

PEMAKAIAN ANALISIS HARMONIK HASIL SEDIMEN (*SEDIMENT YIELD*) UNTUK PEMANTAUAN DAN EVALUASI MANAJEMEN DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) (Studi Kasus Di Sub DAS Tapan)

Sigit Supadmo Arif^{*)}

ABSTRAK

Departemen Kehutanan sebagai instansi pemerintah yang bertanggung jawab atas kelestarian hutan dan lahan atasan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) telah melaksanakan beberapa program beserta tindakan pemantauan dan evaluasinya (*monitoring and evaluation*), meskipun belum mempunyai prosedur dan metode yang baku.

Tujuan utama tulisan ini ialah melakukan *evaluasi manajemen DAS* dengan memakai analisis harmonik hasil sedimen sebagai salah satu peubah (*variable*) pemantauan (*monitoring*) usaha perbaikan manajemen lahan yang telah dilakukan, dengan mengasumsikan bahwa proses perubahan watak DAS dalam kurun waktu yang ditinjau berlangsung dalam keadaan tunak.

Lokasi penelitian dilakukan di Sub DAS Tapan yang merupakan bagian DAS Bengawan Solo. Analisis dilakukan terhadap data hasil sedimen untuk kurun waktu 1974 - 1979, 1983 - 1988 dan 1986 - 1990.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemakaian analisis harmonik memberikan akurasi nisbi tinggi pada kurun-kurun waktu awal dan semakin lama semakin mengecil untuk kurun-kurun waktu setelahnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perubahan watak DAS dalam keadaan tunak berlangsung pada kurun waktu awal untuk kemudian berangsur-angsur berubah menjadi proses tak tunak sesuai dengan proses perubahan tata guna lahan.

Proses tak tunak juga ditunjukkan oleh perubahan harga koefisien limpasan, *f_o*, dalam kurun waktu yang ditinjau.

PENDAHULUAN

Departemen Kehutanan sebagai salah satu lembaga pemerintah yang bertanggung jawab akan kelestarian hutan dan lahan atasan suatu DAS di Indonesia telah berusaha untuk memperbaiki manajemen hutan dan DAS melalui beberapa kebijakan dan program beserta implementasinya.

Secara fisik perbaikan manajemen tersebut dapat berupa rehabilitasi hutan dan perbaikan tata guna lahan ataupun tata pemanfaatan lahan di dalam suatu DAS seperti pembuatan teras, guludan dan *check dam* serta tata cara tanam yang benar.

Tindakan perbaikan manajemen DAS tersebut biasanya diikuti dengan tindakan pemantauan dan evaluasi. Namun tindakan pemantauan dan evaluasi tersebut di beberapa tempat belum dilakukan sesuai dengan prosedur dan metode yang baku sehingga hasilnya sangatlah sukar untuk dipakai sebagai dasar pengambilan keputusan atau penilaian tindakan.

Tulisan ini bertujuan untuk melakukan evaluasi dari manajemen DAS dengan menggunakan model matematika, yaitu analisis harmonik yang disusun atas dasar fungsi sinus dengan memakai hasil sedimen bulanan sebagai masukan model.

KONSEP PEMANTAUAN DAN EVALUASI MANAJEMEN DAS

Konsep pemantauan dan evaluasi sebetulnya sudah dipakai dalam beberapa proyek pembangunan sejak tahun 1950 meskipun baru merupakan suatu kebutuhan pada tahun 1970-an (Smith, Bernstein dan Carruthers, 1987).

Clayton dan Petry (1981) mentakrifkan bahwa pemantauan (*monitoring*) merupakan suatu proses pengukuran, pencatatan, pengumpulan, pemrosesan dan mengkomunikasikan informasi untuk membantu manajer dalam pembuatan keputusan. Proses pemantauan suatu aktifitas selalu memfokuskan pada operasi, kinerja dan dampak yang ditimbulkan. Sedangkan evaluasi ditakrifkan sebagai suatu tindakan untuk membandingkan antara operasi, kinerja dan dampak yang terjadi dan/atau sedang berlangsung pada suatu aktifitas dengan keadaan yang semula direncanakan. Tindakan evaluasi ini juga menyangkut analisis hubungan antara masukan atau proses dengan keluaran dan pengaruh kendala luar (*external constraint*) serta faktor pendukung terhadap kinerja dan keluaran suatu aktifitas.

Takrif lebih sederhana tentang pemantauan dan evaluasi ini diberikan oleh Smith, Bernstein dan Carruthers (1987) dan juga beberapa pakar dan organisasi internasional lain sesuai dengan kebutuhan masing-masing (Casley dan Kumar, 1988; IFAD, 1987; ADB, 1984).

^{*)} Staf pengajar Fakultas Teknologi Pertanian UGM.

Menyimpulkan beberapa takrif tersebut di atas, Dulla-Navarrete (1992) menyatakan bahwa: (i) pemantauan merupakan proses pengumpulan data dan informasi dari aktifitas di lapang untuk mengetahui penyimpangan pelaksanaan program yang telah direncanakan atau tidak berfungsinya kerja suatu aktifitas, dan (ii) evaluasi merupakan proses analisis data dan informasi dari lapang dilakukan dalam suatu selang waktu tertentu, membandingkan hasil analisis dengan tujuan yang diharapkan sehingga dapat ditentukan kinerja dari aktifitas yang dipantau dan dievaluasi.

Baik Dulla-Navarrete (1992) maupun Clayton dan Petry (1981) selanjutnya menyebutkan bahwa dalam pekerjaan pemantauan dan evaluasi diperlukan beberapa tolok ukur dari indikator atau peubah (*variables*), meliputi indikator-indikator operasi, kinerja serta dampak yang timbul. Adapun pelaksanaannya dapat dilakukan melalui pendekatan sistem (*system approach*).

Singh (1989) menyebutkan tolok ukur untuk menentukan indikator kinerja manajemen DAS adalah: (i) volume limpasan langsung (*direct runoff*), (ii) debit puncak, (iii) frekuensi terjadinya banjir, (iv) aliran lambat, (v) hasil sedimen, (vi) mutu air permukaan, (vii) pasok air tanah, (viii) mutu air tanah, dan (ix) waktu kelambanan (*lag time*). Dari ke sembilan buah tolok ukur tersebut hanya beberapa buah saja yang dapat langsung diukur di lapang, termasuk limpasan langsung dan hasil sedimen. Oleh sebab itu kedua tolok ukur tersebut paling sering diukur dan dipakai sebagai masukan dalam proses evaluasi kinerja pengelolaan DAS secara sederhana.

PEMANTAUAN DAN EVALUASI MANAJEMEN DAS DENGAN PENDEKATAN SISTEM

Secara sangat disederhanakan sistem manajemen DAS dapat digambarkan sebagai model kotak hitam (*black box model*) seperti terlihat dalam Gambar 1. Dalam gambar tersebut nampak bahwa sebagai masukan model adalah kebijakan manajemen DAS dan faktor iklim, sedangkan keluaran model dinyatakan oleh dua tolok ukur indikator kinerja manajemen DAS berupa debit aliran limpasan dan debit sedimen (*sediment discharge*). Dari hasil evaluasi keluaran model tersebut diharapkan dapat diketahui kinerja DAS sebagai efek dari kebijakan manajemen DAS yang baru.

Beberapa model matematika baik bersifat kotak hitam ataupun bukan telah disusun untuk dapat dipakai dalam pengukuran kinerja manajemen suatu DAS (Onstad et al, 1977; Bechteler dan Farber, 1983; Celik, 1983). Model-model tersebut secara garis besar dapat dipilah menjadi dua yaitu: (i) model statistika, dan (ii) model deterministik yang dapat diselesaikan secara empirik maupun numerik.

PEMAKAIAN ANALISIS HARMONIK UNTUK EVALUASI MANAJEMEN DAS

Pendekatan dan Asumsi Model

Setelah mengalami proses perbaikan dan pengembangan lahan, pada suatu saat tertentu sistem DAS atau Sub DAS akan merupakan suatu sistem yang bersifat tunak (*steady*). Ketunakan tersebut ditunjukkan oleh debit limpasan dan debit sedimen atau hasil sedimen yang terbentuk sudah bersifat nisbi tetap terhadap kurun waktu yang ditinjau. Dalam keadaan tunak tersebut laju sedimen yang terjadi akan sangat didominasi oleh pengaruh sifat hujan saja dan agihannya (*distribution*) diduga akan mengikuti pola sifat hujan yang terjadi. Fenomena ini terutama terjadi di sungai alam ordo 1 dan ordo 2 karena sifat morfologi sungai belum banyak berpengaruh terhadap laju sedimen yang terjadi di saluran.

Hujan sebagai salah satu unsur iklim mempunyai komponen yang bersifat deterministik dan stokastik. Salah satu sifat deterministik ini ialah sifat periodik atau siklik (Kottegoda, 1980). Syarat terjadinya suatu fungsi periodik ini ialah apabila harga suatu faktor iklim yang terjadi pada suatu saat ($t + w$) akan sama dengan harga pada waktu t , atau dinyatakan dengan:

$$x_{(t+w)} = x_{(t)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- x = faktor iklim
- t = waktu
- w = perioda fungsi siklik yang terjadi

Agar didapatkan suatu sifat periodik atau siklik tersebut maka pengaruh keragaman jangka waktu pendek harus dapat diabaikan. Untuk dapat memenuhi persyaratan tersebut dipakai data bulanan sehingga keragaman harian yang bersifat stokastik dapat diabaikan.

Analisis faktor iklim yang bersifat siklik ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Arif, 1984; Walman, 1982; de Rosari, 1992).

Suatu agihan faktor iklim yang bersifat periodik akan mengikuti bentuk fungsi sinus dengan mempunyai panjang gelombang tertentu sesuai dengan perioda ulangnya (*return period*). Dengan demikian dapat dianggap bahwa suatu data faktor iklim yang bersifat runut waktu (*time series*) akan merupakan penjumlahan beberapa gelombang dengan panjang gelombang

bang beragam sesuai dengan perioda ulang yang ditinjau.

Dengan berasumsi bahwa pola jumlah hasil sedimen bulanan dalam kurun waktu nisbi panjang akan mengikuti pola siklik curah hujan, maka agihan hasil sedimen tersebut dapat dinyatakan dengan fungsi sinus atau deret Fourier.

Struktur Model

Model siklik suatu faktor klimatik yang mengikuti fungsi sinus dapat dituliskan seperti persamaan 2 sebagai berikut:

$$\mu = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i [\sin(2\pi t/T_i) + \delta_i] \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

- μ = faktor klimatik yang ditinjau
- a_0 = amplitudo
- N = jumlah gelombang sesuai dengan perioda ulang yang ditinjau
- a_i = amplitudo gelombang ke i
- T_i = periode ulang ke i
- δ_i = fase gelombang ke i

Dalam hal ini faktor klimatik yang ditinjau (μ) adalah hasil sedimen. Persamaan (2) dapat diuraikan lebih lanjut sehingga dapat dituliskan menjadi:

$$\mu = a_0 + \sum a_i \sin\left(\frac{2\pi t}{T_i}\right) \cos \delta_i + a_i \cos\left(\frac{2\pi t}{T_i}\right) \sin \delta_i \dots (3)$$

Apabila persamaan (3) dikalikan dengan $\sin(2\pi t/T_j)$ dan diintegrasikan dengan batas waktu dari 0 sampai Δt dan kemudian dibagi lagi dengan Δt maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \mu \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt &= \frac{1}{\Delta t} \left\{ \int_0^{\Delta t} a_0 \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt + \right. \\ &\sum_{i=1}^N a_i \cos \int_0^{\Delta t} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_i}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt + \\ &\left. \sum_{i=1}^N a_i \sin \int_0^{\Delta t} \cos\left(\frac{2\pi t}{T_i}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt \right\} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

dengan penyelesaiannya sebagai berikut:

$$\frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \mu \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt = \frac{1}{\Delta t} \left[\frac{a_0}{2\pi} T_j \left\{ 1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) \right\} + \right.$$

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^N a_i \cos \delta_i \left[\frac{\sin\left\{2\pi\Delta t\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}\right)\right\}}{4\pi\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}\right)} - \right. \\ &\left. \frac{\sin\left\{2\pi\Delta t\left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j}\right)\right\}}{4\pi\left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j}\right)} \right] + \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^N a_i \sin \delta_i \left[\frac{1 - \cos\left\{2\pi\Delta t\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}\right)\right\}}{4\pi\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j}\right)} + \right.$$

$$\left. \frac{1 - \cos\left\{2\pi\Delta t\left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j}\right)\right\}}{4\pi\left(\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j}\right)} \right] \dots \dots \dots (5)$$

Penyelesaian harga limit ruas sebelah kiri persamaan (5) dengan menganggap $\Delta t \rightarrow \infty$ didapatkan:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt = \begin{cases} 0 & \text{jika } T_i \neq T_j \\ (a_i/2) \cos \delta_i = X' & \text{jika } T_i = T_j \end{cases} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan cara yang sama apabila kedua ruas persamaan (2) dikalikan dengan $\cos(2\pi t/T_j)$ dan diintegrasikan dari 0 sampai dengan Δt :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \cos\left(\frac{2\pi t}{T_j}\right) dt = \begin{cases} 0 & \text{jika } T_i \neq T_j \\ (a_i/2) \sin \delta_i = Y' & \text{jika } T_i = T_j \end{cases} \dots \dots \dots (7)$$

Harga konstanta a_0 diperoleh dengan memakai persamaan:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \mu dt = a_0 \dots \dots \dots (8)$$

Nilai a_i dan δ_i diperoleh dengan memakai persamaan (6) dan persamaan (7) sebagai berikut:

$$a_i = 2 [(x')^2 + (Y')^2] \dots\dots\dots (9)$$

$$\delta_i = \tan^{-1} [y'/x'] \dots\dots\dots (10)$$

Analisis dan Masukan Data

Penyelesaian model dilakukan memakai analisis numerik dengan rekaman data hasil sedimen bulanan selama lima tahunan sebagai masukan data. Untuk itu waktu ulang yang ditinjau diambil sebanyak tiga buah yaitu masing-masing 1 tahun, 3 tahun dan 5 tahun. Pengambilan data 5 tahunan dilakukan dengan asumsi bahwa selama kurun waktu tersebut perubahan sifat fisik DAS sudah mencapai sifat yang tunak.

Keandalan Model

Uji keandalan model dilakukan dengan memakai angka keandalan, R², yang dinyatakan sebagai berikut:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \right] \dots\dots\dots (11)$$

dimana:

R² = nilai keandalan model

F_i = harga prediksi ke i

O_i = harga pengamatan ke i

Berdasarkan persamaan (11) didapatkan bahwa model akan semakin andal apabila harga R² mendekati angka satu, dan semakin berkurang keandalannya apabila mendekati angka nol. Uji keandalan, model juga dilakukan secara grafis yaitu membandingkan gambar hasil perhitungan dengan pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data dan Diskripsi Wilayah Cuplikan

Sebagai masukan data dicoba untuk memakai data hasil pantauan dari sistem Sub DAS Tapan, bagian dari sistem DAS Bengawan Solo. Data yang dikumpulkan berupa data sekunder meliputi rekaman data curah hujan, debit sungai dan debit sedimen dari tahun 1975 – 1979 dan 1983 – 1990. Data terkumpul berupa data harian untuk kemudian diubah menjadi data bulanan. Selain itu dikumpulkan juga data perubahan tata guna lahan dari tahun 1975 – 1992.

Sub DAS Tapan terletak di DAS Semin, merupakan anak sungai Bengawan Solo dan terletak pada koordinat

7°40'34" LS sampai dengan 7°41'30" LS dan 111°06'74" BT sampai dengan 111°07'37" BT.

Sungai Tapan merupakan sungai ordo 1 dan ordo 2 dari sungai Bengawan Solo. Luas sub DAS total adalah 184 ha dengan panjang sungai sebesar 2,42 km, panjang maksimum sub DAS 2,225 km dan lebar rerata 0,827 km. Tinggi tempat beragam antara 735 m sampai 10.135 m dengan tinggi rerata 941 m dari muka laut (d.m.l).

Sub DAS Tapan ini merupakan sub DAS percontohan dari Balai Konservasi dan Rehabilitasi Lahan (BKRL) Solo, dalam arti bahwa sub DAS ini bukan merupakan sub DAS yang kritis dan tetap dijaga kelestariannya dengan menggunakan metoda-metoda konservasi lahan secara baku.

Keluaran Model dan Interpretasi Hasil

Agar dapat dipakai untuk usaha pemantauan dan evaluasi manajemen DAS, maka rekaman data pengukuran sedimentasi dipilah-pilahkan menjadi tiga kurun waktu lima tahunan, masing-masing: (i) tahun 1975 – 1979, (ii) tahun 1983 – 1987, dan (iii) tahun 1986 – 1990. Terdapat tumpang tindih penggunaan data pada dua kurun waktu terakhir, hal ini disebabkan karena data terkumpul tidak genap sepuluh tahun dan pemilahan menjadi dua kurun waktu dianggap akan dapat dipakai untuk melakukan analisis evaluasi DAS Tapan.

Hasil analisis harmonik dengan menggunakan masukan data tersebut di atas menghasilkan rerata hasil sedimen dan keragaman hasil sedimen periodik tahunan, 3 tahunan dan 5 tahunan seperti ditampilkan dalam Tabel 1.

Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 menampilkan hasil bandingan antara hasil sedimen bulanan terhitung dan pengamatan untuk ketiga kurun waktu yang dikaji dengan memakai masukan hasil keluaran model dari Tabel 1. Sedangkan Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menampilkan perbandingan hasil terhitung dan pengamatan apabila dilakukan prakiraan 1 tahun di depan dengan data masukan selama 4 tahun.

Dari Tabel 1 dan gambar-gambar tersebut dapat diketahui bahwa telah terjadi perubahan ketunakan dalam sistem aliran DAS seperti ditunjukkan oleh perubahan tingkat akurasi penggunaan analisis harmonik dari beberapa kurun waktu analisis tersebut. Dengan adanya perubahan ketunakan tersebut pemakaian analisis harmonik menjadi tidak andal lagi untuk dipakai dalam evaluasi manajemen DAS.

Tabel 1. Hasil sedimen terhitung beserta keragaman hasil sedimen dengan periode ulang 1 tahun, 3 tahun, 5 tahun (ton/ha/bulan) dan akurasi penggunaan analisis harmonik di Sub DAS Tapan

Kurun Waktu	Rerata Hasil Sedimen	Keragaman Hasil Sedimen			Akurasi R ²
		1 tahun	3 tahun	5 tahun	
1975 - 1979	2,37	2,52	1,53	1,58	0,85
1984 - 1988	4,24	3,79	4,11	5,45	0,63
1986 - 1990	1,60	1,45	1,11	2,13	0,34

Sumber: Hasil Analisis

Perubahan ketunakan tersebut juga diperlihatkan dengan melihat perubahan harga koefisien limpasan, f_o , yang dinyatakan dengan persamaan 12a dan persamaan 12b (Susanto, 1992).

$$f_o = \frac{Q dt}{A \int r dt} \dots\dots\dots (12a)$$

atau

$$f_o = \frac{Q_T}{R_T} \dots\dots\dots (12b)$$

dimana : $Q_T = Q dt, m^3/det;$
 $R_T = CA \int r dt = \int R dt, m^3/det$

dengan : A = luas daerah aliran, ha
 Q = debit aliran sungai, m³/det
 r = hujan yang jatuh di DAS, mm
 R = tebal limpasan, mm
 t = waktu, detik
 C = faktor konversi satuan.

Hubungan koefisien limpasan, f_o dengan waktu ditampilkan dalam Gambar 8 tersebut diketahui bahwa proses yang terjadi di dalam DAS dikatakan tunak apabila harga f_o nisbi tetap sepanjang waktu. Perubahan ketunakan DAS Tapan ini diduga disebabkan oleh perubahan tata guna lahan.

Secara garis besar terdapat delapan macam tata guna lahan di Sub DAS Tapan, yaitu: (i) sawah, (ii) hutan, (iii) desa, (iv) tanam campuran, (v) semak-semak, (vi) lahan berteras, (vii) lahan guludan, (viii) hutan dan tanaman semusim. Tabel 2 menunjukkan komposisi tata guna lahan di Sub DAS Tapan dari tahun 1975 - 1992.

Tabel 2. Perubahan tata guna lahan di Sub DAS Tapan

Tata Guna Lahan	1975 - 1978		1988		1989		1990		1992	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Sawah	10,0	5,43	10,0	5,43	10,0	5,43	10,0	5,43	10,0	5,43
Hutan	92,23	50,13	50,80	27,62	28,39	15,43	24,92	13,54	13,55	7,36
Desa	10,0	5,43	10,0	5,43	10,0	5,43	10,36	5,63	10,36	5,63
Tanaman Campuran	12,10	6,57	8,87	4,82	10,34	5,62	11,42	6,21	15,44	8,39
Semak-semak	3,73	2,03	1,13	0,61	3,85	2,09	3,85	2,09	3,62	1,97
Teras	55,94	30,41	46,11	25,07	54,84	29,81	54,45	29,59	56,66	30,90
Guludan	0	0	43,89	23,85	45,93	24,96	46,25	25,14	49,42	32,30
Hutan dan tanaman semusim	0	0	13,20	7,17	22,33	12,14	22,75	12,37	14,65	7,96

Sumber: Laporan Tahunan BTP-DAS Solo

Dari Tabel 2 diketahui bahwa telah terjadi perubahan tata guna lahan yang sangat mendasar, yaitu meningkatnya kebutuhan lahan garapan dari masyarakat setempat. Hal ini ditunjukkan oleh adanya konservasi lahan hutan menjadi lahan garapan yang semula di tahun 1975 - 1978 menempati 50% dari luas total DAS, pada tahun 1992 menjadi hanya sebesar 7%.

Meskipun perubahan lahan hutan menjadi lahan garapan tersebut sudah memperhatikan serta mematuhi kaidah dan teknik konservasi tanah seperti pembuatan teras dan guludan namun ternyata sudah menyebabkan terjadinya perubahan watak ketunakan DAS yang berlangsung sangat cepat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Tindakan perbaikan manajemen DAS perlu ditindak lanjuti dengan tindakan pemantauan dan evaluasi untuk mengetahui proses, pengaruh atau efek serta dampak yang ditimbulkannya. Untuk keperluan itu dapat dipakai beberapa macam model matematika, salah satunya adalah metoda analisis harmonik. Salah satu keunggulan dari analisis harmonik ini ialah bahwa model ini dapat dipakai untuk memperkirakan suatu peubah yang bersifat siklik.

Dari sifat analisis harmonik yang hanya berlaku apabila proses dalam keadaan tunak, maka sebaiknya model ini dipakai sebagai cara analisis untuk mengetahui terjadinya perubahan proses ketunakan suatu manajemen DAS.

Pemakaian model di DAS Tapan menunjukkan dua hal, yaitu (i) telah terjadi perubahan keseimbangan watak DAS Tapan begitu DAS mengalami perubahan tata guna lahan seperti ditunjukkan oleh perubahan proses ketunakan dalam sistem DAS; (ii) pelaksanaan perlakuan konservasi tanah dalam tata guna lahan tidak dapat mempercepat proses keseimbangan watak DAS.

Kedua hal tersebut sangat penting agar dapat dipikirkan suatu tindakan perlakuan konservasi tanah yang menyebabkan terjadinya akibat (effect) dan dampak (impact) negatif yang menyebabkan terjadinya kemunduran watak DAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknologi Pertanian atas pemberian dana penelitian DPP/SPP tahun 1993 serta Kepala Balai Teknologi Pengelolaan DAS, Departemen Kehutanan, di Surakarta atas ijin penggunaan data hasil pemantauan tahunan.

ACUAN

Arif, S.S. 1984. Evaluation of the tidal irrigation project, Tamban Luar, Central, Kalimantan, Indonesia. Tesis untuk memperoleh gelar Master of Engineering diajukan kepada Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand (tidak dipublikasikan).

ADB, 1984. Guidelines on project benefit monitoring and evaluation for agriculture Irrigation and rural development. Manila.

Bechteler, W dan K. Farber, 1982. Stochastic model for particle movement in turbulent open channel flow. *Dalam: Proceeding of EUROMECH 156. Istanbul 12 - 14 July 1982.*

Casley, D.S dan K. Kumar, 1988. Project monitoring and evaluation in agriculture. The John Hopkins University Press.

Celik, I, 1982. Numerik modelling of sediment transport in open channel flows. *Dalam: Proceeding of EUROMECH 156. Istanbul 12 - 14 July 1982.*

Clayton, S dan F. Petry, 1981. Monitoring systems for agriculture and rural development project. FAO Economic and Social Development Paper, No. 12. FAO, Rome.

de Rozary, M.B, 1992. Perubahan iklim dan pengaruhnya terhadap pembangunan. Analisis CSIS, XXI/6, Nopember-Desember 1992.

IFAD, 1987. Monitoring and evaluation irrigation projects, AFAD, Rome.

Kottegoda, N.T, 1980. Stochastic water resources technology. The Mac Millan Press, Ltd, London.

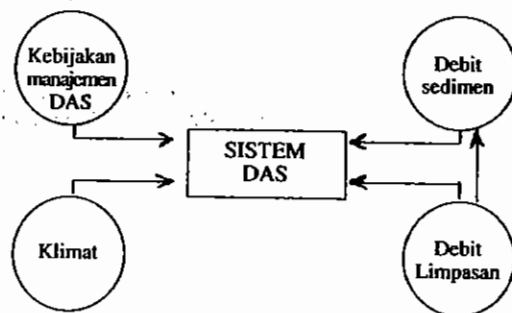
Dulla-Navarrete, J.M, 1992. Planning monitoring and evaluation of the irrigation project. Makalah disajikan dalam the 4th Workshop on management of irrigation projects, Feldafing, Germany, 3 - 30 July 1992.

Singh, V.P, 1989. Hydrologic system, vol. II. Watershed modelling, Prentice Hall, New Jersey.

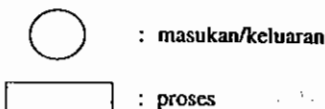
Smith, L., H. Bernstein and I. Carruthers, 1987. Project planning, monitoring and evaluation, (unit 15), Wye College External Programme, University of London.

Susanto, S, 1992. Analisa karakteristik aliran sungai Padas, Jawa Tengah. Laporan penelitian disampaikan kepada Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.

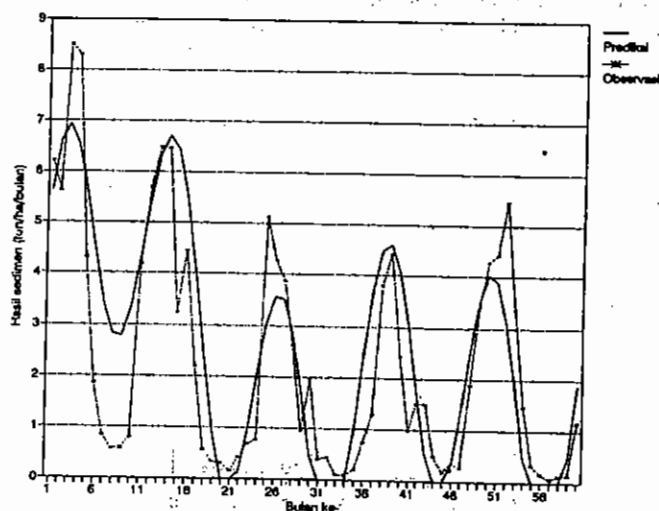
Wolman, M.G, 1982. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Dalam: Erosion and sediment yield. Disunting oleh J.B. Larone dan M.P. Mosley. Hutchinson Ross Publishing Company, Pennsylvania.*



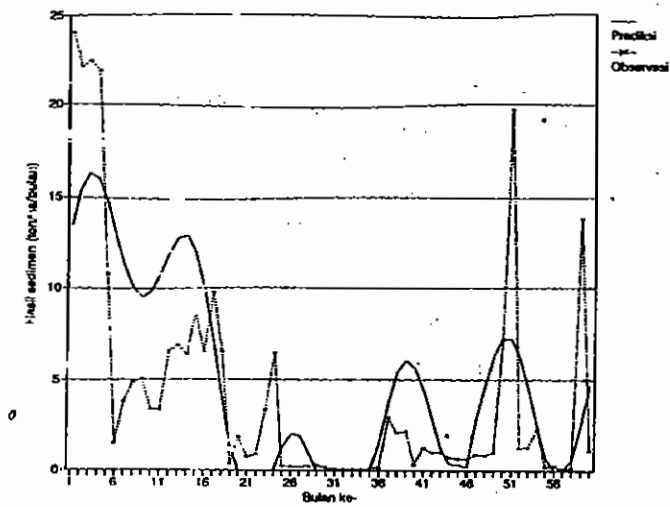
Keterangan:



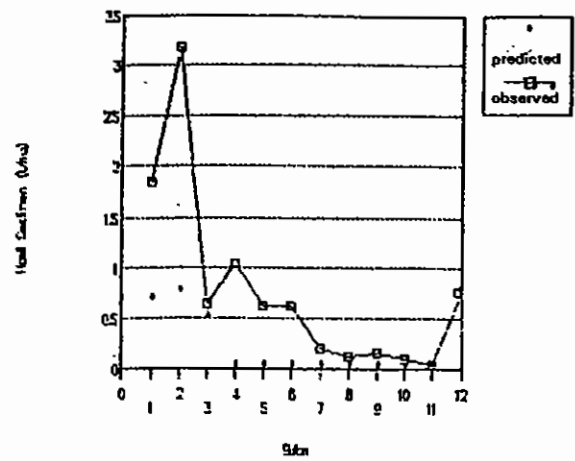
Gambar 1. Model kotak hitam sederhana manajemen DAS



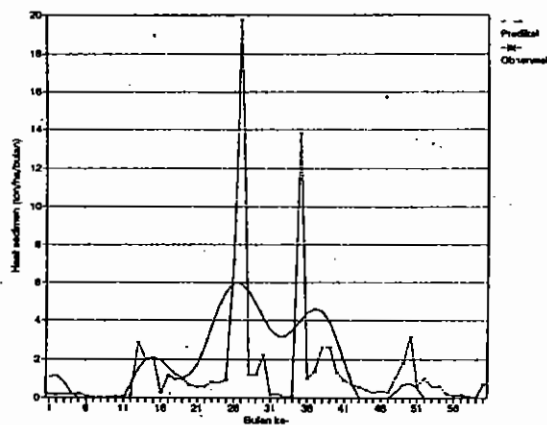
Gambar 2. Perbandingan harga hasil sedimen (ton/ha/bulan) terukur dan prakiraan, Sub DAS Tapan, tahun 1975 - 1979



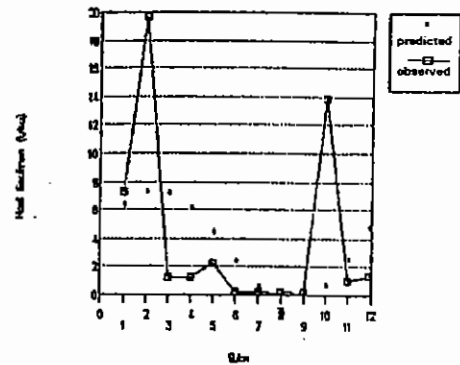
Gambar 3. Perbandingan harga hasil sedimen (ton/ha/bulan) terukur dan prakiraan, Sub DAS Tapan, tahun 1984 - 1988



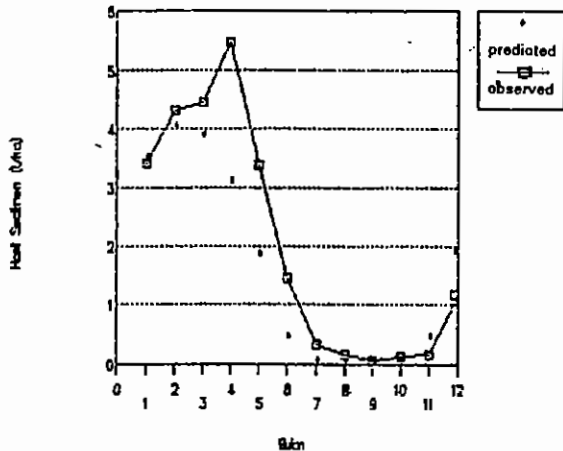
Gambar 6. Perbandingan hasil simulasi dengan analisis harmonik tahun 1988



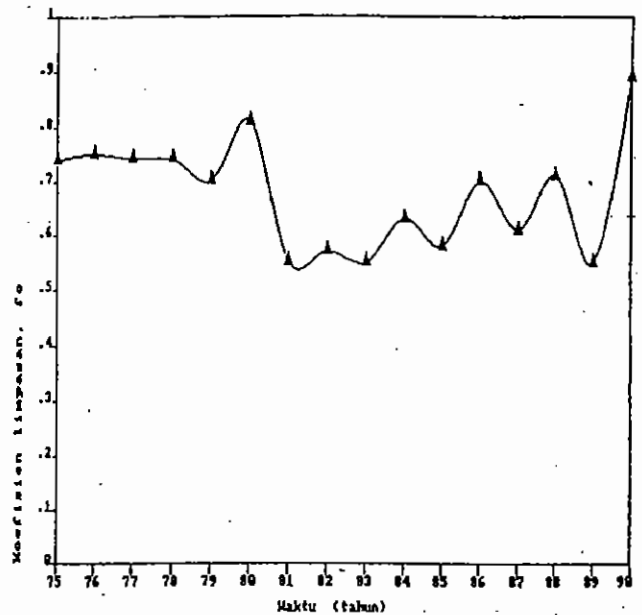
Gambar 4. Perbandingan harga hasil sedimen (ton/ha/bulan) terukur dan prakiraan dengan menggunakan analisis harmonik di Sub DAS Tapan, tahun 1986 - 1990



Gambar 7. Perbandingan hasil simulasi dengan analisis harmonik tahun 1990



Gambar 5. Perbandingan hasil simulasi dengan analisis harmonik tahun 1975



Gambar 8. Harga koefisien limpasan, C_o Sub DAS Tapan, tahun 1975 - 1990