

Prediksi Sedimentasi Kali Mas Surabaya

Ismail Saud

Staff Pengajar Program Studi D-III Teknik Sipil FTSP - ITS

email: ismail@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Kali Surabaya merupakan sungai yang sangat potensial sebagai pengendali banjir dan transportasi air. Perubahan penggunaan lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas bagian hulu berdampak pada proses angkutan sedimen sepanjang Kali Mas. Kondisi angkutan sedimen dari tahun ke tahun semakin meningkat, sehingga semakin memperkecil bank full capacity karena banyaknya pengendapan di sepanjang Kali Mas. Proses utama yang menyebabkan terbawanya sedimen oleh aliran sungai adalah proses erosi. Erosi yang terjadi karena turunnya air hujan, yang bukan hanya membantu memperbanyak kandungan sedimen juga menjadi factor hilangnya partikel tanah yang kemudian terbawa dalam aliran sungai sebagai "suspended load". Dan akan mengendap di Kali Mas. Untuk mengoptimalkan kapasitas penampang Kali Mas diperlukan pengerukan, Agar pelaksanaan pengerukan dapat berjalan dengan baik yang ditinjau dari waktu maupun lokasi, maka diperlukan analisis mengenai prediksi besarnya sedimentasi dan distribusinya. Dari hasil analisa di peroleh besarnya suspended load = 58.05 m³/hari, bed load = 35.60 m³/hari dan Total load = 913.65 m³/hari.

1. PENDAHULUAN

Proses sedimentasi yang terjadi pada beberapa saluran pembuang di Kota Surabaya yang bermuara / outfall di Kali Mas mempunyai pengaruh terhadap berkurangnya kapasitas tampung pada beberapa saluran tersebut. Tingginya angkutan sedimen dari erosi lahan di bagian hulu menyebabkan semakin tingginya biaya pemeliharaan untuk memperbesar daya tampung sungai dan saluran di Kota Surabaya agar dapat berfungsi secara optimal.

Selain itu kualitas air di Kalimas sangat jelek karena buangan limbah domestik dan sampah sehingga mencemari Kali Mas, hal ini sangat berpengaruh kalau Kali Mas difungsikan sebagai transportasi air terutama menimbulkan bau yang tidak sedap dan kotor.

Pemerintah pusat, Propinsi Jawa Timur dan Kota Surabaya beserta jajarannya sudah berupaya secara maksimal untuk melakukan pemeliharaan berupa pengalihan sedimen, namun hasilnya belum sesuai yang di harapkan. Berkaitan dengan hal tersebut diatas maka diperlukan analisis tentang

prediksi sedimentasi yang diharapkan dapat memberikan hasil tentang besarnya jumlah sedimentasi akibat pengaruh degradasi pada DAS Brantas terutama pada Kali Mas di Surabaya yang nantinya dapat berguna untuk mempermudah dalam pemeliharaan sungai terutama dalam hal pengerukan sedimen yang dapat mengembalikan fungsi sungai sebagai saluran drainase kota.

2. DASAR TEORI

2.1. Kapasita Angkutan Sedimen

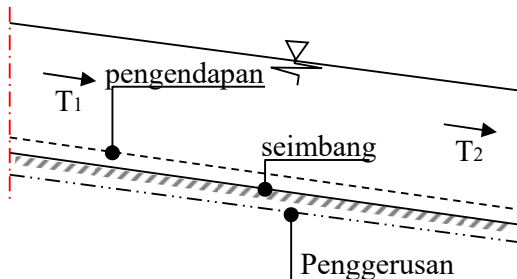
Kapasitas angkutan sedimen pada penampang memanjang sungai. Pada penampang memanjang sungai adalah besaran sedimen yang lewat penampang tersebut dalam satuan waktu tertentu.

Terjadinya pengerusan, pengendapan atau mengalami angkutan seimbang perlu diketahui kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut.

Sungai disebut dalam keadaan seimbang jika kapasitas sedimen yang masuk pada suatu penampang memanjang sungai sama dengan kapasitas sedimen yang keluar dalam satuan waktu tertentu. Pengendapan terjadi

dimana kapasitas sedimen yang masuk lebih besar dari kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu. Sedangkan penggerusan adalah suatu keadaan dimana kapasitas sedimen yang masuk lebih kecil dari kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu.

Gambaran berikut ini memperlihatkan keadaan suatu penampang sungai apakah akan terjadi penggerusan, pengendapan atau mengalami angkutan seimbang.



Gamb. 1 - Angkutan sedimen pada penampang memanjang sungai

Bila :

$T_1 < T_2$ maka terjadi penggerusan (degradasi)

$T_1 = T_2$ terjadi pengangkutan sedimen tetapi kondisi dasar stabil

$T_1 > T_2$ maka terjadi pengendapan (agradasi)

T = kapasitas pengangkutan

Adapun beberapa faktor yang menentukan angkutan sedimen (sediment transport) adalah (Mardjikoeno, 1988) :

- Sifat - sifat aliran air (flow characteristic)
- Sifat - sifat sedimen (sediment characteristic)
- Pengaruhnya timbal balik (interaction)

2.2. Angkutan sediment di sungai

a. Muatan Dasar (Bed Load Transport)

Muatan dasar (bed load) adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat. Muatan dasar keadaanya selalu bergerak, oleh sebab itu pada sepanjang aliran dasar sungai selalu terjadi proses

degradasi dan agradasi yang disebut sebagai "alterasi dasar sungai".

Beberapa formulasi untuk menghitung jumlah transportasi muatan dasar telah dikembangkan oleh beberapa peneliti dari tahun ke tahun. Formula muatan dasar ini didasarkan pada prinsip bahwa kapasitas aliran sediment transport sepanjang dasar bervariasi secara langsung dengan perbedaan antara shear stress pada partikel dasar dan shear stress (tegangan geser) kritis yang diijinkan untuk partikel yang bergerak. Beberapa formula, Meyer Peter Muller (1948) didasarkan pada hasil eksperimental yang minim. Einstein (1950) mempunyai latar belakang semi teoritis, teori statistic dan probabilitas yang dipakai sebagai dasar pembentukan formula dan eksperimental dipakai koreksi berbagai konstanta.

Formula ini sangat sesuai digunakan dalam menentukan angkutan sedimen yang bergradasi, dan kondisi aliran yang menyebabkan terbentuk konfigurasi dasar.

1. Frijlink

$$Q_b = (\phi \cdot D_{35}) / (g \cdot \mu \cdot R \cdot I)^{1/2}$$

dalam $m^3/dt/m'$

$$\Psi = (\Delta \cdot D_{50}) / (\mu \cdot R \cdot I)$$

$$\mu = (C / CD_{90})^{3/2}$$

$$C \cdot D_{90} = 18 \log (12R / D_{90})$$

$$C = 18 \log (12R / k)$$

$$K = 10(\log 12 H - (V \times 5,75U^*))$$

Dimana :

R = Jari - jari Hidroulis

D_{90} = Diameter butiran

g = Gravitasi

I = Kemiringan dasar sungai

2. Meyer - Peter dan Muller (1948)

$$Q_b = \phi (g \cdot \Delta \cdot D_{50}^3)^{1/2}$$

$$\phi = (4 \Psi' - 0,188)^{3/2}$$

$$\Psi' = \mu \cdot \tau / (\Delta \cdot \rho_w \cdot G \cdot D_{50})$$

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I$$

$$\mu = (C / C')^{3/2}$$

$$C' = 18 \log (12R / D_{90})$$

3. Formula Einstein

Einstein menetapkan persamaan muatan dasar sebagai persamaan yang meng

hubungkan material dasar dengan pengaliran setempat (local flow). Peramaan itu menggambarkan keadaan seimbang daripada pertukaran butiran dasar antara lapisan dasar (bed layer) dan dasarnya. Einstein menggunakan $D = D_{35}$ untuk parameter angkutan, sedangkan untuk kekasaran digunakan $D = D_{65}$. Hubungan antara kemungkinan butiran akan terangkut dengan intensitas angkutan dasar dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_b = (\phi \cdot g \cdot \Delta \cdot D_{35}^{3/2}) \cdot B$$

$$\phi = 0.044638 + (0.36249 \cdot \Psi^2) - (0.226795 \cdot \Psi^2) + (0.036 \cdot \Psi^3)$$

$$\Psi = (\mu \cdot R \cdot I) / (\Delta \cdot D_{35})$$

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I$$

$$\mu = (C/C')^{3/2}$$

$$C' = 18 \log (12R / D_{65})$$

$$C = V / (R \cdot I)^{1/2}$$

$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

$$P = \text{Keliling basah (m)}$$

$$R = \text{Jari - jari hidroulis (A/P)}$$

$$V = \text{Kecepatan (m/dt)}$$

$$Q = \text{Debit (m}^3\text{/dt)} \rightarrow V \cdot A$$

- a. Muatan Layang (Suspended Load Transport)
Muatan layang (suspended load) yaitu partikel yang bergerak dalam pusaran aliran yang cenderung terus menerus melayang bersama aliran. Ukuran partikelnya lebih kecil dari 0,1 mm.

1. Metode USBR

Muatan layang (suspended load) dapat juga dihitung dengan menggunakan metode USBR (United State Beureu Reclamation) dimana untuk menghitung angkutan muatan layang diperlukan pengukuran debit air (Q_w) dalam m^3/det , yang dikombinasikan dengan konsentrasi sedimen (C) dalam mg/lt , yang menghasilkan debit sedimen dalam $ton/hari$ dihitung dengan persamaan (Strand, 1982:7)

$$Q_s = 0,0864 C \cdot Q_w$$

Dari perhitungan, dibuat lengkung aliran sedimen yang merupakan garis regresi

antara angkutan sedimen dan debit air dengan persamaan:

$$Q_s = a \cdot Q_w^b$$

Dimana :

Q_s = Beban layang (ton/hari)
 c = Konsentrasi sedimen (mg/lt)
 Q_w = Debit sungai (m^3/det)
 a, b = Konstanta

b. Total Muatan (Total Lod)

1. Englund dan Hansen

- $Q_b = \phi \cdot I$ ($m^3/dt/m$)
- $\phi = 0,1 \cdot (1/f) \cdot \Psi^{2.5}$
- $W = (R \cdot I) / (\Delta \cdot D_{50})$
- $f = (2 \cdot g) / C^2$
- $C = V / (R \cdot I)^{1/2}$
- A = Luas penampang basah (m^2)
- P = Keliling basah (m)
- R = Jari - jari hidroulis (A/P)
- V = Kecepatan (m/dt)
- Q = Debit (m^3/dt) $\rightarrow V \cdot A$

Dimana :

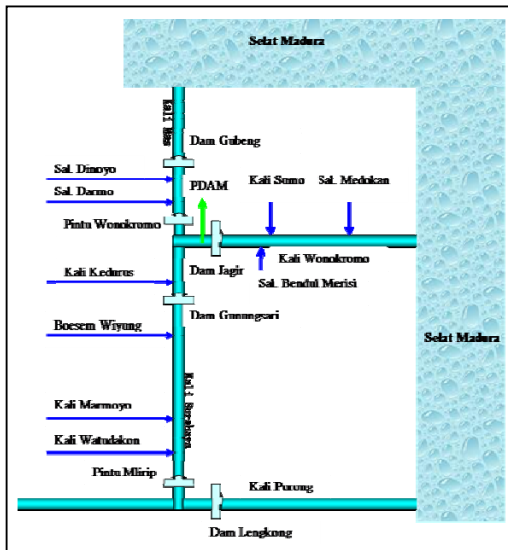
R = Jari - jari Hidroulis
 D_{50} = Diameter butiran
 g = Gravitasi
 I = Kemiringan dasar sungai

3. METODOLOGI

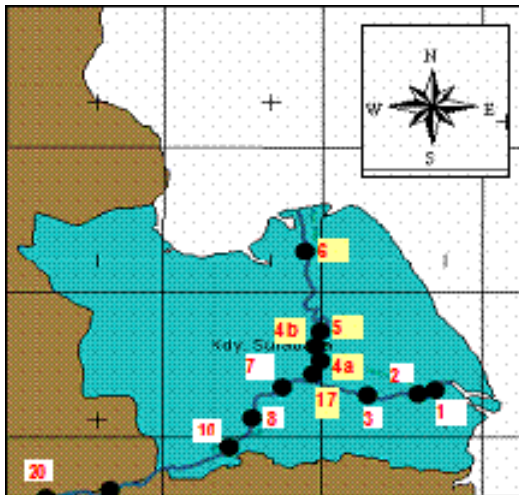
Langkah - langkah yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

- Melakukan pengukuran debit secara langsung dilapangan dengan mengukur luas penampang basah dan kecepatan diukur dengan current meter
- Melakukan pengambilan sample sedimen
- Menganalisa butiran sediment di laboratorium
- Melakukan perhitungan angkutan sediment meliputi : Suspended load, Bed load, dan Total load.

4. ANALISA



Gamb. 2 - Skema 1 Permodelan Sistem Kali Surabaya, Kali Mas dan kali Wonokromo



Gamb. 3 - Skema 2 Permodelan Sistem Kali Surabaya, Kali Mas dan kali Wonokromo

Tabel .1 - Titik Pengukuran Debit Kali Mas

No Lokasi	Lokasi / Waktu	TANGGAL : 26 Juli 2006	
		KOORDINAT UTM	
		KIRI	KANAN
5	K. Mas Jemb. Yos Sudarso Jam : 12.50	X - 0692607 Y - 9196868	X - 0692822 Y - 9196882
6	K. Mas Jemb. Petekan Jam : 14.35	X - 0691934 Y - 9201158	X - 0691894 Y - 9201156

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel.2 - Ringkasan Hasil Pengamatan konsentrasi sedimen melayang

Konsentrasi Sedimen (C) ppm	Titik Pengamatan	Titik Pengamatan	
		K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan
		Kiri	Tengah
		63.00	60.00
		69.00	61.00
		65.00	62.00
	C, ppm Rerata	65.67	61.00
	D 35 (mm)	0.04	0.04
	D 50 (mm)	0.06	0.06
	D 60 (mm)	0.07	0.08
	D 90 (mm)	0.70	0.70
	Keterangan Lokasi	Kanan	Tengah

Tabel 3 - Diskripsi material sedimen dan nilai Specific Gravity (GS)

No	LOKASI	DISCRIPTION				GS
		GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	
1	River Kali Mas					
	Location Jb. Petekan					
	T.6 (kanan)	0%	51%	35%	14%	2,6643
	T.6 (kiri)	0%	46%	32%	22%	2,6675
	T.6 (tengah)	0%	42%	36%	22%	2,6645
2	River Kali Mas					
	Location Jb. Yos Sudarso					
	T.5 (kanan)	0%	37%	41%	22%	2,6767
	T.5 (kiri)	0%	32%	46%	22%	2,6763

4.1. Perhitungan Angkutan Sedimen Hasil Pengamatan

a. Perhitungan angkutan sedimen layang (suspended load). Seperti telah dijelaskan bahwa perhitungan angkutan sedimen layang dapat ditentukan berdasarkan hasil pengukuran langsung dari debit air dan konsentrasi sedimen. Dimana perumusannya adalah :

$$Q_s = 0,0864 \times Q_w \times C \text{ ton/hari}$$

dimana :

Q_s = debit sedimen (sedimen transport) ton/hari

Q_w = debit aliran (m³/det)

C = konsentrasi sedimen (mg/lt)

$K = 0,0864$ = faktor perubahan unit.

Hasil perhitungan sedimen layang untuk lokasi pengamatan adalah sebagai berikut :

Tabel.4- Perhitungan Suspended Load Kali Mas dengan Metode USBR

	Titik Pengamatan	
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan
B (m)	16.00	15.00
H (m)	1.33	1.95
A (m ²)	17.70	62.70
P (m)	16.49	36.64
R (m)	1.07	1.71
V (m/dt)	0.50	0.47
Qw m ³ /dt	8.79	29.35
Qs ton/hari	49.88	154.70
Qs m ³ /hari	18.63	58.05

- b. Perhitungan angkutan sedimen dasar (bed load).
Dengan menggunakan persamaan dari :

1. Meyer Peter Muler.
2. Einstein
3. Frijlink

Dimana perhitungan tersebut menggunakan data distribusi ukuran butir endapan dasar dan hidrolis sungai. Hasil perhitungan sedimen dasar berdasarkan data pengamatan di masing-masing titik pengambilan adalah sebagai berikut :

Tabel.5 - Data Konsentrasi Sedimen dan Analisis D 35, D 50, D 60 dan D 90

	Titik Pengamatan		
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan	
Konsentrasi Sedimen (C) ppm	Kiri	63.00	60.00
	Tengah	69.00	61.00
	Kanan	65.00	62.00
C, ppm Rerata	65.67	61.00	
D 35 (mm)	0.04	0.04	
D 50 (mm)	0.06	0.06	
D 60 (mm)	0.07	0.08	
D 90 (mm)	0.70	0.70	
Keterangan Lokasi	Kanan	Tengah	
Slope rata - rata	0.001	0.001	
Spes.Gravity (Gs)	2.68	2.67	
Rap. Massa sed. (ps)	2.68	2.67	
Δ	0.63	0.62	

Keterangan :

pw (Rapat massa air) = 1.00 ton/m³

ps (Rapat massa sedimen) = Gs . pw

Tabel.6 - Perhitungan Bed Load Kali Mas Metode Meyer Peter and Muller (MPM)

	Titik Pengamatan		
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan	
B (m)	16.00	36.00	
H (m)	1.33	1.95	
A (m ²)	17.70	62.70	
P (m)	16.49	36.64	
R (m)	1.07	1.71	
V (m/dt)	0.50	0.47	
Qw (m ³ /dt)	8.79	29.40	
C (m ^{0.5} /dt)	60.82	45.40	
C' (m ^{0.5} /dt)	76.77	80.41	
μ	0.71	0.42	
τ	0.001	0.001	
Ψ	1.34	1.20	
Φ	11.77	9.95	
Qb (Debit Bed Load)	m ³ /dt	0.000196	0.000412
	m ³ /hr	16.90	35.60
	ton/hr	45.25	94.87

Tabel.7 - Perhitungan Bed Load Kali Mas Metode Einstein

	Titik Pengamatan		
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan	
B (m)	16.00	36.00	
H (m)	1.33	1.95	
A (m ²)	17.70	62.70	
P (m)	16.49	36.64	
R (m)	1.07	1.71	
V (m/dt)	0.50	0.47	
Qw (m ³ /dt)	8.79	29.40	
C (m ^{0.5} /dt)	60.82	45.40	
C' (m ^{0.5} /dt)	94.77	97.37	
μ	0.80	0.68	
Ψ	2.13	2.91	
Φ	0.14	0.07	
Qb (Debit Bed Load)	m ³ /dt	0.000001	0.000001
	m ³ /hr	0.12	0.13
	ton/hr	0.31	0.34

Tabel.8 - Perhitungan Bed Load Kali Mas Metode Frijlink

	Titik Pengamatan		
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan	
B (m)	16.00	36.00	
H (m)	1.33	1.95	
A (m ²)	17.70	62.70	
P (m)	16.49	36.64	
R (m)	1.07	1.71	
V (m/dt)	0.50	0.47	
Qw (m ³ /dt)	8.79	29.40	
U*	0.0256	0.0323	
k (m)	0.0067	0.0705	
C	60.78	45.38	
C ₉₀	78.46	81.43	
μ	0.68	0.42	
Ψ	0.77	0.85	
Φ	3.40	3.70	
Qb (Debit Bed Load)	m ³ /dt	0.000064	0.000017
	m ³ /hr	5.56	14.38
	ton/hr	14.88	38.33

4.2. Perhitungan angkutan sedimen total (total load).

Untuk menghitung angkutan sedimen total bisa digunakan metode penjumlahan antara sedimen layang (suspended load) dengan sedimen dasar (bed load) atau

$$Q_t = Q_s + Q_b$$

Namun demikian ada beberapa formula empiris yang juga dapat digunakan menghitung laju sedimen total, dimana hasil perhitungan sudah merupakan laju angkutan sedimen total (Q_t), diantaranya:

- Engelund and Hansen
- Kikawa - Ashida

Hasil perhitungan sedimen total di masing-masing titik pengambilan adalah sebagai berikut :

Tabel.9 - Perhitungan Total Load Metode Engelund dan Hansen

	Titik Pengamatan		
	K.mas Jb. Yos Sudarso	K.mas Jb. Petekan	
B (m)	16.00	36.00	
H (m)	1.33	1.95	
A (m ²)	17.70	62.70	
P (m)	16.49	36.64	
R (m)	1.07	1.71	
V (m/dt)	0.50	0.47	
Qw (m ³ /dt)	8.79	29.40	
C	15.16	11.32	
f	0.09	0.15	
Ψ	30.60	45.65	
Φ	6064.69	9190.66	
Q (total)	m ³ /dt	0.00630	0.01057
	m ³ /hr	544.35	913.65
	ton/hr	1457.24	2434.88

5. KESIMPULAN

- Perhitungan Sedimentasi di Kali Mas pada titik pengamatan Jembatan Yos Sudarso dan Jembatan Petekan
- Besarnya Debit yang terukur di Jembatan Yos Sudarso = 8.75 m³/dt dan di Jembatan Petekan = 29.35 m³/dt.
- Perhitungan Suspended Load di Jembatan Yos Sudarso = 18 m³/hari dan di Jembatan Petekan = 58.05 m³/hari.
- Perhitungan Bed Load di Jembatan Yos Sudarso = 16.90 m³/hari dan di Jembatan Petekan = 35.60 m³/hari.
- Perhitungan Total Sedimen (Total Load) di Jembatan Yos Sudarso = 544.35 m³/hari dan di Jembatan Petekan = 913.65 m³/dt.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Unibraw 2006, Studi Sediment Transport Sistem Kali Surabaya, Kali Mas, dan Kali Wonokromo. Unibraw Malang.
- JICA. 1998. The Studi on Comprehensive Management Plan for The Water Resources of The Brantas

River Basin in The Republic of Indonesia. Surabaya.

- Chow VT 1959, Open Channel Hydraulics Mc Graw Hill Kogakusha, LTD.
- Thorne CR 1987, Sediment Transport in Gravel - Bed Rivers. John Wiley & Son, New York.
- Meyer - Peter, E and Muller, R 1948, Formulas for Bed load Transport in Proc. 2nd Congr. IAHR Stockholm, Vol. 2, Paper. 2, PP : 39 - 64.
- Einstein, H. A. 1950, The Bed Load Function, for Sediment Transport in open channel flow. US. Dept. of Agric. Bull. 1026.