,3	0,03	1,7	1,1	1,5	1	0,94
V5	1	0,3	5	0,7	2	1	1,67

Persamaan Rouse dapat berlaku cukup baik dalam memprediksi distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada beberapa bagian tepi sungai tanpa perlu melakukan koreksi  $\beta$ , seperti yang tersaji dalam kode pengukuran KS3V2. Nilai konstanta koreksi  $\beta$  pada lokasi Sungai Opak dan Sungai Kuning seperti yang disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5 yang menyatakan bahwa pada bagian tengah sungai adalah nilai konstanta koreksi  $\beta=1$ , yang berarti bahwa persamaan Rouse dapat memprediksi dengan baik pada bagian tengah

sungai dan nilai konstanta koreksi rata-rata  $\beta'$  meningkat dan menurun (nilai tidak sama dengan 1) pada tepi sungai.

Nilai konstanta koreksi  $\beta$ , didapatkan dari perhitungan metode Kuadrat Terkecil (*Least Square*), yaitu dengan proses memasukan nilai coba-coba atau sembarang pada  $\beta$  kedalam persamaan  $Z = w_s/\beta \cdot \kappa \cdot u_*$ . Dari nilai  $\beta$  yang di coba-coba, kemudian didapatkan nilai  $c/Ca$  dari persamaan Rouse yang terkoreksi, dengan mencari nilai  $\beta$  untuk menghasilkan bentuk kurva yang paling mendekati/berhimpit dengan kurva  $c/Ca$  hasil pengukuran dilapangan.



Gambar 9. Nilai Koreksi  $\beta'$  pada Sungai Opak dan Sungai Kuning

#### 4. KESIMPULAN

Profil distribusi konsentrasi sedimen suspensi yang diukur mendekati permukaan sungai nilai konsentrasi sedimen suspensi semakin mengecil dan konsentrasi lebih besar mendekati dasar sungai disebabkan karena dasar sungai yang kasar sehingga, pada bagian dasar sungai terjadi turbulensi yang besar, kecepatan aliran kecil dan adanya pengaruh gravitasi, sehingga mengakibatkan nilai sedimen suspensi lebih besar pada bagian dasar sungai.

Hasil pengukuran lapangan di sungai alami dengan persamaan Rouse menyatakan bahwa pada bagian tengah sungai atau 0,5 B persamaan Rouse dapat memprediksi dengan baik distribusi konsentrasi sedimen suspensi dengan baik. Dalam menggunakan persamaan Rouse untuk memprediksi distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada tepi sungai, diperlukan faktor koreksi  $\beta$  dengan nilai yang cenderung meningkat  $\beta > 1$ .

#### 5. SARAN

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memperbanyak jumlah pengambilan data, baik yang berhubungan dengan banyaknya titik pengamatannya maupun jumlah variasinya, sehingga pada saat analisis data yang tersedia cukup banyak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Kironoto, "Kajian Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Suspensi Arah Transversal Terhadap Nilai Konsentrasi Sedimen Suspensi Rata-Rata Tampang (Perbandingan Data Pengukuran Laboratorium Dan Lapangan)," *Din. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 101–108, 2007.
- [2] C. Muharis, "Konsentrasi Sedimen Suspensi Rata-Rata Kedalaman Pada Saluran Menikung Berdasarkan Hasil Pengukuran Dan Analisis," *J. Teknik Pengair.*, vol. 008, no. 01, pp. 139–145, 2017, doi: 10.21776/ub.jtp.2017.008.01.14.
- [3] B. A. Kironoto, "Pengaruh Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) Terhadap Distribusi Kecepatan Gesek Arah Transversal pada Aliran Seragam Saluran Terbuka," *Forum Tek. Sipil*, vol. XVII, no. 2, pp. 556–579, 2007.
- [4] R. B. Giarto, "Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Pada Sungai Alami (Studi Kasus Sungai Opak Dan Sungai Kuning Yogyakarta)," Laporan tesis Program Studi Teknik Sipil - Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2016.
- [5] A. Purnama, "Konsentrasi Sedimen Suspensi Pada Belokan 57° Saluran Terbuka," *Unsa Prog.*, vol. 1, no. 3, pp. 11–17, 2015.
- [6] W. H. Graf, *Hydraulics of Sediment Transport*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.
- [7] B. A. Kironoto, B. Yulistiyanto, R. B. Giarto, M. Kiptiah, and M. L. Tantowi, "The Simplified of Suspended Sediment Measurement Method in Natural River (Case study of Kuning River in Yogyakarta, Indonesia)," *J. Civ. Eng. Forum*, vol. 5, no. 3, pp. 243–254, 2019, doi: 10.22146/jcef.47061.
- [8] B. A. Kironoto, "Penggunaan Persamaan Rouse Untuk Penentuan Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Arah



- Transversal Pada Aliran Seragam Saluran Terbuka,” *Media Tek.*, vol. XXX, no. 2, pp. 1–15, 2008.
- [9] B. A. Kironoto, “Konsentrasi Sedimen Suspensi Rata-Rata Kedalaman Berdasarkan Pengukuran 1, 2, Dan 3 Titik Pada Aliran Seragam Saluran Terbuka,” *Din. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 59–71, 2008.
- [10] B. A. Kironoto, B. Yulistiyo, R. B. Giarto, M. Kiptiah, and O. E. Sitinjak, “The Simplified Of Suspended Sediment Measurement Method For Predicting Suspended Sediment Discharge In Natural River (Case Study Of Opak River, Yogyakarta, Indonesia),” in *IAHR-APD Congresss 2018*, 2018, pp. 273–281.
- [11] K. G. R. Raju, *Aliran Melalui Saluran Terbuuka*. Jakarta: Erlangga, 1986.
- [12] R. J. Garde and K G Ranga Raju, *Mechanics of Sediment Transportations and Alluvial Stream Problems*, Wiley East. New Delhi, 1977.
- [13] C. T. Yang, *Sediment Transport Theory and Practice*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.

