

ANALISIS PERSAMAAN TRANSPOR SEDIMEN TERHADAP FENOMENA PERUBAHAN MORFOLOGI SUNGAI PROGO TENGAH

The Analyzes of Sediment Transport Formulas on the Phenomenon of Changes in Morphology of the Middle Progo River

Tiny Mananoma¹⁾, Sudjarwadi²⁾, Djoko Legono³⁾, Adam Pamudji Rahardjo⁴⁾

¹⁾ Mahasiswa S3, Program Studi Teknik Sipil - Sekolah Pascasarjana - Fakultas Teknik - Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta, Laboratorium Hidraulika, JTS FT UGM, Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, tmananoma@yahoo.com.

²⁾ Promotor, Sekolah Pascasarjana - Fakultas Teknik - Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta, Laboratorium Hidraulika, JTS FT UGM, Jl. Grafika No.2 Yogyakarta

^{3),4)} Ko-Promotor, Sekolah Pascasarjana - Fakultas Teknik - Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta. Laboratorium Hidraulika, JTS FT UGM, Jl. Grafika No.2 Yogyakarta

ABSTRACT

The understanding about the changing phenomenon in river morphology can be started with the study on the available data of measurements. This study can provide informations about the changes in the slopes and elevations of the river bed, the cross section areas, and the storage capacity in a certain river segment as the results of erosion and sedimentation processes. Hence an illustration of the stability condition of the Middle Progo river channel from the aspects of rate and pattern of sediment transport can be obtained.

The understanding about this phenomenon is approached through several equations of sediment transport. The results of this study reveal that the formulas of MPM, Einstein, Frijlink, Van Rijn, and Karim can explain the existing phenomenon of sediment transport in general, but the amount of differences between the caculated / simulated values and the measured values are still significant.

To obtain the simulated values close to the values of measurements, there are still a number of other factors besides those already in the formulas, which should be included in the calculations of sediment transport. These factors are considered as being also to be influencing.

Keywords: sediment transport, erosion, sedimentation.

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Morfologi sungai sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor di antaranya, kondisi aliran, proses angkutan sedimen, kondisi lingkungan, serta aktivitas manusia di sekitarnya. Pemahaman mengenai fenomena perubahan morfologi sungai, dapat dimulai dari kajian data hasil pengukuran yang pernah dilakukan. Analisis terhadap data hasil pengukuran yang ada memberikan informasi kondisi penampang melintang di setiap titik yang ditinjau. Selanjutnya kajian terhadap perubahan kondisi penampang melintang tampak dari perhitungan luas penampang, yang kemudian direfleksikan ke dalam perubahan kapasitas tampung (volume) di setiap ruas, sebagai akibat dari perubahan bentuk tampang.

Dari perubahan morfologi sungai yang ada, dicoba mencermati setiap kejadian, faktor dominan, ataupun fenomena alam yang telah terjadi antara tahun 1996 sampai dengan tahun 2000. Fenomena alam berupa letusan gunung berapi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi sungai. Proses transpor sedimen yang menyebabkan erosi di daerah hulu, ataupun sedimentasi di daerah hilir dapat terjadi secara alami tanpa campur tangan manusia. Di samping kedua hal terdahulu, campur tangan manusia berupa aktivitas penambangan material pasir dan kerikil di sungai juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap perubahan morfologi sungai.

Untuk mengetahui perubahan kondisi alur sungai Progo tengah dari tahun ke tahun, secara sederhana dapat dilakukan pengamatan baik secara langsung maupun pendekatan grafis dengan melakukan pengukuran pada beberapa titik kontrol yang ada.

b. Rumusan Masalah

Salah satu cara untuk mengetahui pola dan laju perubahan morfologi sungai yang mencakup perubahan kemiringan dasar, elevasi dasar sungai, luas penampang melintang, serta perubahan kapasitas tampung (volume) yang terjadi pada penggal sungai terpilih akibat proses erosi dan sedimentasi yaitu dengan menggunakan data pengukuran tahun 1996 dan 2000 di beberapa titik kontrol sungai Progo. Dari

beberapa persamaan angkutan sedimen yang ada, dicoba menjelaskan proses yang terjadi melalui **Analisis Penerapan Persamaan Transpor Sedimen Untuk Memahami Fenomena Perubahan Morfologi sungai Progo Tengah**

c. Pembatasan Masalah

Untuk mencapai hasil optimal dalam analisis dengan penerapan beberapa persamaan transpor sedimen terhadap perubahan morfologi sungai sehubungan dengan masalah erosi dan sedimentasi, perlu ditetapkan batasan dan asumsi. Dengan batasan dan asumsi tersebut pembahasan dapat terfokus pada kondisi yang ada di lokasi studi. Batasan dan asumsi yang digunakan dalam studi ini adalah :

1. kajian berbasis data pengukuran yang ada, terbatas pada titik / ruas terpilih ataupun lokasi yang ditinjau
2. kajian dilakukan dengan mencermati hal-hal dominan yang telah terjadi dalam kurun waktu pelaksanaan pengukuran
3. perhitungan angkutan sedimen didasarkan pada data debit harian yang terjadi sepanjang tahun 1996-2000.

d. Maksud, Tujuan, serta Manfaat Penelitian

Maksud dari studi ini yaitu mengidentifikasi pengaruh dari faktor angkutan sedimen, terhadap fenomena pola perubahan morfologi sungai di beberapa ruas terpilih. Sedangkan yang menjadi tujuan yaitu analisis terhadap beberapa faktor / parameter yang tercakup ataupun di luar persamaan angkutan sedimen, yang memberikan pengaruh terhadap besaran angkutan sedimen.

Dari studi ini diharapkan memperoleh informasi mengenai pola angkutan sedimen, serta faktor-faktor pengaruh / parameter yang perlu dicermati baik yang tercakup ataupun di luar persamaan angkutan sedimen untuk landasan pengembangan persamaan / model angkutan sedimen yang mendekati keadaan sesungguhnya.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Konfigurasi dasar sungai

Kondisi morfologi sungai Progo secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh angkutan serta sifat sedimen. Studi Jurusan Teknik Sipil (JTS) FT UGM, (2000) mengatakan bahwa proses erosi dan sedimentasi sungai Progo sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu : mekanisme suplai dari hulu (material hasil erupsi) dan aktivitas manusia (penambangan material galian C).

Pada kasus sungai di sekitar gunung Merapi, mekanisme suplai merupakan fungsi karakteristik letusan (frekuensi serta tingkat letusan). Sedangkan penambangan material galian C merupakan fungsi sosial ekonomi masyarakat sekitar sungai.

b. Karakteristik aliran

Faktor pembentuk konfigurasi dasar sungai sangat dipengaruhi oleh kecepatan, lama pengaliran serta kedalaman aliran. Aliran sungai yang tidak permanen mengakibatkan sedimen yang terangkut juga berubah-ubah sesuai debit. Dari beberapa laporan / studi, maupun literatur mengenai perkembangan konfigurasi dasar sungai Progo, disebutkan bahwa kondisi alur sungai mencerminkan aliran dominan yang berlangsung dari tahun ke tahun.

c. Faktor pengaruh pada perubahan morfologi sungai

Dalam kajian ini perubahan kondisi morfologi dapat di tinjau dari beberapa faktor diantaranya :

1. Proses angkutan sedimen secara alamiah

Kondisi morfologi sungai Progo secara keseluruhan sangat dipengaruhi oleh angkutan serta sifat sedimen.

2. Aktivitas penambangan material galian C

Merupakan fungsi sosial ekonomi masyarakat sekitar sungai. Aktivitas penambangan di alur sungai bilamana dilakukan pada lokasi yang tepat (daerah sedimentasi) dengan volume penambangan yang terkendali, tidaklah membawa pengaruh negatif terhadap stabilitas alur sungai. Namun apabila tidak terkendali baik

lokasi maupun volume penambangan, maka akan sangat mempengaruhi stabilitas alur sungai dalam hal ini terjadi erosi / degradasi dasar yang cukup signifikan.

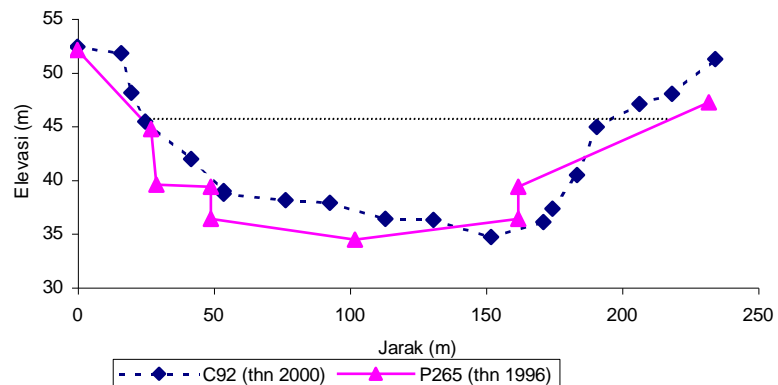
3. Mekanisme suplai dari hulu (material hasil letusan)

mekanisme suplai merupakan fungsi karakteristik letusan (frekuensi serta tingkat letusan).

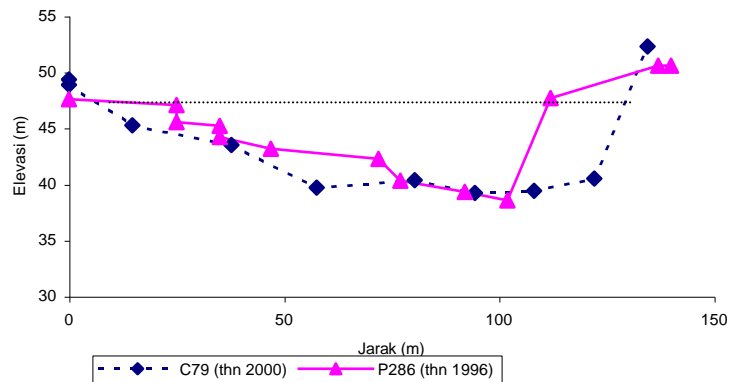
Dengan mencermati ketiga faktor ini, kemudian dapat diidentifikasi faktor dominan yang sangat mempengaruhi perubahan morfologi sungai Progo tengah sejak tahun 1996 – 2000.

ANALISIS DATA

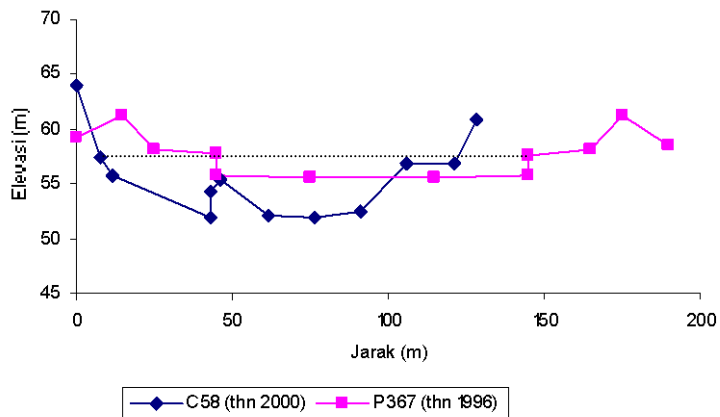
Kajian terhadap hasil pengukuran geometri sungai tahun 1996 dan 2000 memberikan gambaran secara grafis mengenai perubahan geometri penampang pada beberapa titik tinjauan diantaranya sebagai berikut ini.



Gambar 1. Perubahan penampang melintang di lokasi jembatan Bantar



Gambar 2. Perubahan penampang melintang di lokasi hulu jembatan Bantar



Gambar 3. Perubahan penampang melintang di lokasi jembatan Kebonagung

Dari gambar-gambar yang disajikan tampak jelas perubahan penampang yang terjadi selama kurun waktu 1996 – 2000. Pada titik-titik tertentu apabila hasil overlay meragukan, misalnya terdapat perubahan yang cukup besar pada posisi ataupun elevasi tebing, maka hal ini perlu dicermati dengan lebih teliti lagi. Sebagai contoh pada Gambar 2, memperlihatkan tebing kanan sungai mengalami pergeseran yang cukup besar. Sehubungan dengan kondisi ini ada beberapa kemungkinan yang bisa terjadi diantaranya :

- 1.erosi lateral
- 2.aktivitas penambangan pasir dan kerikil

3.kesalahan dalam pelaksanaan pengukuran (pergeseran titik, kesalahan pembacaan alat)

Tabel 1.Perbandingan hasil pengukuran tahun 1996 dan tahun 2000

Ttk (P) Profil	Jarak	Jarak Kum	El.dasar		Slope		Lebar		Luas	
	(m)	(km)	1996	2000	1996	2000	1996	2000	1996	2000
596	0		197.39	195.02			97.38	132.16	318.15	451.26
591	500	0.50	195.23	194.39	0.0043	0.0013	52.03	118.71	221.12	681.64
585	600	1.10	192.07	193.86	0.0053	0.0009	74.70	121.13	362.30	667.98
581	410	1.51	192.05	192.40	0.0000	0.0036	56.97	120.20	165.53	278.48
576	500	2.01	189.75	191.53	0.0046	0.0017	74.11	47.35	215.02	46.86
569	900	2.91	186.32	188.92	0.0038	0.0029	59.06	29.83	85.04	14.46
567	200	3.11	187.27	179.54	-0.0048	0.0469	57.31	36.94	273.09	390.78
561	500	3.61	181.34	183.48	0.0119	-0.0079	58.41	116.67	289.60	360.96
558	475	4.09	176.45	178.57	0.0103	0.0103	83.69	73.70	245.05	169.89
553	490	4.58	171.64	176.38	0.0098	0.0045	91.55	46.54	364.95	51.12
551	340	4.92	170.51	173.02	0.0033	0.0099	89.28	30.63	282.63	58.42
535	1,500	6.42	157.41	159.52	0.0087	0.0090	82.00	80.56	504.70	296.13
531	845	7.26	152.76	153.12	0.0055	0.0076	77.00	73.20	579.26	469.69
491	4,005	11.27	114.33	104.73	0.0096	0.0121	62.98	53.37	693.63	1248.82
488	350	11.62	112.69	108.41	0.0047	-0.0105	74.79	140.15	422.11	1039.26
471	1,355	12.97	97.47	101.18	0.0112	0.0053	49.48	58.74	273.94	137.27
375	9,284	22.25	55.31	55.74	0.0045	0.0049	55.67	81.50	170.78	137.27
372	816	23.07	55.14	54.18	0.0002	0.0019	66.84	61.86	87.07	95.17
371	100	23.17	54.51	54.09	0.0063	0.0009	60.45	84.03	70.33	159.62
370	100	23.27	53.42	53.71	0.0109	0.0038	67.99	128.61	221.65	396.54
369	100	23.37	53.31	52.47	0.0011	0.0124	57.07	74.99	109.33	181.49
368	100	23.47	54.08	51.65	-0.0077	0.0082	79.41	103.32	406.06	802.79
367	100	23.57	55.60	52.07	-0.0152	-0.0042	140.00	116.27	260.65	470.95
338	1,340	24.91	49.78	50.08	0.0043	0.0015	70.20	176.50	353.25	566.41
325	1,860	26.77	46.28	46.94	0.0019	0.0017	84.96	101.08	348.52	430.45
315	500	27.27	44.28	46.14	0.0040	0.0016	88.21	104.68	492.92	458.19
286	4,030	31.30	38.57	39.24	0.0014	0.0017	86.32	121.69	424.51	668.97
265	2,159	33.46	34.43	34.65	0.0019	0.0021	182.83	162.21	1291.73	1099.82
263	289	33.75							1182.32	518.06

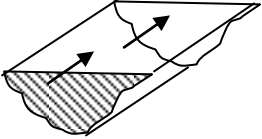
PEMBAHASAN

a. Fenomena perubahan morfologi sungai

Mencermati hasil perhitungan perubahan volume / kapasitas tampung di alur sungai Progo tengah tahun 1996 – 2000, tampak bahwa pada beberapa ruas sungai yaitu di

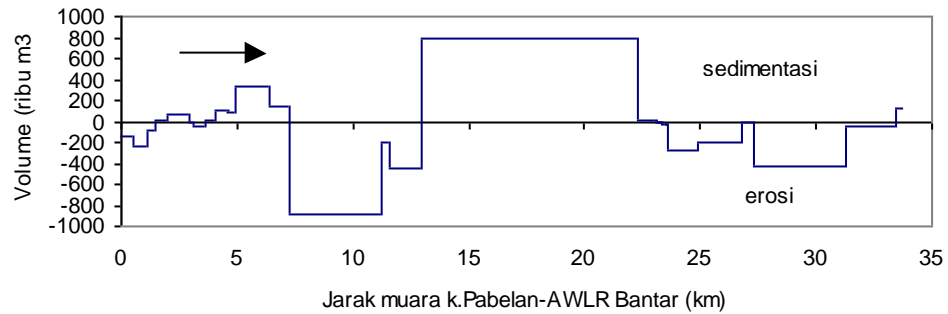
hilir muara K.Pabelan ruas (P.591-P.581), hilir jembatan Caruban (P.567-P.561) hilir muara K.Krasak hingga jembatan Bantar (P.371-P.265), terjadi erosi dengan besaran yang bervariasi. Sementara itu sedimentasi dengan besaran yang juga bervariasi terjadi di ruas sekitar jembatan Caruban (P.576-P.569), dari muara K.Blongkeng hingga hilir muara K.Krasak (P.558-P.372), serta di hilir jembatan Bantar.

Tabel 2. Perubahan volume alur ruas sungai

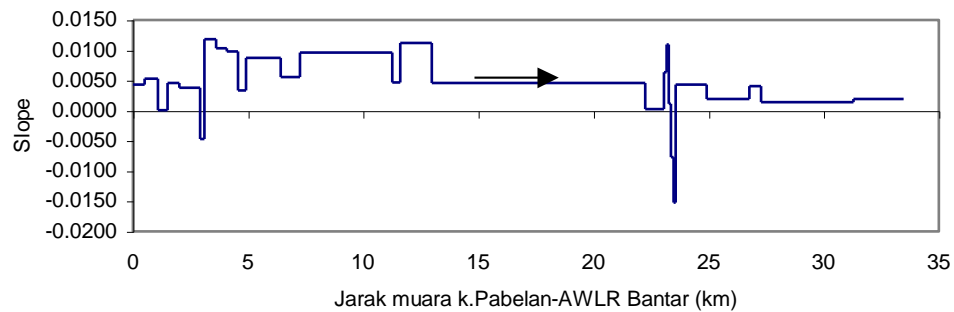
Jarak (km)	Ttk (P) Profil	Volume (m ³)			Keterangan
		1996	2000	Selisih	
0.00	596				
0.50	591	134,818	283,225	-148,408	bilamana nilai selisih (-), terjadi erosi
1.10	585	175,026	404,886	-229,860	
1.51	581	108,205	194,024	-85,819	
2.01	576	95,138	81,335	13,803	bilamana nilai selisih (+), terjadi sedimentasi
2.91	569	75,015	15,330	59,685	
3.11	567	35,813	40,524	-4,711	
3.61	561	140,673	187,935	-47,263	
4.09	558	126,979	126,077	903	
4.58	553	149,450	54,147	95,303	
4.92	551	110,089	18,622	91,467	
6.42	535	590,498	265,913	324,585	
7.26	531	457,973	323,559	134,414	
11.27	491	2,548,962	3,441,316	-892,354	
11.62	488	195,255	400,414	-205,160	
12.97	471	652,547	1,102,997	-450,450	
22.25	375	2,064,390	1,274,415	789,976	
23.07	372	105,203	94,836	10,367	
23.17	371	7,870	12,740	-4,870	
23.27	370	14,599	27,808	-13,209	
23.37	369	16,549	28,902	-12,353	
23.47	368	25,770	49,214	-23,445	
23.57	367	33,336	63,687	-30,352	
24.91	338	411,313	695,031	-283,718	
26.77	325	466,677	662,912	-196,235	
27.27	315	210,360	222,160	-11,800	
31.30	286	1,848,621	2,271,227	-422,606	
33.46	265	1,264,011	1,302,714	-38,703	
33.75	263	357,500	233,784	123,717	

Berangkat dari informasi tentang perubahan volume prisma ruas sungai seperti yang tersaji pada Tabel 2, sebagai refleksi dari fenomena erosi dan sedimentasi, dicoba

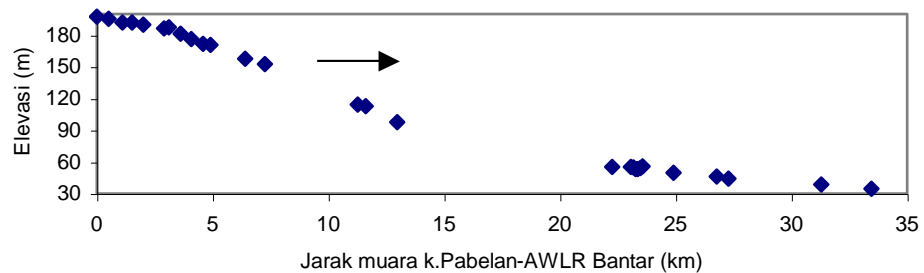
untuk mengetahui pengaruh slope / kemiringan saluran terhadap proses angkutan sedimen.



Gambar 4. Perubahan volume alur ruas sungai tahun 1996-2000



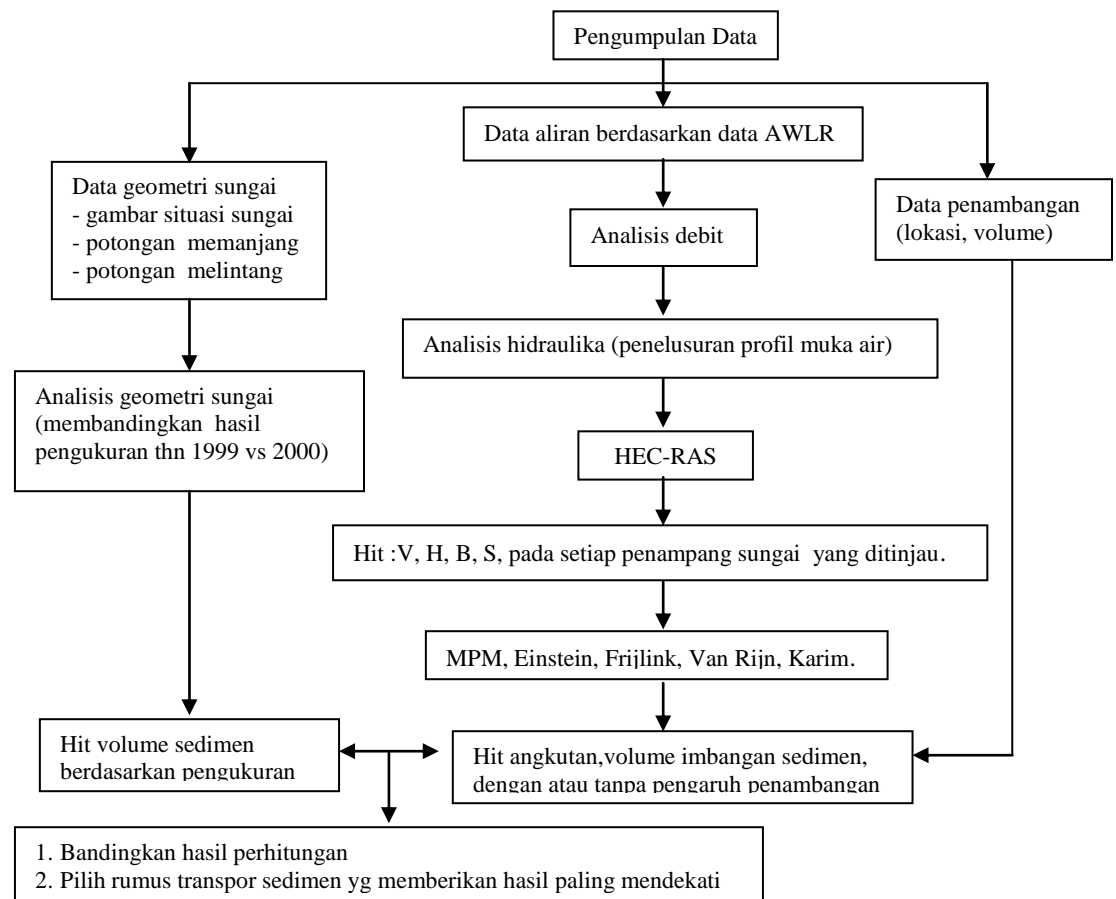
Gambar 5. Slope dasar sungai



Gambar 6. Elevasi dasar sungai

Gambar 4,5,6, memberi informasi bahwa secara umum pengaruh slope terhadap besaran angkutan sedimen cenderung berbanding lurus. Pada ruas dengan slope yang relatif terjal terjadi proses erosi, sedangkan untuk ruas sungai dengan slope yang relatif landai terjadi sedimentasi.

b. Pendekatan model hitungan angkutan sedimen



Gambar 7. Struktur model hitungan angkutan sedimen

Setelah mengkaji perubahan yang terjadi, juga mencermati faktor-faktor dominan yang mempengaruhi, dicoba menganalisis fenomena ini melalui pendekatan model hitungan angkutan sedimen. Model hitungan angkutan sedimen ini dimulai dengan analisis data aliran (debit), dilanjutkan dengan analisis

hidraulika sungai. Angkutan sedimen dihitung menggunakan rumus-rumus MPM, Einstein, Frijlink, Van Rijn, dan Karim, sebagai berikut ini.

1. Meyer-Peter-Muller (MPM, 1948)

$$\gamma R_h (k/k')^{3/2} S - 0,047(\gamma_s - \gamma) d_m = 0,25 (\gamma/g)^{1/3} (qb')^{2/3} \quad (1)$$

2. Einstein (1950) $qb = \Phi_* \rho_s \Delta^{1/2} \left(\frac{d_{35}}{D_*} \right)^{3/2}$ (2)

3. Frijlink (1952) $qb = \Phi d_{50} \sqrt{g \mu R S}$ (3)

4. Van Rijn (1984) $q_b = 0.053 \left[\frac{U_*}{g} - 1 \right]^{7/2} D_*^{1.5} \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}}$ (4)

5. Karim (1998) $\frac{q_s}{\left(\frac{U_*}{g} - 1 \right) D_{50}^{3/2}} = 0.00139 \left(\frac{V}{\left(\frac{U_*}{g} - 1 \right) D_{50}^{7/2}} \right)^{2.97} \left(\frac{U_*}{W} \right)^{1.47}$ (5)

Dari analisis terhadap total 145 variasi hitungan angkutan sedimen pada 29 titik pengamatan di ruas sungai Progo tengah (muara K.Pabelan – jembatan Bantar) menggunakan 5 rumus transpor sedimen tersebut di atas, secara umum dapat memberikan gambaran fenomena angkutan sedimen yang terjadi di alur sungai. Namun demikian bilamana dibandingkan terhadap hasil pengukuran, meskipun 5 rumus angkutan sedimen ini mampu menggambarkan fenomena angkutan sedimen yang terjadi, dari segi kuantitas masih terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan / simulasi, terhadap hasil pengukuran, seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan hasil perhitungan terhadap pengukuran

No.	Ruas	Perhitungan / simulasi					Pengukuran
		MPM	Einstein	Frijlink	Van Rijn	Karim	
1	P.368 - P.367	-52,056,919	-37,415,389	-39,319,633	-5,936,665	-2,056,629	-30,352
2	P.338 - P.325	-36,079,342	11,134,998	-23,964,499	-6,067,997	-3,063,607	-196,235
3	P.315 - P.286	-36,561,029	14,336,688	-699,101	-75,196,917	-84,598,424	-422,606

Informasi dari Tabel 3 juga sesuai dengan Gambar 2 dan Gambar 3, yang memperlihatkan adanya erosi di ruas sekitar jembatan Kebonagung – jembatan Bantar. Masih adanya perbedaan kuantitas yang signifikan dalam Tabel 3, menunjukkan bahwa meskipun telah memperhatikan faktor validitas, namun ternyata analisis melalui beberapa persamaan angkutan sedimen yang digunakan ini belum mampu memberikan hasil yang mendekati keadaan sesungguhnya.

Untuk itu perlu mencermati baik parameter- parameter yang tercakup dalam persamaan angkutan sedimen, ataupun beberapa faktor / parameter lain yang tidak tercakup dalam rumus angkutan sedimen yang berpotensi mempengaruhi perubahan morfologi sungai. Berikut ini adalah identifikasi parameter-parameter yang paling banyak digunakan dalam rumus angkutan sedimen.

Tabel 4. Parameter dalam rumus angkutan sedimen

No.	Rumus	Parameter											
		g	R	S	d_m	ρ_w	ρ_s	d_{90}	d_{35}	V	v	γ_w	k_s
1	Einstein (1950)	T	T	T	T	T	T	T	T				
2	Frijlink (1952)	T	T	T	T	T	T	T					
3	Van Rijn (1984)	T	T	T	T	T	T				T		
4	Karim (1998)	T	T	T	T	T	T			T			
5	MPM (1948)	T	T	T	T			T				T	T

Dari parameter aliran maupun butiran tersebut diatas, kemudian lakukan uji sensitivitas parameter. Hal ini dimaksud untuk mengenali parameter yang paling sensitif, dalam arti memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap besaran angkutan sedimen. Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa parameter aliran (debit) ternyata lebih sensitif daripada parameter butiran (diameter butiran sedimen).

Selain mencermati parameter yang tercakup dalam persamaan angkutan sedimen, maka untuk memperoleh besaran angkutan sedimen yang mendekati keadaan sesungguhnya perlu juga mengkaji beberapa faktor / parameter lain yang tidak tercakup dalam rumus angkutan sedimen misalnya : aktivitas penambangan,

erosi lateral, dan juga faktor-faktor yang disederhanakan dengan asumsi. Sebagai contoh adalah asumsi profil sungai dan profil aliran yang digunakan dalam analisis hidraulika sungai, banyak kali tidak dapat merepresentasikan dengan tepat keadaan sesungguhnya di sungai. Analisis hidraulika ini menjadi input data bagi simulasi angkutan sedimen, kemudian memberikan besaran transpor yang secara kuantitas jauh berbeda dengan keadaan sesungguhnya.

KESIMPULAN

Untuk memperoleh hasil perhitungan / simulasi yang mendekati hasil pengukuran / keadaan di lapangan, maka dalam menggunakan beberapa rumus transpor sedimen yang ada, perlu untuk mempertimbangan parameter-parameter lain yang tidak tercakup dalam persamaan tersebut namun berpengaruh terhadap akurasi hasil perhitungan. Berbagai parameter lain yang berpengaruh tersebut dapat dipakai untuk membangun model hitungan baru.

SARAN

Sebagai kontrol terhadap hitungan perubahan volume ruas, disarankan untuk melakukan pengukuran geometri pada titik-titik terpilih dengan referensi elevasi vertikal yang sama. Dengan demikian dapat memperkecil kesalahan data geometri pada pengukuran di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- JTS FT UGM, 2000, *Initial Environmental and Related Condition Study for the Study on Lower Basin of Kali Progo*, Laporan Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Mananoma, Tiny., 2005, *Prediksi Transpor Sedimen di Sungai Guna Pengendalian Daya Rusak air*, Seminar, PIT XXII Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), Yogyakarta.

Mananoma, Tiny., 2003, Fenomena Alamiah Erosi dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir, Publikasi, Jurnal dan Pengembangan Keairan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.

PT. Indra Karya, 1999, Survei Imbangan dan Pengelolaan Sedimen Sungai Progo, Laporan Akhir, Departemen Pekerjaan Umum Provinsi D.I.Y

PT. Retracindo, 1996, Pengukuran Sungai Progo, Departemen Pekerjaan Umum Provinsi D.I.Y

PT. Retracindo, 2000, *Topographical Surveying for The Study on Lower Basin of Kali Progo*, Departemen Pekerjaan Umum Provinsi D.I.Y

Sinotech, 2003, *Sedimen Formula* <http://www.sinotech.org.tw/chrc-ctr/English/SedimenFormula.htm>

Suwartha Nyoman., 2001, Kajian Hidrologis Pola Angkutan Sedimen Sungai Progo Bagian Hilir, Tesis, PPS UGM, Yogyakarta.

Vanoni, Vito A., 1977, *Sedimentation Engineering*, Headquarters of The Society, New York, N.Y. 10017. pp.95-101.

Yang, Chih Ted, 1996, *Sediment Transport Theory and Practice*, The McGraw-Hill Company, Inc, Singapore. pp 10-14, 96-109.

Dipublikasikan dalam :

Jurnal Teknik Sipil- Fakultas Teknik UGM,

Forum Teknik Sipil Volume XVI/1- Januari 2006

TERAKREDITASI

Identitas Jurnal Ilmiah	:	a. Nama Jurnal	: Forum Teknik Sipil
		b. Nomor/Volume	: XVI/1
		c. Edisi (bulan/tahun)	: Januari 2006
		d. Penerbit	: Fakultas Teknik UGM
		e. Jumlah halaman	: 93